

Gestão de Riscos e Desastres: experiências e desafios

ORGANIZADORES:

JOÃO DE ATHAYDES SILVA JÚNIOR

ALINE MARIA MEIGUINS DE LIMA

BERGSON CAVALCANTI DE MORAES

Gestão de Riscos e Desastres: experiências e desafios



ORGANIZADORES:

JOÃO DE ATHAYDES SILVA JÚNIOR
ALINE MARIA MEIGUINS DE LIMA
BERGSON CAVALCANTI DE MORAES

Organizadores

João de Athaydes Silva Júnior
Aline Maria Meiguins de Lima
Bergson Cavalcanti de Moraes

Conselho editorial

Andrés Velastegui-Montoya
Francisco Silva Costa
Rafael Ferreira da Costa

Editado por

Programa de Pós-Graduação em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia
- PPGGRD

Instituto de Geociências.

R. Augusto Corrêa, 01 - Guamá, Belém - PA, 66075-110

Site: <https://ppggrd.propesp.ufpa.br/index.php/br/>

E-mail: ppggrd@ufpa.br, ppggrd@gmail.com

Editoração/Capa

Aline Maria Meiguins de Lima

Imagem da capa - Cheia 2021: maior enchente da história do Amazonas
TV A Crítica (TV Aberta 04 | Claro TV 514 | www.youtu.be/kn2xCuqcBrs)

Fotos

Celso dos Santos Piquet Júnior (Páginas intermediárias)

Declaração de direitos autorais

Descrita juntamente com o perfil dos autores.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Gestão de riscos e desastres [livro eletrônico] :
experiências e desafios / organização João de
Athaydes Silva Júnior, Aline Maria Meiguins de
Lima, Bergson Cavalcanti de Moraes. --Belém,
PA : Programa de Pós-graduação em Gestão de
Risco e Desastres na Amazônia, 2022.
PDF.

Bibliografia.

ISBN 978-65-00-48726-8

1. Desastres ambientais 2. Desastres naturais
3. Desastres - Prevenção 4. Defesa civil e
gerenciamento de desastres e crises 5. Gestão
de riscos operacionais 6. Impacto ambiental -
Avaliação I. Silva Júnior, João de Athaydes.
II. Lima, Aline Maria Meiguins de. III. Moraes,
Bergson Cavalcanti de.

22-123885

CDD-350

APRESENTAÇÃO

As questões ambientais ganham cada dia mais relevância na sociedade atual. A produção de pesquisas nesta área tem o desafio de associar, de forma harmoniosa, a interdisciplinaridade com o rigor metodológico e assim produzir estudos que busquem minimizar os impactos de ordem natural ou de ação antrópica. O compêndio do Programa de Pós-Graduação em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia é um esforço coletivo de pesquisadores de diversas áreas neste sentido.

A Publicação “Gestão de Riscos e Desastres: Experiências e Desafios” visa fornecer uma discussão sobre a gestão de riscos e desastres no Brasil, apresentando metodologias diversas, aplicadas ao mapeamento de risco e de vulnerabilidades. De forma complementar, traz uma contribuição teórica, com a revisão de vários assuntos que representam debates continuados na região Amazônica.

A primeira parte da publicação é voltada para aplicação de geotecnologias, que se tornaram uma ferramenta essencial, principalmente considerando as dimensões continentais do Brasil. Desta forma, a cartografia temática aplicada e o uso de produtos de sensores remotos, facilitam o reconhecimento de grandes regiões e a melhor compreensão dos processos que ocorrem nestas.

A segunda parte já aborda várias questões socioambientais, tanto com estudos de caso, quanto com levantamentos mais teóricos. O objetivo é discutir a importância de se aprofundar no debate, tanto local quanto regional, das diversas situações em que a sociedade se confronta com questões de risco e busca meios de solucionar os problemas decorrentes.

O conjunto de artigos apresenta um panorama diverso vinculado à gestão de risco e desastres, mostrando que tanto em termos de Brasil, e principalmente no associado à região Amazônica, ainda é necessário evoluir e se aprofundar nos estudos, que encontram limites que variam dos logísticos para se alcançar determinados municípios, aos associados com a base de informações disponíveis, sejam estas biofísicas ou socioeconômicas. Assim, esta contribuição mostra sua importância para fomentar uma maior preocupação em se investir em ciência e tecnologia aplicadas à gestão de risco e desastres.

Parabenizo os autores, organizadores todos que, direta e indiretamente, contribuíram na estruturação deste livro, cuja qualidade e excelência do trabalho permitem aos leitores uma visão atual e interdisciplinar sobre as ameaças e riscos ambientais na Amazônia.

Fábio Luiz Wankler

Dr. Prof Associado, Universidade Federal de Roraima (UFRR)

SUMÁRIO

GEOTECNOLOGIAS APLICADAS

- Vulnerabilidade e risco à erosão costeira: Estuário do Rio Pará _____ 07
Antonio Gonçalves da Silva Junior, Arnaldo de Queiroz da Silva e Osmar Guedes da Silva Junior
- Análise do potencial erosivo em São Miguel do Guamá (PA) _____ 24
Luciana Souza Brabo e Milena Marília Nogueira de Andrade
- O mapeamento geotécnico aplicado à análise de risco: em áreas _____ 46
preferenciais para implantação de aterros sanitários e cemitérios na
Região Metropolitana de Belém (PA)
*Ádria Kanome Mori Soares, Tony Carlos Dias da Costa, Aline Maria Meiguins de
Lima e Jamer Andrade da Costa*
- Diagnóstico da precipitação em 50 anos na cidade de Belém - Pará ____ 65
*Josiane Sarmiento dos Santos, Edson José Paulino da Rocha e Jaqueline
Sarmiento dos Santos*
- A geotecnologia como ferramenta para o prognóstico de risco _____ 84
socioambiental: um estudo aplicado a microrregião de Marabá/PA
*Marcos Ronielly da Silva Santos, Davi Rodrigues Rabelo, Daniele Frascareli e
Douglas Bitencourt Vidal*

QUESTÕES SOCIOAMBIENTAIS E ANÁLISE DE VULNERABILIDADES

- Alterações hidroclimáticas e impactos na vegetação no município de ____ 98
Altamira - PA: ênfase às queimadas
Aureliano da Silva Guedes II e Gilmar Wanzeller Siqueira
- Pressões e impactos ambientais na bacia do Caeté: um perfil _____ 110
socioambiental
*Milena de Nazaré Santos Quaresma, Aline Maria Meiguins de Lima e Marcos
Ronielly da Silva Santos*
- Vulnerabilidade socioambiental e exposição ao risco ambiental: _____ 121
um estudo de caso da comunidade Newton Miranda, bairro da Água
Boa, Distrito Administrativo de Outeiro, Belém-Pará
Reginaldo Rocha Rodrigues e Márcia Aparecida da Silva Pimentel
- Controvérsias sobre as construções e a segurança de barragens _____ 139
*Celso dos Santos Piquet Júnior, Maria de Fatima Vilhena da Silva, Hernani José
Brazão Rodrigues, Marcia Aparecida da Silva Pimentel e Alexandre Melo Casseb
do Carmo*

A problemática da queda de árvores na região amazônica e a preocupação da educação ambiental <i>Daniel Levy Lima da Silva, Nilton do Rosário Souza, Mariana Elizabeth Lopes de Sales e João de Athaydes Silva Júnior</i>	155
Vulnerabilidade aos incêndios florestais no município de São Félix do Xingu - PA <i>Charles Wendell Borges Monteiro, Hernani José Brazão Rodrigues e Paulo Eduardo Silva Bezerra</i>	164
Perfil editorial e autoral	176
Índice remissivo	181



Foto de Celso dos Santos Piquet Júnior.

“A Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC deve se integrar integrar-se às políticas de ordenamento territorial, desenvolvimento urbano, saúde, meio ambiente, mudanças climáticas, gestão de recursos hídricos, geologia, infraestrutura, educação, ciência e tecnologia e às demais políticas setoriais, tendo em vista a promoção do desenvolvimento sustentável, dando indicações fundamentais das principais políticas que se relacionam com a Gestão de Riscos”¹.

¹BRASIL. Noções básicas em proteção e defesa civil e em gestão de riscos Ministério da Integração Nacional, Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, Departamento de Minimização de Desastres, Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2017, 49p.



VULNERABILIDADE E RISCO À EROSÃO COSTEIRA: Estuário do Rio Pará

Antonio Gonçalves da Silva Junior¹, Arnaldo de Queiroz da Silva² e Osmar Guedes da Silva Junior³

Resumo:

Neste trabalho foi analisada a vulnerabilidade e o risco à erosão costeira no Estuário do Rio Pará. Foram adaptadas metodologias que consideram as características fisiográficas do ambiente estuarino amazônico, tendo sido utilizadas imagens orbitais do satélite Landsat, modelo digital de elevação ALOS-AW3D30, Mapa Geológico, Grade estatística do IBGE e banco de dados das cartas SAO da Foz do Amazonas. Os resultados mostram que pouco menos da metade da costa do Estuário do Rio Pará tem um grau moderado ou superior de vulnerabilidade à erosão costeira em sua paisagem; o que estaria associado à retrogradação desses segmentos e a ocorrência praias arenosas, planícies de maré, áreas urbanas e construções artificiais. Quando avaliada as tendências de risco, apenas Belém, Barcarena, Colares e Vigia apresentam extensões significantes de costa apresentando tendência de risco à erosão moderado ou superior. Como contribuição à gestão de risco, indica-se que a metodologia utilizada se mostrou uma ferramenta de possível adoção pelos órgãos públicos, e os resultados obtidos foram satisfatórios e atenderam aos objetivos da pesquisa.

Palavras-chaves: Sensoriamento Remoto, Zona costeira, Paisagem.

¹ Universidade Federal do Pará, Faculdade de Geologia. ajgoncalvesgeo@gmail.com.

² Universidade Federal do Pará, Faculdade de Geologia. arnaldoq@ufpa.br.

³ Universidade Federal do Pará, Faculdade de Geologia. osmar.guedes@gmail.com.



INTRODUÇÃO

A zona costeira é um ambiente sujeito à diversos vetores de pressão, provocados tanto pelo processo de desenvolvimento econômico quanto pela mudança do clima global, que somam uma série de complicadores à um sistema já fragilizado (MMA, 2018a). Dentre os impactos ocorrentes, a erosão costeira tem grande destaque, pois estima-se que cerca de 40% da costa brasileira enfrente graves problemas de erosão (MMA, 2018a). No Estado do Pará o problema é grave, onde cerca 60% da linha de costa está sob processo erosivo (MMA, 2018b).

Nas últimas décadas, vários mapas de vulnerabilidade foram elaborados para diversos setores costeiros no Brasil e no mundo, obtidos através da utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), análise multivariada computacional e modelos numéricos (RANGEL-BUITRAGO; ANFUSO, 2015). As metodologias diferem basicamente no nível de detalhe (escala), no caráter qualitativo ou quantitativo, e nas variações de parâmetros analisados como consequência de adequações às realidades locais (MALLMANN, 2016; ALCOFORADO, 2017). Dentre as metodologias, o IVC (Índice de Vulnerabilidade Costeira) de Gornitz (1990) foi amplamente utilizada ou adaptada, pois permite simplificar parâmetros físicos ou socioeconômicos, representados na forma de dados espaciais, e classificá-los em escalas de vulnerabilidade (MCLAUGHLIN; COOPER, 2011).

A zona costeira compreende a estreita área de transição que conecta os ambientes terrestres e marinhos, sendo considerada um ecossistema produtivo e valorizado (BAZTAN et al, 2015). Devido ao dinamismo dos processos naturais e sociais, é difícil definir com exatidão ou construir uma única definição para a zona costeira (UNDP, 2018). Wong et al (2014) consideram a zona costeira deve ser entendida como um sistema sócio-ecológico, formado por subsistemas naturais e humanos. O subsistema natural consiste nas formas terrestres e seus ecossistemas costeiros associados, e o subsistema social consiste nas infraestruturas, população e suas atividades.

A zona costeira brasileira é uma das mais extensas do mundo, estendendo-se por mais de 8.500 km e abrangendo uma área de aproximadamente 514.000 km² que corresponde ao somatório da faixa oceânica, águas interiores e território de 395 municípios de 17 estados costeiros (ZAMBONI; NICOLLODI, 2008) e cerca de 26,58% da população, com uma parte significativa concentrada em centros urbanos de médio a grande porte (IBGE, 2011).

A Zona Costeira Amazônica (ZCA) se estende desde o Rio Oiapoque no estado do Amapá, até a Baía de São Marcos no estado do Maranhão, região compostas por diversos ambientes costeiros como praias, planícies de marés, estuários, manguezais, floresta de várzea e ilhas (PEREIRA et al, 2009). A ZCA destaca-se das demais zonas costeiras pois está sob influência da foz do Rio Amazonas, cuja vazão e descarga sedimentar extremas caracterizam um ambiente singular e altamente dinâmico (SOUZA FILHO et al, 2005; GUIMARÃES et al, 2017). A ZCA inclui as regiões metropolitanas de Macapá (AP), Belém (PA) e São Luís (MA), além de outros municípios com densidade populacional moderada, e grandes extensões territoriais com baixa densidade populacional ou inabitadas (PEREIRA et al, 2009).

No contexto da ZCA insere-se a Zona Costeira do Estado do Pará (ZCPA) ou Zona Costeira Estuarina Paraense (ZCEP), que assim como a zona costeira brasileira, foi definida a partir dos critérios do Decreto de Lei 5.300/04 (EL-ROBRINI et al, 2006; ESPIRITO-SANTO; SZLAFSZTEIN, 2016). A ZCEP compreende 40 municípios incluindo a capital Belém, o que corresponde a uma área de aproximadamente 55.137 km² (~4,5% da área total do estado) e onde residem cerca de 45% da população (EL-ROBRINI et al, 2018).

A avaliação de vulnerabilidade na zona costeira, para Lins-de-Barros (2010, 2011), representa uma proposta conceitual-metodológica que assume a dependência de dois fatores: (a) exposição da linha de costa, ecossistemas e população aos perigos



relacionados a dinâmica física costeira; (b) capacidade da linha de costa, ecossistemas e população de resistir, recuperar-se ou adaptar-se os impactos causados por esses perigos. Em termos metodológicos destaca-se a metodologia de construção de índices de vulnerabilidade de Gornitz (1990), com foco nos efeitos da elevação do nível do mar, principalmente inundação e erosão, utilizando sete parâmetros: elevação, litologia, geomorfologia, taxa de elevação do nível do mar, taxa de variação da linha de costa, amplitude de maré e máxima altura de onda. Derivações diretas desta foram propostas por Gornitz et al, (1991), Gornitz et al, (1997), McLaughlin e Cooper (2002), Coelho (2005), Mezzer et al (2008), Murali et al (2013), Pereira e Coelho (2013), Busman (2016) e Alcoforado (2017).

Apesar de não tratar sobre índice de vulnerabilidade costeira, é necessário citar o trabalho de Crepani (2001) que é grande relevância para o estudo e mapeamento da vulnerabilidade natural e a contribuição de Szlafsztein e Sterr (2007) com um índice de vulnerabilidade baseado em SIG para a costa nordeste do Estado do Pará. Diversos outros trabalhos analisaram a problemática da vulnerabilidade costeira no Brasil e no mundo, através do uso ou adaptação de índices de vulnerabilidade (LINS-DE-BARROS, 2005; ABUODHA; WOODROFFE, 2010; KUMAR et al, 2010; OZYURT; ERGIN 2010; PENDLETON et al, 2010; MUEHE et al, 2011; MUJABAR; CHANDRASEKAR, 2011; TORRESAN et al, 2012; SILVA, 2015; MALLMANN, 2016; ROCHA, 2016; ROYO et al, 2016; GERMANI et al, 2017; UDNP, 2018).

Este trabalho adaptou metodologias de obtenção de índices de vulnerabilidade, aplicados a avaliação do potencial de erosão costeira na região do Estuário do Rio Pará, setor Continental Estuarino da Zona Costeira Paraense. Para isso, os parâmetros de análise foram ajustados às características fisiográficas do ambiente estuarino amazônico. Como subsídio, foram utilizados dados de sensoriamento remoto e censitários, e ponderações baseadas em processo de análise hierárquica (AHP). O resultado consiste na cartografia das áreas susceptíveis à erosão bem como as de risco potencial, o que é de grande relevância tendo em vista a intensa dinâmica dos processos físicos e socioeconômicos que se desenvolvem na região.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

No contexto da Zona Costeira do Estado do Pará, situa-se o Estuário do Rio Pará, um dos maiores do Brasil, com uma desembocadura de aproximadamente 60 km (ROSÁRIO, 2016); é caracterizado como um corpo hídrico alongado na direção NNE-SSW com cerca de 300 km de extensão e com em média 50 km de distância entre suas margens NW e SE (Figura 1).

O Mapa Geológico do Estado do Pará (VASQUEZ et al, 2008) indica que nas regiões mais internas ao litoral ocorrem as rochas do Grupo Barreiras (Paleógeno/Neógeno), caracterizadas por arenitos, argilitos e conglomerados de ambiente litorâneo e marinho transicional. Nas margens do estuário ocorrem: (a) Sedimentos Pós-Barreiras (Plioceno), compostos por areias argilosas de ambiente eólico, cordão litorâneo e planície de maré; (b) Depósitos litorâneos (Holoceno), compostos por areias e pelitos de ambientes transicionais costeiros (mangues, planícies e canais de maré, dunas e praias); (c) Depósitos aluvionares (Holoceno), compostos por areias, pelitos e cascalhos de depósitos fluviais recentes. O Mapa Geomorfológico do Estado do Pará, traduz esta porção da Zona Costeira apresenta três unidades distintas. A primeira unidade, denominada "Tabuleiro Paraense", insere parte do município de Colares, Belém e Barcarena, e as ilhas de Mosqueiro e Cotijuba. É caracterizada por um conjunto de formas de relevo de topo tabular, esculpidas por vales rasos a partir da dissecação de superfície de aplainamento.

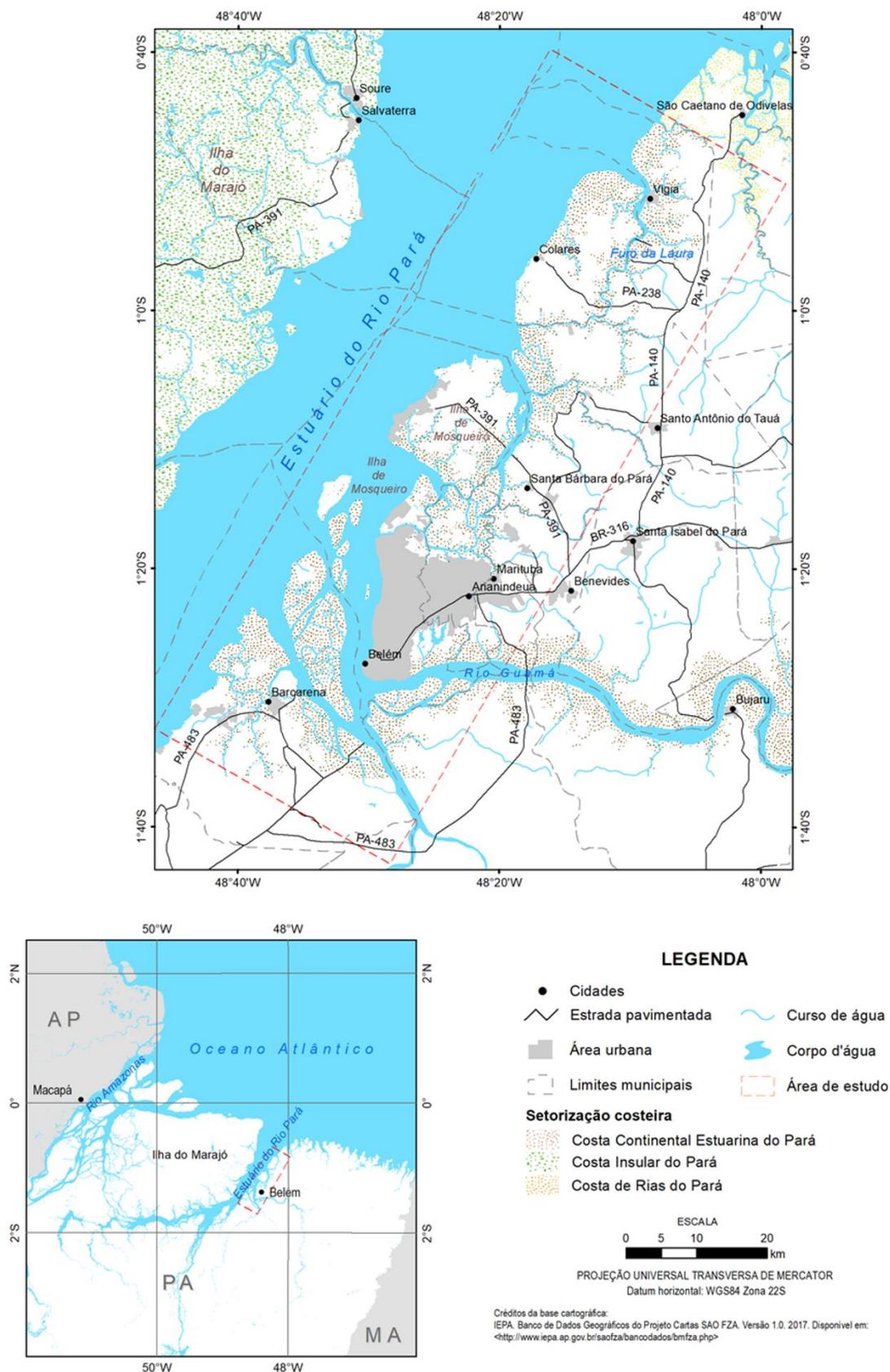


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo - Estuário do Rio Pará. Fonte: Silva Junior (2019).



A segunda unidade denominada “Litoral de Mangue e Rias”, e ocorre na faixa estreita costeira dos municípios da área de estudo. É caracterizada por planícies flúvio-marinhas, canais fluviais, manguezais e cordões arenosos, resultantes de aculturação fluvial e marinha, sujeitas ou não a inundações periódicas. A terceira unidade é denominada “Planícies aluviais”, e ocorre nas margens do Rio Guamá. É caracterizada por planícies e terraços aluviais, resultantes de acumulação fluvial periódica ou permanentemente alagada (VASQUEZ et al, 2008).

As características morfológicas e fisiográficas do Estuário do Rio Pará são predominantemente moldadas pela resultante da dinâmica dos processos oceanográficos atuantes nesta região (BALTAZAR et al, 2011; BEZERRA et al, 2011; ROSÁRIO et al, 2016). A região é caracterizada pelo clima equatorial quente e úmido e sazonalidade climática é bem definida com um período menos chuvoso de junho a novembro e período chuvoso de dezembro a maio; os ventos alísios locais são mais intensos entre janeiro e abril, quando sopram predominantemente de nordeste, e mais suave entre junho e outubro, quando oeste/noroeste. Esta variação sazonal é determinada pela posição da Zona de Convergência Intertropical ao longo do ano (FONTES, 2000; INMET, 2018).

Processamento e análise dos dados

Na adaptação da proposta de Gornitz (1990) mantiveram-se as variáveis “Amplitude de maré” e “Litologia”. A variável “Máxima altura de ondas” classifica como menor grau de vulnerabilidade ondas com altura máxima de até 2,9 m, porém a área de estudo localiza-se em uma zona relativamente protegida do efeito de ondas, o que possibilitou a utilização da interpretação de Thieler e Hammar-Klose (1999), que consideram o menor grau de vulnerabilidade ondas com altura máxima de até 0,55 m.

Para a variável “Declividade” foi adotada a compreensão da relação vulnerabilidade-declividade na zona costeira, como inversamente proporcionais (THIELER; HAMMAR-KLOSE, 1999; LINS-DE-BARROS, 2010; PENDLETON et al, 2010; MUJABAR; CHANDRASEKAR, 2011; YIN et al, 2012; RANI et al, 2015). Esta relação se justifica, pois, costas de menor declividade são mais sujeitas às ações de ondas, correntes e maré, e têm maior potencial de recuo (PENDLETON et al, 2010). Neste trabalho foram adotados os intervalos propostos por Ozyurt e Ergin (2010), aplicados por Busman (2016) e Alcoforado (2017) em zonas costeiras do norte e nordeste do Brasil.

Para a variável “Geomorfologia” foram adaptados os critérios do Mapa de Geomorfologia do Estado do Pará (1:800.000; IBGE, 2008), da Carta de Geodiversidade do Estado do Pará (1:2.000.000; CPRM, 2013) e da Carta Tática de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo Bacia da Foz do Amazonas/Rio Pará/FZA19 (1:150.000; IEPA, 2016). A variável “Taxa de variação da linha de costa” utiliza os princípios da proposta de Coelho (2005), com modificações nos intervalos das classes de vulnerabilidade baixa e muito baixa, buscando se adequar as limitações do dado utilizado na análise da variação da linha de costa.

Assim como nos trabalhos de Mohamed et al (2014) e Silveira e Bonetti (2018), foi inserida a variável “Velocidade máxima de corrente”. A Carta SAO FZA19 (IEPA, 2016) dispõem de informações de velocidade de correntes de maré no Estuário do Rio Pará, o que possibilitou a inserção desta variável. A Tabela 1 resume a classificação das variáveis utilizadas no Índice de vulnerabilidade à erosão costeira (IVEC).



Tabela 1 - Classes de vulnerabilidade e variáveis analisadas.

Variável	Muito baixo 1	Baixo 2	Moderado 3	Alto 4	Muito alto 5	Fonte e método
Litologia	- Plutônica - Vulcânica (lava) - Metamórficas de alto à médio grau	- Metamórficas de baixo grau - Arenitos e conglomerados (cimentados)	Maioria das rochas sedimentares	Sedimentos inconsolidados grossos e/ou pobremente selecionados	Sedimentos inconsolidados finos e cinza vulcânica	Gornitz (1990) e Gornitz et al (1997). Método: reclassificação segundo as classes.
Geomorfologia (" Habitats")	- Costas rochosas - Falésias - Fiordes e <i>Fiards</i>	- Falésias médias - Costas recortadas	- Falésias baixas - <i>Glacial drifts</i> - Pântanos salgados - Recifes de coral - Manguezal	- Praias seixosas - Estuário - Laguna - Planícies aluviais	- Praia barreira - Praia arenosa - Planície de maré - Delta - Área urbana - Estruturas artificiais	Gornitz (1990), Gornitz et al (1997) e adaptações de Coelho (2005). Método: reclassificação segundo as classes.
Taxa de variação da LC (m/ano)	> 1 Acreção	1 a -1 Estabilidade	-1 a -3 Erosão	-3 a -4 Erosão	< -5 Erosão	Modificado de Coelho (2005). Método: cálculo da variação por DSAS.
Declividade (%)	5 a 45	5 a 3,33	3,33 a 2	1 a 2	0 a 1 e > 45	Ozyurt e Ergin (2010), Busman (2016) e Alcoforado (2017). Método: processamento digital a partir do MDE.
Velocidade máxima de corrente (m/s)	< 0,2	0,2 a 0,4	-0,4 a 0,6	0,6 a 0,8	> 0,8	Mohamed et al (2014). Método: extraído da Carta SAO FZA19 e reclassificado.
Amplitude média de maré (m)	< 1	1 a 2	2 a 4	4 a 6	> 6	Gornitz (1990) e Gornitz et al (1997). Método: extraído da Carta SAO FZA19 e reclassificado.
Máxima altura de onda (m)	0 a 0,55	0,55 a 0,85	0,85 a 1,05	1,05 a 1,25	≥ 1,25	Thieler e Hammar-Klose (1999). Método: extraído da Carta SAO FZA19 e reclassificado.



Na obtenção da “taxa de variação da linha de costa” foram utilizadas imagens de satélite orbital óptico da série Landsat (5-8, Resolução espacial de 30-15m), disponibilizadas pelo U.S. Geological Survey (USGS) através da plataforma Earth Explorer. Para a variável “declividade” foi utilizado o modelo digital de elevação (MDE) ALOS Global Digital Surface Model (AW3D30, Resolução espacial de 30m) disponibilizados pela Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) através do banco de dados do Earth Observation Research Center (EORC). Dados geológicos para compor a variável “Litologia” foram obtidos no “Mapa Geológico do Estado do Pará” (Escala 1:1.000.000) de Vasquez et al (2008), publicado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e disponível no formato digital na plataforma GeoSGB. Para compor as variáveis “Habitats”, Velocidade máxima de corrente”, “Máxima altura de onda” e “Amplitude máxima de maré” foram utilizadas as informações contidas no Atlas de sensibilidade ambiental ao óleo da Bacia Marítima da Foz do Amazonas, elaborado pelo Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá (Escala 1:150.000; IEPA, 2016), cuja base de dados digital está disponível no Banco de Dados Geográficos do Projeto Cartas SAO para a Bacia Marítima Foz do Amazonas (IEPA, 2017). As informações contidas nas Cartas SAO, foram complementadas com dados de diversos trabalhos contidos no livro Panorama da Erosão Costeira no Brasil (MMA, 2018b; El-Robrini et al, 2018). Para compor a variável “Densidade populacional” foi utilizado a Grade Estatística do Censo 2010 (Resolução espacial - células de 200x200 m e 1x1 km; IBGE, 2016) disponível na plataforma Mapas do Instituto Brasileira de Geografia e Estatística (IBGE, 2018).

As posições da linha de costa nas imagens orbitais para o Estuário do Rio Pará foram obtidas através do índice de extração de água - AWEI (FEYISA et al, 2014). O Índice foi aplicado nas imagens do satélite óptico Landsat dos anos 1984 e 2018 (Equação 1). A partir da variação espacial das linhas de costas, calculou-se a taxa de variação utilizando o *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) (THIELER et al, 2017).

$$AWEI = 4(p_{GREEN} - p_{SWIR1}) - (0,25p_{NIR} + 2,75p_{SWIR2}) \quad \text{eq. (1)}$$

Onde p = valor da reflectância nas bandas espectrais Landsat.

GREEN - verde; *NIR* - infravermelho próximo; *SWIR 1 e 2* - infravermelho de ondas curtas 1 e 2.

O funcionamento do DSAS consiste na criação de transectos, de tamanho e espaçamento determinado, que interceptam os dados de linha de costa a partir de uma linha base, criando pontos de medição que possibilitam mensurar as alterações entre os períodos analisados. No DSAS, a métrica que possibilita o cálculo da taxa de variação da linha de costa é o *EPR (End point rate)*, que calcula para cada transecto, a distância entre a linha de costa mais antiga e a linha de costa mais nova, e divide esta distância pelo tempo decorrido entre ambas, resultando em uma taxa de variação em m/ano. A linha de costa mais antiga foi obtida do dado vetorial extraído a partir da cena Landsat-5 de 1984. Já a linha de costa mais nova foi obtida a partir dos dados vetoriais das duas cenas Landsat-8 de 2018. Como ambas as cenas de 2018 têm interferência de nuvem, foi utilizado prioritariamente a cena de 10 de agosto, e os segmentos alterados pela cobertura de nuvens foram substituídos por segmentos inalterados da cena de 26 de agosto. Para representar a linha de costa em uma feição poligonal, foi feito um buffer de 110m a partir da linha de costa mais nova, e esta foi segmentada manualmente no limite dos intervalos de classificação dos pontos simbolizados. Para cada segmento foi atribuído o valor da classe de vulnerabilidade do intervalo correspondente, gerando segmentos com diferentes graus de vulnerabilidade (Figura 2).

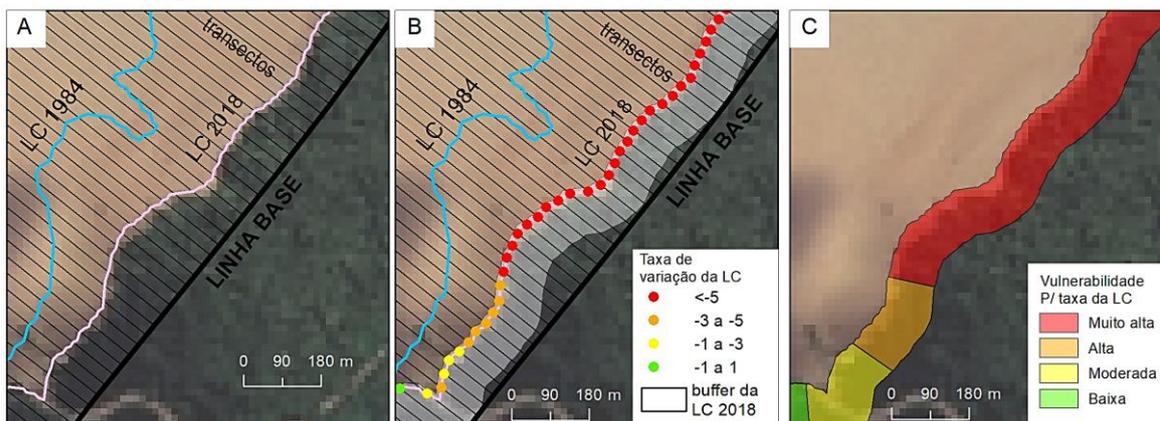


Figura 2 - Construção dos segmentos de vulnerabilidade a partir do cálculo do EPR: (A) linhas de costa de 1984 e 2018 sobrepostas à cena Landsat-8 de 2018. A partir da linha de base são gerados transectos, espaçados a cada 30m, que interceptam as linhas de costa; (B) após o cálculo do EPR, as taxas são atreladas a posição de interceptação na LC mais nova, e são classificadas nos intervalos de vulnerabilidade. Um buffer da LC mais nova e feito para representar a LC na forma poligonal; (C) o polígono das LC é segmentado a partir dos limites dos intervalos dos pontos, e os segmentos são atribuídos com a denominação das classes de vulnerabilidade. Fonte: Silva Junior (2019).

No Cálculo do Índice de Vulnerabilidade à erosão Costeira (IVEC) foi adotado o método da soma ponderada (Equação 2), utilizando os pesos e coeficientes de ponderação definidos segundo o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) definido por Saaty (1977).

$$IVEC = 0,5A + 0,15B + 0,13.C + 0,08.D + 0,07.E + 0,05.F + 0,02.G \quad \text{eq. (2)}$$

Onde A = Taxa de variação da linha de costa, B = Habitats, C = Declividade, D = Geologia, E = Velocidade máxima de corrente, F = Altura máxima de onda e G = Amplitude de maré. Os valores obtidos com o cálculo do IVEC podem variar de 1 a 5, e esses valores são divididos em cinco partes iguais, que são classificadas em escala de vulnerabilidade (muito baixo, baixo, moderado, alto e muito alto).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dentre os municípios analisados, Belém apresenta o maior percentual de linha de costa analisada (cerca de 70%), e por isso resultados obtidos têm maior representatividade. No município predominam costas de baixa e moderada vulnerabilidade à erosão, com alguns segmentos apresentando vulnerabilidade alta (Figura 3).

Os segmentos de baixa vulnerabilidade compreendem cerca de 48% dos segmentos analisados, o que corresponde a aproximadamente 154 km de costa. Estas regiões estão concentradas nas costas sudoeste, sul e leste da Ilha de Mosqueiro, na costa interna da Ilha de Caratateua, e parte das costas das demais ilhas que compõem o município - Ilha de Cotijuba, Ilha Longa, Ilha Jararaca, Ilha Jararaquinha, Ilha Mirin, Ilha Paquetá Açú, Ilha Jutuba e Ilha do Cumbu. A classificação de vulnerabilidade baixa atribuída a esses segmentos deve-se principalmente à característica estável ou progradante da costa. Por exemplo, parte da costa sul da Ilha Paquetá-Açú tem caráter progradante, onde podem ocorrer pontos de acreção com taxas de até 16m/ano (Figura 4).

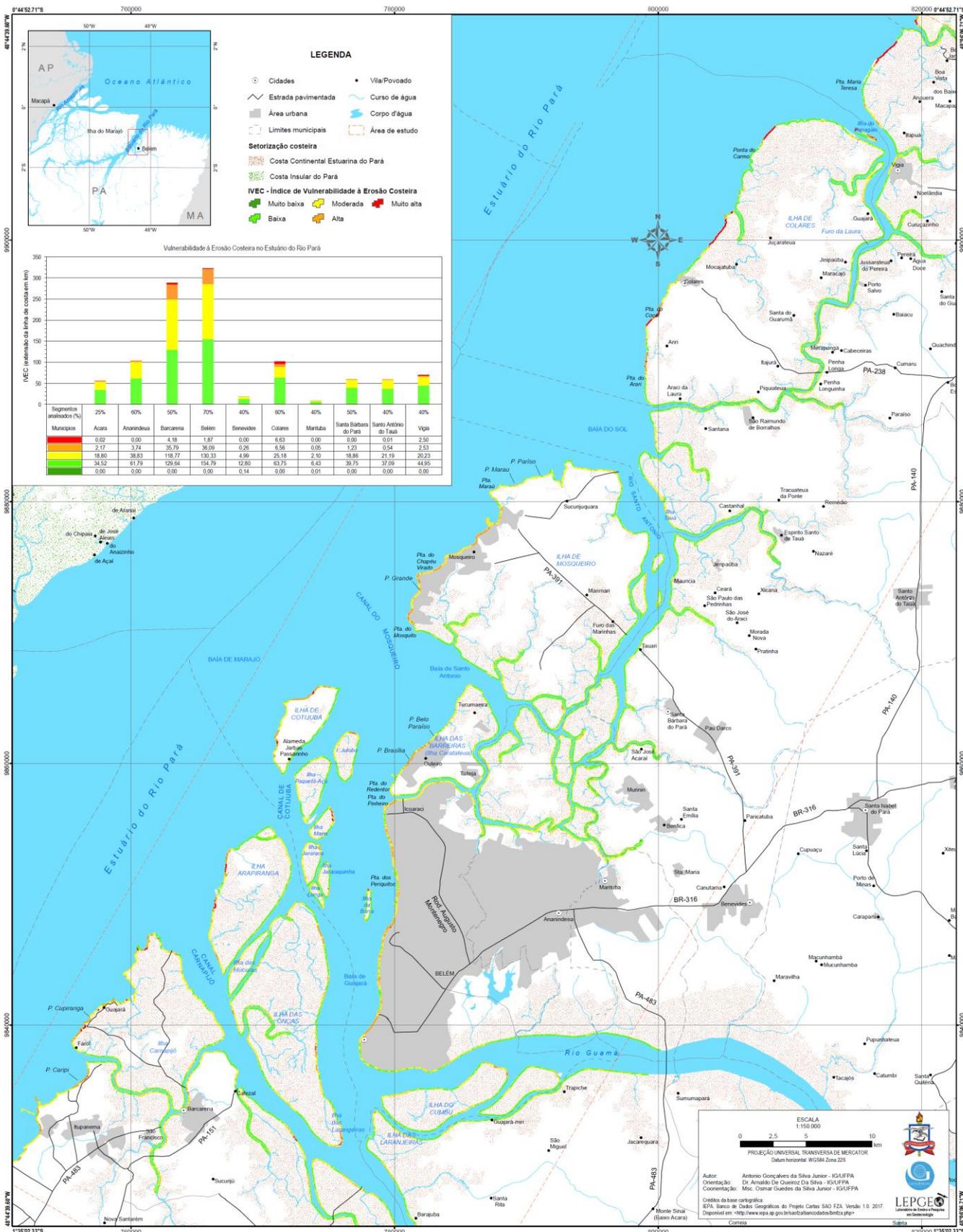


Figura 3 - Mapa de vulnerabilidade à erosão costeira. Fonte: Silva Junior (2019).

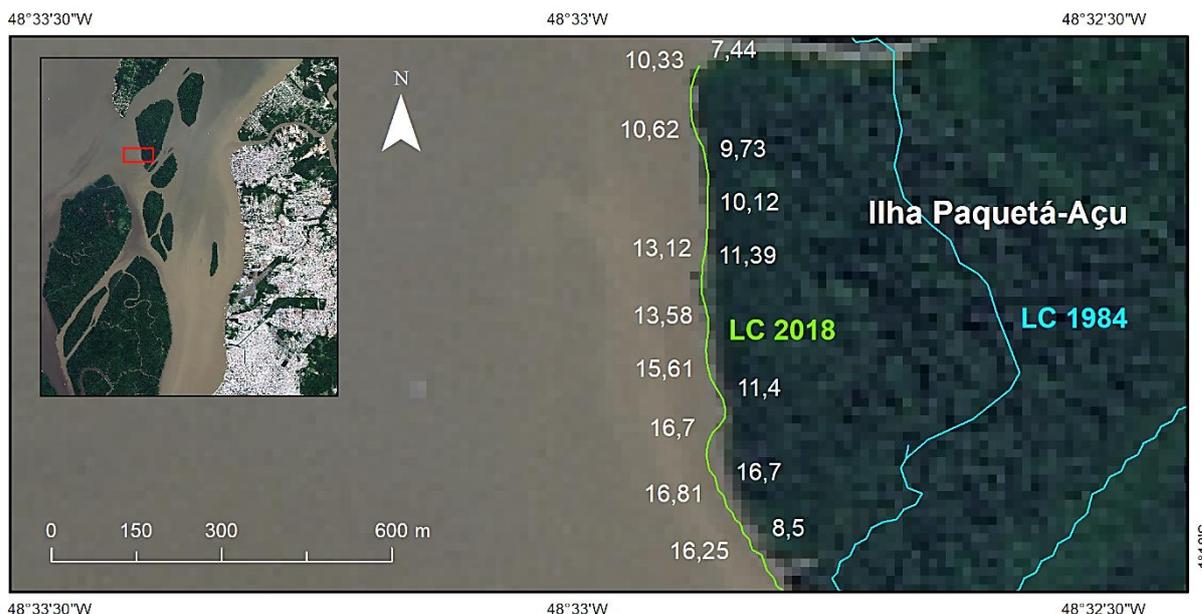


Figura 4 - Segmentos costeiros de Belém com vulnerabilidade à erosão baixa. Parte da costa sul da Ilha de Paquetá-Açu apresenta caráter progradante, com taxas de acreção entre 10 m/ano e 16 m/ano. A posição relativa das linhas de costa de 1984 e 2018 mostra o avanço da costa. Fonte: Silva Junior (2019).

Os segmentos de moderada e alta vulnerabilidade somam cerca de 51% dos segmentos analisados, o que corresponde à aproximadamente 166 km de costa. Estes valores classificam o município de Belém como o de maior extensão de costa em situação de vulnerabilidade moderada à alta. Estas regiões concentram-se ao longo das costas oeste e noroeste das ilhas citadas, e ao longo da costa oeste da zona urbana de Belém (margem leste da Baía do Guajará). A classificação de vulnerabilidade moderada à alta atribuída a esses segmentos deve-se em parte à uma tendência de retrogradação moderada da linha de costa, com taxas de erosão entre 1 m/ano e 3 m/ano. Outro fator determinante é que essas regiões são caracterizadas por praias arenosas, áreas urbanas e estruturas artificiais, determinando grau muito alto de vulnerabilidade para a variável "Habitats".

As Ilhas de Mosqueiro e Caratateua são as maiores e mais populosas do município de Belém, e as costas oeste e sudoeste dessas ilhas estão sob ação de intensos processos erosivos. Estas costas são caracterizadas por um alinhamento de falésias afeiçoadas pela erosão, que formam uma sequência de enseadas e promontórios expostos a energia de ondas e maré (IGREJA et al, 1990). Segundo Araújo-Júnior e Azevedo (2013), o processo erosivo de falésias na Praia da Brasília (Ilha de Caratateua) é acelerado pelo uso e ocupação desordenada, onde há construção de casas e estabelecimentos comerciais diretamente no topo das falésias. A construção de edificações nas proximidades das escarpas, removem a vegetação e contribui para a desestabilização das vertentes.

O município de Barcarena é o que apresenta maior percentual dos segmentos analisados classificados com vulnerabilidade moderada à alta, porém grande parte desses segmentos apresentam risco baixo e muito baixo. Assim como no município de Belém, os segmentos de baixa vulnerabilidade compreendem cerca de 45% dos segmentos analisados, o que corresponde à uma linha de costa de aproximadamente 130 km. Estas regiões estão concentradas nas costas norte e leste da Ilha Arapiranga, nas costas sul e noroeste da Ilha das Onças, e o restante encontra-se difundido nos canais de maré das ilhas e da porção continental, ao sul da Ilha Carnapijó, ao longo das margens do Furo do Arrozal (com exceção da porção que compreende a sede do município). (Figura 5).

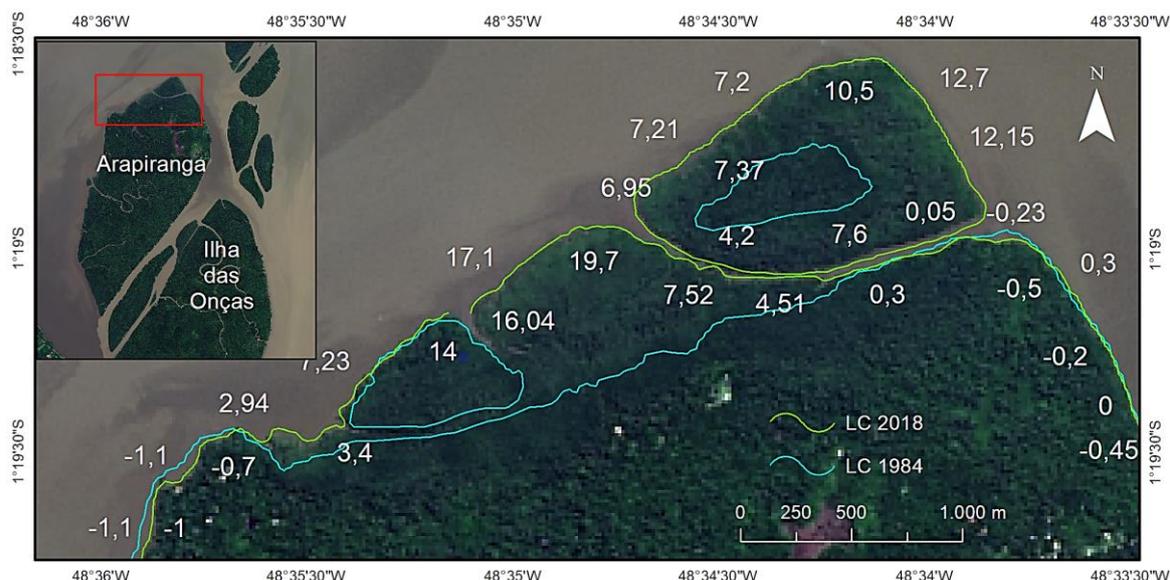


Figura 5 - Segmentos costeiros do município de Barcarena com vulnerabilidade à erosão baixa. A costa norte da Ilha Arapiranga apresenta caráter progradante, com taxas de acreção de até 19 m/ano. Entre 1984 e 2018, o núcleo de bancos de areias vegetados se expandiram e foram anexados a costa da ilha. A posição relativa das linhas de costa mostra as alterações no período. Fonte: Silva Junior (2019).

Rocha (2016) mapeou a sensibilidade de praias de Barcarena e identificou diversos indícios da ocorrência de processos erosivos na Praia do Caripi, onde foram registradas árvores de grande porte com suas raízes expostas ou tombadas, danos materiais em estabelecimentos comerciais, e estruturas de contenção deterioradas.

Os municípios de Colares e Vigia apresentam padrões similares na análise de vulnerabilidade e risco à erosão. Ambos têm cerca de 60% dos segmentos de linha de costa classificados com vulnerabilidade baixa, o que corresponde a cerca de 63 km de linha de costa em Colares, e 45 km em Vigia. O diferencial desses municípios são as áreas de vulnerabilidade muito alta à erosão. Juntos somam um percentual de segmentos, e uma extensão de linha de costa maior que o somatório dos demais municípios analisados. Ao contrário de outras regiões, esses segmentos são contínuos e demarcam nitidamente porções da costa que apresentam caráter altamente retrogradante. Nesses segmentos foram identificadas taxas de erosão de até 12 m/ano, o que mostra a tendência de recuo natural e acelerada nessas regiões (Figura 6).

Barbosa (2007) descreve as praias estuarinas do oeste de Colares como formadas por fenômenos locais de erosão e sedimentação na base das falésias baixas de até 4m de altura, esses segmentos de costa são erodidos por ondas, causando o solapamento das margens e retração local da linha de costa, onde o recuo das falésias é marcado por material laterítico residual da Formação Barreiras, que é exposto na zona de intermaré das praias.

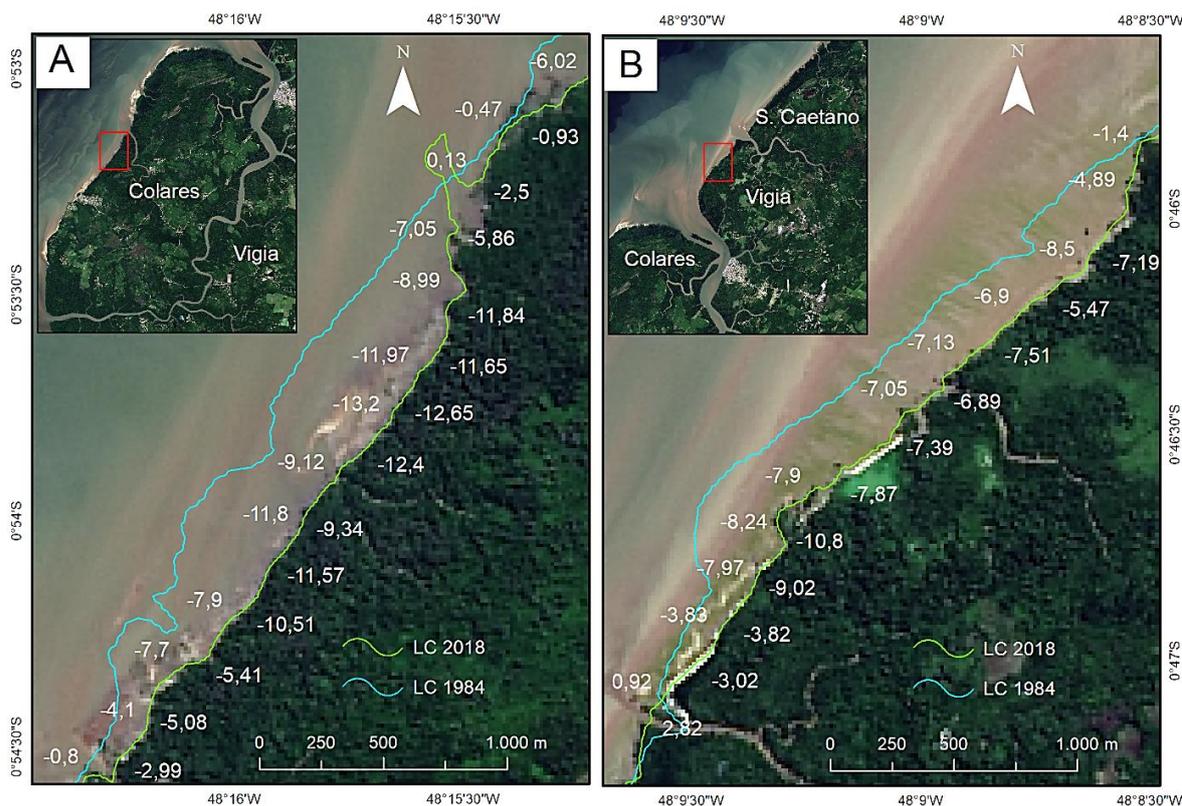


Figura 6 - Altas taxas de recuo da linha de costa nos municípios de Colares e Vigia: (A) parte da costa oeste município de Colares registra taxas de erosão de até 12 m/ano, um recuo de aproximadamente 430m; (B) parte da costa norte do município de Vigia registra taxas de erosão de até 7 m/ano, um recuo de aproximadamente 240 m.

Os municípios sob influência direta do Estuário do Rio Pará e os segmentos de costa que compreendem os canais internos, que não estão sob influência direta do Estuário compõem a costa dos municípios de Santo Antônio do Tauá, Santa Barbara do Pará, Benevides, Marituba e Ananindeua. Esses municípios apresentam características similares na análise da vulnerabilidade, e essas características são reflexos das suas localizações relativas ao Estuário do Rio Pará. No geral, são os municípios com os maiores percentuais de segmentos com grau de vulnerabilidade baixo.

O Programa Nacional de Gerenciamento da Linha de Costa (PROCOSTA) elenca os principais como problemas socioambientais decorrentes da erosão costeira: (i) redução na largura da praia; (ii) perda e desequilíbrio de habitats naturais; (iii) aumento na frequência e magnitude de inundações costeiras; (iii) perda de propriedades, bens públicos e destruição de estruturas artificiais; (iv) perda do valor imobiliário de habitações costeiras; (v) perda do valor paisagístico e turístico; (vi) prejuízos nas atividades socioeconômicas; (vii) gastos astronômicos na recuperação de praias e reconstrução da orla marítima (MMA 2018a). Desta forma, o diagnóstico elaborado é extremamente necessário o conhecimento acerca da vulnerabilidade e dos riscos aos quais o litoral paraense, fator fundamental para o gerenciamento costeiro. Contribuindo para a cartografia das áreas vulneráveis à erosão e para a determinação de índices de vulnerabilidade em escala de semi-detulhe (1:150.000).



CONCLUSÕES

A região do Estuário do Rio Pará, setor Continental Estuarino da Zona Costeira do Estado do Pará (ZCA) é de grande importância para o estado pois cerca 1.8 milhões de pessoas residem nos municípios que compõem este setor, além de ser uma importante hidrovia de entrada e saída de produtos e pessoas. Os dez municípios que compõem a área de estudo têm pelo menos 45% dos segmentos de costa em condições de vulnerabilidade baixa, e oito desses municípios têm pelo menos 60% dos segmentos de costa nessas condições. Isto indica que pelo menos metade da costa do Estuário do Rio Pará apresenta baixa vulnerabilidade à erosão. Os segmentos de costa em situação de vulnerabilidade moderada ou superior variam nos municípios, podendo estar entre 25% a 55%. Isto indica que pouco menos da metade da costa do Estuário do Rio Pará tem um grau moderado ou superior de vulnerabilidade à erosão costeira.

O município de Belém é o que apresenta a maior extensão de costa em situação de vulnerabilidade moderada à alta. Estas regiões concentram-se nas praias das Ilha de Mosqueiro e Caratateua, na costa oeste das ilhas Arapiranga e Cotijuba, e na margem leste da Baía do Guajará onde localiza-se a zona urbana de Belém. Além das áreas vulneráveis, Belém contém a maior extensão de costa em situação de risco moderado ou superior. O município de Barcarena é o que apresenta maior percentual dos segmentos analisados em condição de vulnerabilidade moderada à alta. Porém apenas 7% dos segmentos apresentam risco moderado ou superior, tendo a maior extensão de costa em situação de risco baixo ou muito baixo. As áreas de risco estão concentradas na margem leste do Rio Pará, na localidade de Itupanema, nas praias do Caripi, Farol, Praia do Sol, Cuipiranga e Guajarino, e na zona sede do município.

A metodologia utilizada neste estudo, baseada na análise multicritério a partir de dados de sensoriamento remoto, mostrou-se uma ferramenta poderosa na qualificação e quantificação de áreas vulneráveis à erosão costeira. As áreas identificadas demandam por atenção especial dos órgãos competentes, que precisam buscar soluções sérias que diminuam os efeitos da erosão e previnam desastres dessa natureza. A atenção deve voltar-se também às áreas naturalmente vulneráveis, buscando políticas públicas de ordenamento territorial que previnam a ocupação desordenada em áreas susceptíveis.

REFERÊNCIAS

- ABUODHA P. A. O.; WOODROFFE C. D. Assessing vulnerability to sea-level rise using a coastal sensitivity index p. a case study from southeast Australia. *Journal Coastal Conservation*, v. 14, n. 3, p. 189-205, 2010. doi.org/10.1007/s11852-010-0097-0
- ALCOFORADO A. V. C. *Índice de vulnerabilidade costeira e risco à inundação em cenários de mudanças climáticas no estuário do rio Piranhas-Açu com utilização de imagens de sensores orbitais e de lidar aeroportado*. 2017. 107 f. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2017.
- ARAÚJO-JÚNIOR A. C.; AZEVEDO A. K. Análise geomorfológica da porção oeste-sul w-s da ilha de Caratateua, distrito de Belém-Pará. *GeoAtos*, v. 2, n. 13, p. 10-25, 2013.
- BALTAZAR L. R. S.; MENEZES M. O. B.; ROLLNIC M. Contributions to the understanding of physical oceanographic processes of the Marajó Bay - PA, North Brazil. *Journal of Coastal Research*, v. 64, p. 1443-1447, 2011.
- BARBOSA E. J. *Unidades de relevo em zona costeira estuarina: municípios de Colares e Santo Antônio do Tauá - PA*. 2007. 96 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.



- BAZTAN J.; CHOUINARD O.; JORGENSEN B.; TETT P.; VANDERLINDEN P. J.; VASSEUR NICHOLLS L. *Costal zones: solutions for the 21st century*. Amsterdam, 2015.
- BEZERRA, M. O.; MEDEIROS, C.; KRELLING, A. P. M.; ROSÁRIO, R. P.; ROLLNIC, M. Physical oceanographic behavior at the Guama/Acara-Moju and the Paracauari river mouths, Amazon coast Brazil. *Journal of Coastal Research*, v. 64, p. 1448-1452, 2011.
- BUSMAN, D. V. *Zoneamento da dinâmica costeira - aplicação de geotecnologias em apoio à gestão costeira integrada na praia Atalaia-Pa e trecho de praias entre os municípios de Guamaré e Macau-RN, setor sob influência da indústria petrolífera*. 2016. 185 f. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2016.
- COELHO, C. D. B. *Riscos de Exposição de frentes urbanas para diferentes intervenções de defesa costeira*. 2005. 404 f. Dissertação (Mestrado), Universidade de Aveiro, Secção Autónoma de Engenharia Civil, 2005.
- CPRM. *Carta de Geodiversidade do Estado do Pará*. Escala 1:2.000.000, Belém: Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2013.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; FILHO, P. H.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. *Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico econômico e ao ordenamento territorial*. São José dos Campos - SP: Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE, 103p., 2001.
- EL-ROBRINI, M.; RANIEIRI, L. A.; SILVA, P. V. M.; GUERREIRO, J. S.; ALVES, M. A. M.; EL ROBRINI, M. H. S.; FENZL, N. Programa da erosão costeira no Brasil. In: MUEHE, D. (Org.) *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília - DF: Ministério do Meio Ambiente MMA, 2006.
- EL-ROBRINI, M.; SILVA, M.; SILVA JR. P.; EL-ROBRINI, M.; SILVA JR. O.; FRANÇA, C. Pará. In: MUEHE, D. (Org.) *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília - DF: Ministério do Meio Ambiente MMA, 2006.
- ESPIRITO-SANTO, C. M.; SZLAFSZTEIN, C. F. Gestão de risco de desastres em planos diretores de três municípios da zona costeira do estado do Pará, Brasil. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, v. 162, p. 223-229, 2016.
- FEYISA, G. L.; MEILBY, H.; FENSHOLT, R.; PROUD, S. R. Automated water extraction index: a new technique for surface water mapping using Landsat Imagery. *Remote Sensing of Environment*, v. 140, p. 23-35, 2014. doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029
- GERMANI, Y. F.; FIGUEIREDO, S. A.; CALLIARI, L. J.; TAGLIANI, C. R. A. Vulnerabilidade costeira e perda de ambientes devido à elevação do nível do mar no litoral sul do Rio Grande do Sul. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, v. 151, p. 121-131, 2015.
- GORNITZ, V. Global coastal hazards from future sea level rise. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology Global and Planetary Change Section*, v. 89, p. 379-398, 1990.
- GORNITZ, V. M.; BEATY, T. W.; DANIELS, R. C. *A coastal hazards data base for the U.S. West coast* [Data set]. Oak Ridge National Laboratory, 1997.
- GORNITZ, V. M.; WHITE, T. W.; CUSHMAN, R. M. Vulnerability of the US to future sea level rise. Coastal Zone '91. *Proceedings of the 7th Symposium on Coastal and Ocean Management*, American Society of Civil Engineers, 1991.
- GUIMARAES, U. S.; RODRIGUES, T. W. P.; LOURDES, B. T. G.; PAMPLONA, V. M. S. Change detection applied on shorelines in the mouth of Amazon River. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium*, p. 2146-2149, 2014.
- IBGE. *Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil*. Rio de Janeiro - RJ: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2011, 176p.



IBGE. *Mapa geomorfológico do estado do Pará*. Rio de Janeiro - RJ: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Ministério do Planejamento e gestão, 2008.

IGREJA, H. S.; BORGES, M. S.; ALVES, R. J.; COSTA JÚNIOR, P. S.; COSTA, J. B. S. Estudos neotectônicos nas ilhas de Outeiro e Mosqueiro - Nordeste do Estado do Pará. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 36, 1990, Natal. *Anais...* Natal: SBG, v. 3, p. 2110-2124, 1990.

INMET. *Arquivos climáticos*. Brasília-DF: Instituto Nacional de Meteorologia, 2018.

KUMAR, T. S.; MAHENDRA, R. S.; NAYAK, S.; RADHAKRISHNAN, K.; SAHU, K. C. Coastal vulnerability assessment for Orissa State, east coast of India. *Journal of Coastal Research*, v. 263, p. 523-534, 2010.

LINS-DE-BARROS, F. M. *Contribuição metodológica para análise local da vulnerabilidade costeira e riscos associados: estudo de caso da Região dos Lagos, Rio de Janeiro*. 2010. 297 f. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

LINS-DE-BARROS, F. M. *Risco e vulnerabilidade à erosão no município de Maricá, Rio de Janeiro*. 2005. 147 f p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

MALLMANN, D. L. B. *Análise de risco à erosão costeira de curto-termo para o litoral central de Pernambuco*. 2016. 158 f. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Pernambuco, 2016.

MAZZER, A. M.; DILLENBURG, S. R.; SOUZA, C. R. G. Proposta de método para análise de vulnerabilidade à erosão costeira no sudeste da ilha de Santa Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 382, p. 278-294, 2008.

MCLAUGHLIN, S.; COOPER, J. A. G. A multi-scale coastal vulnerability index: a tool for coastal managers?. *Environmental Hazards*, v. 93, p. 233-248, 2010.

MCLAUGHLIN, S.; MCKENNA, J.; COOPER, J. A. G. Socio-economic data in coastal vulnerability indices: constraints and opportunities. *Journal of Coastal Research*, v. 36, p. 487-497, 2002.

MMA. *Panorama da Erosão Costeira no Brasil*. Brasília - DF: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental, Departamento de Gestão Ambiental Territorial, 2018b.

MMA. *Programa Nacional para Conservação da Linha de Costa - PROCOSTA*. Brasília - DF: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental, Departamento de Gestão Ambiental Territorial, 2018a.

MOHAMAD, M. F.; LEE, L. H.; SAMION, M. K. H. Coastal vulnerability assessment towards sustainable management of Peninsular Malaysia coastline. *International Journal of Environmental Science and Development*, v. 56, p. 533-538, 2014. doi.org/10.7763/IJESD.2014.V5.540

MUEHE, D.; FERNANDES, G. B.; BULHÕES, E. M. R. AZEVEDO, I. F. Avaliação da vulnerabilidade física da orla costeira em nível local, tomando como exemplo o arco praiar entre rio das ostras e o cabo Búzios/RJ. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 122, 2011.

MUJABAR, P. S.; CHANDRASEKAR, N. Coastal erosion hazard and vulnerability assessment for southern coastal Tamil Nadu of India by using remote sensing and GIS. *Natural Hazards*, v. 69, p. 1295-1314, 2011. doi.org/10.1007/s11069-011-9962-x

MURALI, R. M.; ANKITA, M. S.; VETHAMONY, P. Coastal vulnerability assessment of Puducherry coast, India, using the analytical hierarchical process. *Natural Hazards Earth Syst. Sci.*, v. 13, p. 3291-3311, 2013. doi.org/10.5194/nhess-13-3291-2013



- OZYURT, G.; ERGIN, A. Improving coastal vulnerability assessments to sea-level rise p. a new indicator-based methodology for decision makers. *Journal of Coastal Research*, v. 262, p. 265-273, 2010.
- PENDLETON, E. A.; BARRAS, J. A.; WILLIAMS, S. J.; TWICHELL, D. C. Coastal vulnerability assessment of the Northern Gulf of Mexico to sea-level rise and coastal change. *U.S. Geological Survey Open-File Report*, p. 2010-1146, 2010.
- PEREIRA, C.; COELHO, C. Mapas de risco das zonas costeiras por efeito da ação energética do mar. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, v. 131, p. 27-43, 2013.
- PEREIRA, L. C. C. J.; DIAS, J. A.; CARMO, J. A. C.; POLETTE, M. A Zona Costeira Amazônica Brasileira. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, v. 9, n. 2, p. 3-7, 2009.
- RANGEL-BUITRAGO, N.; ANFUSO, G. *Risk Assessment of Storms in Coastal Zones: Case Studies from Cartagena (Colombia) and Cadiz (Spain)*. New York-NY: Springer, 2015, 63p.
- RANI, N. N. V.; SATYANARAYANA, A. N. V.; BHASKARAN, P. K. Coastal vulnerability assessment studies over India: a review. *Natural Hazards*, v. 77, p. 405-428, 2015. doi.org/10.1007/s11069-015-1597-x
- ROCHA, C. S. *Estudo e análise da vulnerabilidade costeira face a cenários de subida do nível médio do mar e eventos extremos devido ao efeito das alterações climáticas*. 2016. 129 f. Dissertação (Mestrado), Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Universidade de Lisboa, 2016.
- ROSÁRIO, R. P.; BORBA, T. A. C.; SANTOS, A. S.; ROLLNIC, M. Variability of salinity in Pará River Estuary: 2D analysis with flexible Mesh Model. *Journal of Coastal Research, Special Issue*, n. 75, p.128-132, 2016.
- ROYO, M. L.; RANASINGHE, R.; JIMÉNEZ, J. A. A rapid, low-cost approach to coastal vulnerability assessment at a national level. *Journal of Coastal Research*, v. 324, p. 932-945, 2016.
- SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, v. 153, p. 234-281, 1977.
- SILVA JUNIOR, A. G. *Estudo da vulnerabilidade e risco à erosão costeira na região do Estuário do Rio Pará*. 2019. 76 f. Monografia (Conclusão de Curso), Universidade Federal do Pará, 2019.
- SILVA, P. M. P. C. P. *Avaliação da vulnerabilidade costeira no concelho de Almada Portugal*. 2015. 339 f. Dissertação (Mestrado), Universidade dos Açores, 2015.
- SILVEIRA, Y. G.; BONETTI, J. Assessment of the physical vulnerability to erosion and flooding in a sheltered coastal sector: Florianópolis Bay, Brazil. *Journal of Coastal Conservation*, 2018.
- SOUZA FILHO, P. W. M.; SALES, M. E. C.; PROST, M. T. R. C.; COSTA, F. R.; SOUZA, L. F. M. O. *Zona Costeira Amazônica: o cenário regional e os indicadores bibliométricos em C&T*. Bibliografia da Zona Costeira Amazônica, Belém-PA: Museu Paraense Emilio Goeldi, Universidade Federal do Pará, Petrobras, 2005, 401p.
- SZLAFSZTEIN, C. F.; STERR, H. A GIS-based vulnerability assessment of coastal natural hazards, state of Pará, Brazil. *Journal Coastal Conservation*, v. 11, p. 53-66, 2007.
- THIELER, E. R.; HAMMAR-KLOSE, E. S. National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise, U.S. Atlantic Coast. *U.S. Geological Survey Open-File Report*, p. 99-593, 1999.
- THIELER, E. R.; HIMMELSTOSS, E. A.; ZICHICHI, J. L.; AYHAN, E. Digital Shoreline Analysis System DSAS version 4.0: An ArcGIS extension for calculating shoreline change ver. 4.4, July 2017. *U.S. Geological Survey Open-File Report*, p. 2008-1278, 2017.



TORRESAN, S.; CRITTO, A.; RIZZI, J.; MARCOMONI, A. Assessment of coastal vulnerability to climate change hazards at the regional scale: the case study of the North Adriatic Sea. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 12, p. 2347-2368, 2012. doi.org/10.5194/nhess-12-2347-2012

UNDP. *National Coastal Vulnerability Assessment and Designing of Integrated Coastal Management and Adaptation Strategic Plan for Timor*. United Nations Development Programme, 2018, 161 p.

VASQUEZ, L. V.; ROSA-COSTA, L. R.; SILVA, C. G.; RICCI, P. F.; BARBOSA, J. O.; KLEIN, E. L.; LOPES, E. S.; MACAMBIRA, E. M. B.; CHAVES, C. L.; CARVALHO, J. M.; OLIVEIRA, J. G.; ANJOS, G. C.; SILVA, H. R. *Geologia e recursos minerais do Estado do Pará: Sistema de informações geográficas - texto explicativo dos mapas geológico e tectônico e de recursos minerais do Estado do Pará*. Escala 1:1.000.000, Belém-PA: CPRM, 2008.

WONG, P. P.; LOSADA, I. J.; GATTUSO J. P.; HINKEL, J.; KHATTABI, A.; MCINNES, K. L.; SAITO, Y.; SALLENGER, A. Coastal systems and low-lying areas. In: FIELD BARROS, V. R.; DOKKEN, D. J.; MACH, K. J.; MASTRANDREA, M. D.; BILIR, T. E.; CHATTERJEE, M.; EBI, K. L.; ESTRADA, Y. O.; GENOVA, R. C.; GIRMA, B.; KISSEL, E. S.; LEVY, A. N.; MACCRACKEN, S.; MASTRANDREA, P. R.; WHITE, L. L. (Eds.) *Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability, Part A, Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York-NY: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, p. 361-409, 2014.

YIN, J.; YIN, Z.; WANG, J.; XU, S. National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise for the Chinese coast. *Journal of Coastal Conservation*, v. 161, p. 123-133, 2012. doi.org/10.1007/s11852-012-0180-9

ZAMBONI, A.; NICOLODI, J. (Org.) *Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil*. Brasília-DF: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental, 2008, 242p.

Bases digitais consultadas

IBGE. *Grade Estatística*. Rio de Janeiro - RJ: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2016. Disponível em www.downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.

IBGE. *Mapas*. Rio de Janeiro - RJ: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018. Disponível em mapas.ibge.gov.br.

IEPA. *Banco de Dados Geográficos do Projeto Cartas SAO FZA*. Versão 1.0., Instituto de Pesquisa Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá, 2017. Disponível em www.iepa.ap.gov.br/saofza/bancodados/bmfza.php.



ANÁLISE DO POTENCIAL EROSIVO EM SÃO MIGUEL DO GUAMÁ (PA)

Luciana Souza Brabo^{1,2} e Milena Marília Nogueira de Andrade^{2,3}

Resumo:

A região Norte do país, por seu clima tropical, apresenta elevadas taxas de pluviosidade. O impacto das gotas de chuva destrói as estruturas que compõem o solo podendo contribuir para a ocorrência de processos de erosão hídrica. Os processos erosivos podem colocar em risco a vida da população residente nessas áreas, além de provocar prejuízos relacionados à produtividade, como a perda de solo, inutilização de áreas agriculturáveis, degradação da qualidade da água e o assoreamento dos corpos d'água. A dinâmica da erosão segue uma evolução natural e tende a ser acelerada a partir de recorrentes intervenções antrópicas, que modificam a cobertura vegetal e as propriedades do solo, e favorecem o escoamento superficial. Nesse contexto, o trabalho teve como objetivo mapear a susceptibilidade à perda do solo por erosão hídrica, no município de São Miguel do Guamá, utilizando a Equação Universal de Perda do Solo. Para o desenvolvimento do estudo utilizou-se Sistemas de Informações Geográficas, que auxiliaram na análise dos dados. A metodologia consistiu em analisar dois cenários, onde o primeiro considerou os fatores naturais envolvidos nos processos erosivos, como topográfico, tipos de solo e erosividade das chuvas, enquanto o segundo, além dos fatores naturais, considerou a influência antrópica, associada ao fator uso do solo e práticas conservacionistas. O estudo verificou que a erosão atual variou de 0 a 1031,9 t/ha.ano, com total de 1.687.118,549 t/ha.ano e apontou os fatores topográficos e uso do solo e práticas conservacionistas, como aqueles de maior influência na variabilidade espacial das perdas de solo.

Palavras-chaves: Erosão hídrica laminar, EUPS, influência antrópica.

¹ Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, luciana.brabo@cprm.gov.br.

² Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Gestão de Riscos e Desastres na Amazônia.

³ Universidade Federal Rural da Amazônia, milenamarilia.andrade@gmail.com.



INTRODUÇÃO

A ocorrência de desastres naturais dá-se quando fenômenos de origem natural atingem regiões habitadas, causando-lhe danos (TOMINAGA, 2009). No Brasil há registros de ocorrências de alagamentos, enxurradas, erosões, estiagens e secas, geadas, granizo, inundações, incêndios, movimentos de massa, tornados e vendavais (CEPED, 2013). Na região Norte do país, os desastres de maior recorrência estão relacionados às elevadas taxas de pluviosidade (CEPED, 2013). No Estado do Pará destaca-se registros de eventos de erosão hídrica, devido ao impacto das gotas de água da chuva, que destroem as estruturas que compõem o solo (FONSECA; SZLAFSZTEIN, 2013)

As recorrentes intervenções antrópicas, como desmatamento, compactação e impermeabilização do solo e a agricultura intensiva, visando a rápida produção e sem o uso das técnicas conservacionistas, contribuem para a ocorrência e intensificação dos processos erosivos, pois promovem a alteração da cobertura vegetal e das propriedades do solo, intensificando o escoamento superficial da água e das partículas (VIEIRA et al, 2000; SANTORO, 2009; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010).

Os processos erosivos causam enormes prejuízos relacionados à diminuição da produtividade, como a perda de solo, inutilização de áreas agriculturáveis, degradação da qualidade e o assoreamento dos corpos d'água, podendo desencadear eventos de inundações e escorregamentos, além de aumentar o risco para a população residente nessas áreas (KOBAYAMA et al, 2006; FRANCISCO, 2011; SILVA; LUCHIARI, 2016).

Assim, Milanezzi e Pereira (2016) destacaram o estudo de susceptibilidade como uma forma de estimar áreas mais propensas à erosão, utilizando técnicas de geoprocessamento, que permitem melhor analisar e compreender as características do espaço (ZANELLA et al, 2013). Trata-se de estudo de caráter preventivo, capaz de fortalecer políticas de ordenamento territorial e evitar a ocorrência de perdas provenientes de processos erosivos (MAFFRA; MAZZOLA, 2007).

Muitos modelos matemáticos são utilizados para descrever e prever a ocorrência desses processos (FARINASSO et al, 2006). Dessa forma, a Equação Universal de Perda do Solo (EUPS), devido ao seu cunho empírico e ao advento do geoprocessamento, foi proposta pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) como um modelo matemático que permite definir áreas de susceptibilidade à erosão (MATOS, 2015).

No Estado do Pará a análise de processos erosivos utilizando o método EUPS tem sido utilizado em municípios com histórico de intensa mudança de cobertura do solo, mas sem relacionar com áreas de risco à erosão (CRUZ et al, 2019). São Miguel do Guamá, abriga o principal distrito ceramista do norte do país, onde a atividade minerária provoca intenso revolvimento do solo, podendo causar elevado impacto (LEITE et al, 2018).

O município de São Miguel do Guamá teve suas áreas de risco setorizadas pelo Serviço Geológico do Brasil onde foram identificadas 9 áreas de risco a processos erosivos, totalizando 12.596 m² de área urbana (MELLO; SIMÕES, 2015). Diante do exposto o trabalho tem como objetivo mapear a susceptibilidade à perda de solo por erosão hídrica laminar no município de São Miguel do Guamá, localizado no Nordeste Paraense, utilizando a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS).



MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

O município de São Miguel do Guamá, está localizado na Mesorregião do Nordeste Paraense e Microrregião do Guamá, com extensão territorial de 1.094,564 km² (IBGE, 2010). A norte estão os municípios de Inhangapi, Castanhal, Santa Maria do Pará e Bonito, a leste os municípios de Bonito e Ourém, ao sul os municípios de Irituia, São Domingos do Capim e Bujaru e a oeste o município de Inhangapi (Figura 1).

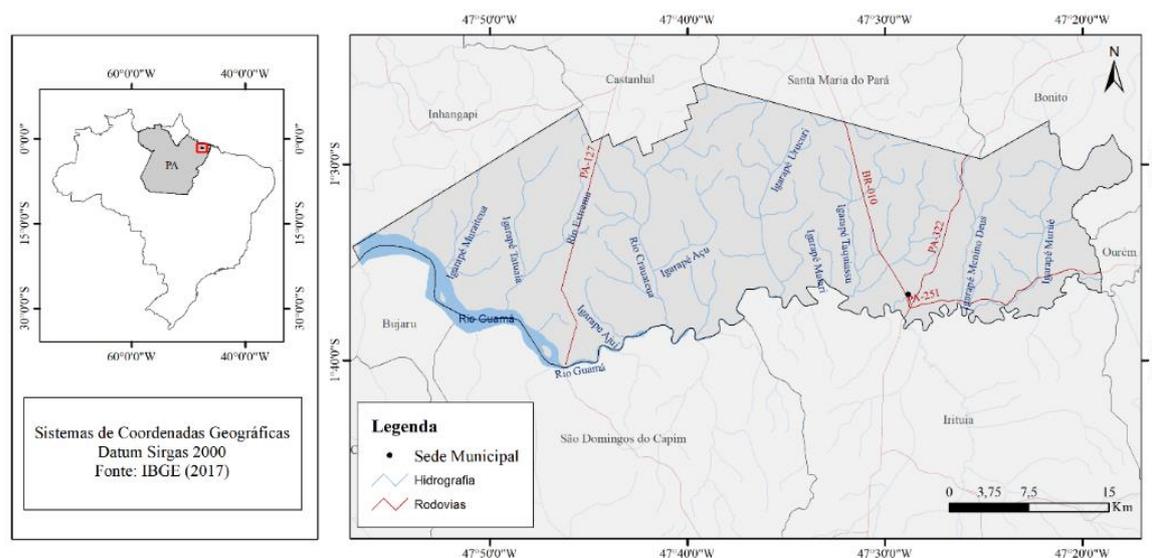


Figura 1 - Mapa de localização do município de São Miguel do Guamá (PA). Fonte: Brabo (2020).

O Nordeste Paraense apresenta tipo climático variando de Mesotérmico a Megatérmico úmido, peculiar da região Amazônica, e caracteriza-se pela ocorrência de elevadas temperaturas e umidade (CORDEIRO et al, 2017). Com regime pluviométrico de aproximadamente 2.250 mm/ano, o município de São Miguel do Guamá concentra 80% das chuvas no período de janeiro a junho (FAPESPA, 2016).

O município possui topografia de pouca amplitude altimétrica e cotas variando de 10 a 73 m. Estando a sede municipal cerca de 20 m acima do nível do mar (FAPESPA, 2016).

Possui solos como Latossolo Amarelo distrófico, textura média; Concrecionário Laterítico indiscriminado distrófico, textura indiscriminadas; Areia Quartzosa distrófico, textura indiscriminadas e hidromórfica indiscriminada (HUFFNER, 2015).

A geologia encontrada do município é relacionada ao Grupo Barreiras, constituído por arenitos com estratificação cruzada tabular, além de conglomerados e pelitos, representantes de ambientes continentais e transicionais (fluvial/leques aluviais, lagos e planície de maré) (ALMEIDA, 2000). Há também a presença do Arenito Guamá, unidade sedimentar peculiar do Nordeste Paraense, que possui quartzo arenitos, com granulometria de fina a média, silicificados de cor branca e ricos em icnofósseis (VASQUEZ et al, 2008). Nas margens do rio Guamá há coberturas Holocênicas, com sedimentos recentes inconsolidados, representados por areias (fluviais, de praia e eólicas), cascalhos fluviais e pelitos laminados (planície de maré e de inundação, lagos) (ALMEIDA, 2000).

Nesta região há abundância de recursos hídricos, com inúmeros rios e igarapés, sendo o rio Guamá o mais importante, que em sua margem direita abriga o município de São Miguel do Guamá, e cujos principais afluentes são os Igarapés Cuperé, Muraiteua,



Matupireteua, Ajuai, Crauteua, Aracuí, Urucuri, Matari, Itaqui-Açu, Menino-Deus, São João e o rio Mururé (FAPESPA, 2016; CORDEIRO et al, 2017).

A vegetação do município é composta predominantemente por Florestas Secundárias, com eventuais testemunhos da mata primária, geralmente nas áreas marginais do rio Guamá e de seus afluentes, cujos subtipos originais pertencem à Floresta Densa dos Baixos Platôs e Floresta Densa dos Terraços Aluviais (TORRES, 2007).

Metodologia

Para a estimativa de perda de solo por erosão, foi utilizada a Equação Universal de Perda do Solo proposta por Wischmeier e Smith (1965). A EUPS foi aplicada em escala regional, com os seus resultados analisados sob uma perspectiva qualitativa da erosão hídrica laminar, fornecendo a espacialização das áreas com a estimativa de seus respectivos graus de susceptibilidade erosiva. A EUPS calcula a perda de solo (A) a partir da integração de fatores naturais e antrópicos, sendo expressa pela seguinte equação:

$$A = R . K . L . S . C . P$$

Onde:

“A” é a perda de solo laminar em t/ha.ano;

“R” é o fator de erosividade das chuvas em Mj.mm/ha.h.ano;

“K” é o fator de erodibilidade do solo em t.h/Mj.mm;

“L” é o fator comprimento de rampa (adimensional);

“S” é a declividade (adimensional);

“C” é o fator uso e manejo (adimensional);

“P” é o fator práticas conservacionistas (adimensional).

Fator R - Erosividade das chuvas

Para o cálculo do Fator R foram utilizados 30 anos de registros pluviométricos, de jan/1988 a dez/2018, de 06 estações da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN): Acará, Colônia Santo Antônio, Fazenda Jauará, Igarapé-açu, Ourém, Santa Isabel do Pará. As estações escolhidas foram capazes que cobrir toda a área municipal de São Miguel do Guamá. Os dados de precipitação foram obtidos na Plataforma de Dados Hidroweb (http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf).

Para verificar a qualidade e homogeneidade do banco de dados pluviométrico, foram executadas comparações entre as informações da estação em análise com as estações de apoios, permitindo identificar, corrigir erros e preencher as falhas existentes nas séries históricas; além da verificação da homogeneidade dos dados, utilizando o software Hidro-Plu 2010, cuja formulação matemática foi desenvolvida por Holanda e Oliveira (1979), utilizando o método de regressão linear múltipla.

Após a consistência dos dados, foi calculada para cada estação a erosividade média das chuvas, conforme equação 01, proposta por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992).

$$R = \sum \left[67,355 \left(\frac{r^2}{p} \right)^{0,85} \right] \quad \text{eq. 01}$$

Onde:

“r” é a média do total mensal (mm);

“p” é a média do total anual de precipitação (mm).

Para a espacialização desses dados foi realizada interpolação dos valores do fator R de cada estação, utilizando o interpolador linear Spline, da extensão Spatial Analyst, do



ArcGis 10.2. Esses valores foram classificados segundo o seu potencial erosivo e seguindo a chave de interpretação proposta por Carvalho (1994) e modificada para o Sistema Internacional de Unidade Métrica por Foster (1981) (Tabela 1).

Tabela 1 - Chave de interpretação de Erosividade da chuva.

MJ.mm/ha.h.ano	CLASSE
$R \leq 2452$	Baixa
$2452 < R \leq 4905$	Média
$4905 < R \leq 7357$	Média - forte
$7357 < R \leq 9810$	Forte
$R > 9810$	Muito forte

Fonte: Carvalho (1994); Foster (1981).

Fator K - Erodibilidade do Solo

Para o mapa de erodibilidade, foi utilizada a base de dados vetoriais, elaborada pela Embrapa Amazônia Oriental, com informação e localização dos tipos de solo, presentes no município. Os dados foram disponibilizados em 2016 e fazem parte do Mapas de Solos e de Aptidão Agrícola das áreas alteradas do Estado Pará, com escala de 1:250.000.

As informações dos parâmetros físico-químicos de cada tipo de solo, presentes no município, foram obtidas em estudo do Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias do Norte, que descreve os solos da região Bragantina (FALESI et al, 1967). Enquanto as texturas dos solos foram determinadas com base no triângulo textural, desenvolvido por Lemos e Santos (1996), que utiliza os valores das frações areia, silte e argila de uma amostra de solo.

Para a obtenção do Fator K foram utilizadas somente as características do Horizonte A, mais superficial. Sendo o mesmo calculado pela média aritmética dos sub-horizontes A.

Para o cálculo do fator K foi utilizada formulação de Denardin (1990) que estima a erodibilidade a partir de atributos físico-químicos do solo, conforme equações 02 a 05.

$$K = 0,00000748.M + 0,00448059.p - 0,06311750.DMP + 0,01039567.r \quad \text{eq. 02}$$

$$M(\%) = (areia\ fina + silte) \cdot ((areia\ fina + silte) + areia\ grossa) \quad \text{eq. 03}$$

$$DMP = \frac{(0,65 \cdot areia\ grossa) + (0,15 \cdot areia\ fina) + (0,0117 \cdot silte) + (0,00024 \cdot argila)}{100} \quad \text{eq. 04}$$

$$r = \frac{\% \text{ matéria orgânica} \cdot \% \text{ areia grossa}}{100} \quad \text{eq. 05}$$

Onde:

“M” é a variável calculada a partir de valores granulométricos;

“p” é permeabilidade do perfil de solo (Tabela 2);

“DMP” é o diâmetro médio ponderado de partículas menores que 2 mm;

“r” é a relação entre matéria orgânica e areia grossa.



Tabela 2 - Classificação quanto à permeabilidade do solo.

Classe textural	Permeabilidade	Classe de permeabilidade
Muito Argilosa, Argilosa e Argilo-Siltosa	Muito lenta	1
Franco-Argilo-Siltosa e Argilo-Arenosa	Lenta	2
Franco-Argilo-Arenosa e Franco-Argilosa	Lenta a moderada	3
Franca, Franco-Siltosa e Siltosa	Moderada	4
Areia-Franca e Franco-Arenosa	Moderada a rápida	5
Arenosa	Rápida	6

Fonte: Denardin (1990).

Após a obtenção do fator K, utilizou-se a função Raster Calculator, da extensão Spatial Analyst, do ArcGis 10.2, para gerar o mapa de erodibilidade do município de São Miguel do Guamá, onde cada tipo de solo recebeu seu respectivo valor de erodibilidade.

Fator LS - Topográfico

O fator topográfico (LS) da equação universal EUPS representa o efeito conjugado do comprimento de rampa e da declividade sobre a perda do solo, sendo este fator adimensional.

O Fator LS foi calculado com base no Modelo Digital de Elevação (MDE), proveniente da missão Shuttle Radar Topography Mission – SRTM 1 Arc-Second Global, desenvolvida pela NASA e com resolução espacial de 30 m x 30 m. A manipulação do MDE foi realizada com auxílio do software Arcgis 10.2.

Foi realizada reamostragem da imagem SRTM, de 30 m para 10 m, utilizando a função Resample, da extensão Data Management Tools; correção de falsas depressões ou depressões espúrias, utilizando-se o comando Fill da extensão Spatial Analyst; bem como a determinação da direção do fluxo e da quantidade de fluxo acumulado a montante daquele pixel, utilizando as funções, Flow Direction e Flow Accumulation, respectivamente, da extensão Spatial Analyst Tools.

Para determinar o fator de comprimento de vertente foi empregada a equação 06, desenvolvida por Desmet e Govers (1996):

$$L_{ij} = \frac{[(A_{ij-in} + D^2)^{m+1} - (A_{ij-in})^{m+1}]}{[D^{m+2} \cdot x_{ij}^m \cdot (22,13)^m]} \quad \text{eq. 06}$$

Onde:

“L_{ij}” é o fator de comprimento de vertente de uma célula com coordenadas (i,j) (adimensional);

“A_{i,j-in}” é a área de contribuição da célula em coordenadas (i,j) (m²);

“D” é o tamanho da célula em metros;

“x_{ij}” é o coeficiente para grade de célula em coordenadas (i,j);

“m” é o coeficiente que assume os valores: 0,5, se s ≥ 5% (s é o grau de declividade); 0,4, se 3% ≤ s < 5%; 0,3, se 1% ≤ s < 3%; e 0,2, se s < 1%.

A variável “A_{i,j-in}” foi determinada pelo produto entre o fluxo acumulado e a área de cada célula (100 m²). O tamanho da célula (D), 10 m, foi definido conforme o tamanho do pixel da imagem reamostrada. Enquanto o coeficiente “x_{ij}” foi calculado em função da direção do fluxo e obtido pela equação 07.



$$x = \text{sen}\alpha + \text{cos}\alpha \quad \text{eq. 07}$$

Onde:

“ α ” é a direção do fluxo na vertente.

O fator de declividade (S) foi obtido seguindo a equação 08, da metodologia de Wischmeier e Smith (1978), onde a declividade (s) foi determinada utilizando a função Slope do software ArcGis 10.2:

$$S = 0,00654 \cdot s^2 + 0,0456 \cdot s + 0,065 \quad \text{eq. 08}$$

Onde:

“S” é o fator de declividade (adimensional);

“s” é a declividade média da vertente (%).

A partir disso, o Fator LS foi calculado utilizando a equação proposta por Bertoni e Lombardi Neto (2010), que permite calcular a perda média de solo para os variados comprimentos de rampa e graus de declive, conforme equação 09.

$$LS = 0,00984 \cdot C^{0,63} \cdot D^{1,18} \quad \text{eq. 10}$$

Onde:

“LS” é o Fator Topográfico;

“C” é o comprimento da rampa (m);

“D” é grau de declive (%).

Fator CP - Uso do solo (C) e Práticas Conservacionistas (P)

Para a elaboração do mapa de uso do solo foram utilizadas imagens orbitais, adquiridas pelo sensor Multispectral Instrument (MSI), instalado a bordo do satélite Sentinel-2. As imagens foram obtidas através de consulta ao diretório do U.S. Geological Survey (USGS) que as disponibiliza gratuitamente, para download. As cenas escolhidas (22 MHD e 23 MKU) são datadas do 28/10/2018, pois optou-se por cenas recentes e com a presença mínima de nuvens (aproximadamente 2,5%). Estas possuem nível 1C de processamento, ou seja, apresentam-se geometricamente corrigidas (ortoretificadas).

Foram utilizadas as bandas 2, 3, 4 e 8, de 10 m de resolução e realizado o processo de correção atmosférica das imagens, para minimizar a influência dos fatores da atmosfera terrestre. Assim, utilizou-se o método DOS1 (Dark Object Subtraction 1), por meio da ferramenta Semi Automatic Classification Plugin (SCP) do software Quantum Gis 2.14.9.

Utilizando o Software Envi 5.1 foi elaborado o mosaico das cenas e o seu recorte, considerando os limites de São Miguel do Guamá, além da composição colorida falsa-cor RGB483 e da classificação da imagem.

A classificação da imagem foi obtida de forma semiautomática, inicialmente pela Classificação Supervisionada da imagem, do tipo pixel-pixel, pelo método da Máxima Verossimilhança (MAXVER). Onde foram estabelecidas áreas de treinamento, para cada uma das classes, fundamentadas no conhecimento prévio da área de estudo, na interpretação visual da imagem e na coleta de dados “in loco”.

Posteriormente, durante o pós-processamento, foi utilizado o software ArcGis 10.2 para corrigir os erros de classificação, comparando os resultados às imagens de alta resolução do Google Earth Pro. Também foi realizada a validação da classificação durante visita ao município, com a coleta de pontos de controle das diversas classes de uso do solo. Assim, os polígonos classificados erroneamente foram editados, corrigidos e obteve-se o mapa final de uso do solo.



O fator C para cada tipo de uso do solo, foi estabelecido conforme trabalhos de Stein et al. (1987); Tavares (2001), Tomazoni e Guimarães (2005) e Costa et al. (2009). Enquanto o fator P seguiu os valores estabelecidos na literatura por Castro Junior (2008), que adaptou os valores sugeridos por Bertoni e Lombardi Neto (2010). Dessa forma, utilizando a função Raster Calculator, da extensão Spatial Analyst do software ArcGis 10.2, atribuiu-se a cada classe de uso os valores do fator CP.

Mapas de erosão potencial (EP) e erosão atual (EA)

O mapa de Potencial Natural à Erosão Laminar (PNE) avalia a interferência dos principais fatores naturais do meio físico no processo de erosão hídrica laminar. Em sua elaboração foi realizado produto dos fatores R, K, L e S da EUPS e considerado o pior cenário possível para a área de estudo, com solo completamente exposto. Enquanto o mapa de erosão atual (EA) avalia a influência antrópica, associada ao uso do solo, e foi obtido pelo produto de todos os fatores da EUPS, sendo, R, K, L, S e CP.

Dessa forma, para elaboração dos mapas PNE e EA de São Miguel do Guamá, utilizou-se a função Raster Calculator, da extensão Spatial Analyst, do ArcGis 10.2.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Fator R - Erosividade das chuvas

No período de 1988 a 2018, as estações próximas a São Miguel do Guamá apresentaram precipitação total média variando entre 2180,5 e 2883,1 mm. Sendo o período de fevereiro a maio aquele com maior pluviosidade média, em torno de 57% das chuvas ocorridas, enquanto os meses de agosto a novembro apresentaram menor pluviosidade média mensal, com 12,4 % das chuvas ocorridas.

Já, o Fator Erosividade (R) para a mesma região variou de 10476,2 MJ.mm/ha.h.ano a 13050,5 MJ.mm/ha.h.ano. Sendo estes valores de potencial erosivo muito forte, de acordo com a chave de interpretação proposta por Carvalho (1994) (Figura 2).

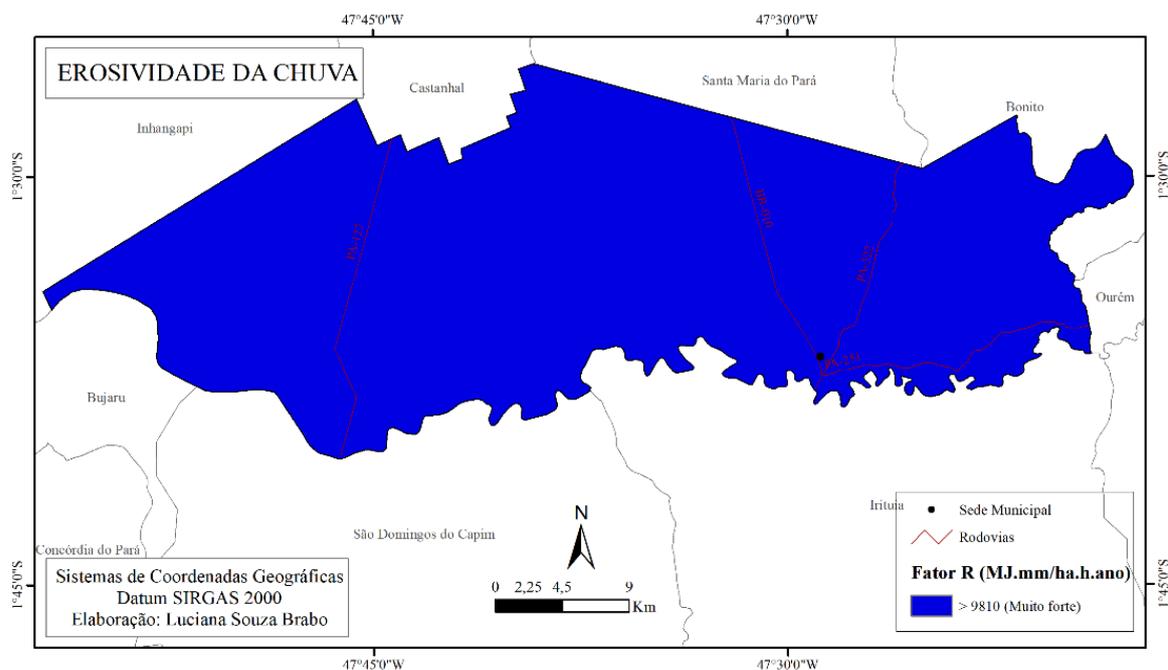


Figura 2 - Mapa de erosividade para o município de São Miguel do Guamá. Fonte: Brabo (2020).



A análise comparativa dos dados demonstrou que a erosividade das chuvas variou conforme com a precipitação, tendo o seu pico registrado no mês de março, e a partir do qual inicia-se um decréscimo, chegando ao seu valor mínimo no mês de outubro. Dessa forma, no período de fevereiro a maio ocorreram as chuvas de maior potencial erosivo, coincidindo com o período mais chuvoso na região, quando era esperada a maior parte das perdas de solo por erosão (Figura 3).



Figura 3 - Relação mês a mês entre pluviosidade e erosividade. Fonte: Brabo (2020).

Os elevados índices de erosividade, encontrados na região de São Miguel do Guamá, se enquadram na faixa de variação de 10000 a 12000 MJ.mm/ha.h.ano, estabelecida por Silva (2004) para essa região, no mapeamento de erosividade de chuva para o Brasil. Além disso, esses resultados concordam com os valores obtidos por Oliveira Junior et al (1992), para o município de Bragança (12.350,8 MJ.mm/ha.h.ano), também localizado na região do nordeste paraense e distante cerca de 100 km de São Miguel.

Fator K - Erodibilidade do Solo

Em São Miguel do Guamá os tipos de solo encontrados foram o Latossolo Amarelo Distrófico Típico, associado ao grupo Argissólico, que ocupa 71% de área municipal, é bem drenado e possui textura arenosa; Gleissolos Háplicos Tb Distrófico Típico, ocupa cerca de 22% do município, é imperfeitamente drenado, possui textura predominantemente argilosa e coloração branca; e Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico, que ocupa cerca de 6% do território, é bem drenado, textura franco arenosa e friável. A erodibilidade no horizonte A variou entre 0,014 e 0,048 t.h/MJ.mm (Figura 4). Sendo esses índices variando entre baixa e alta erodibilidade, quando utilizada a chave de classificação proposta por Carvalho (1994) e adaptada por Foster (1981).

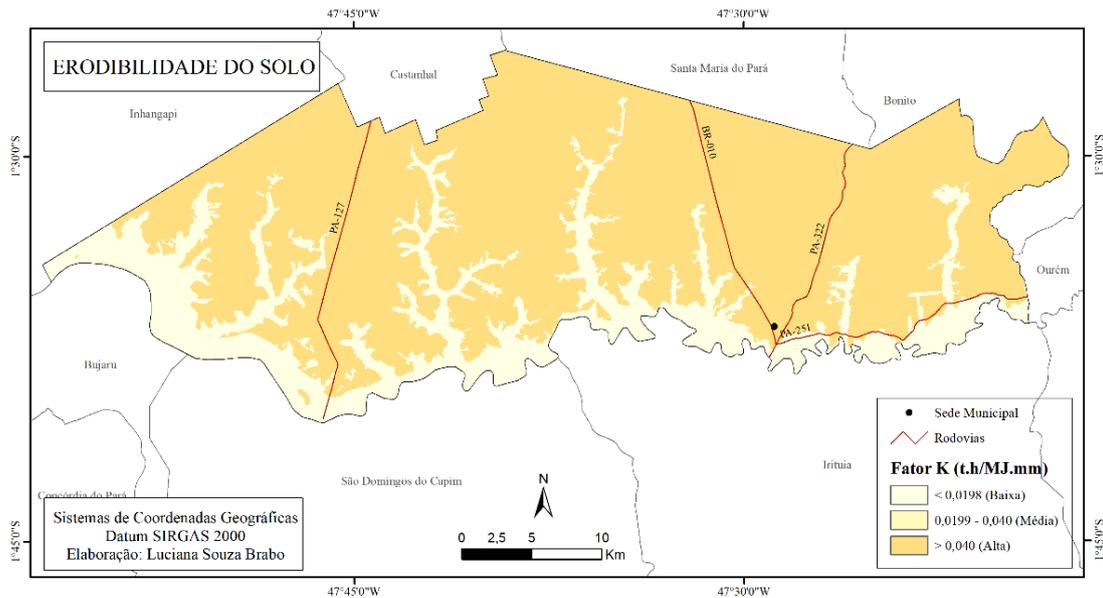


Figura 1 - Mapa de erodibilidade do solo no município de São Miguel do Guamá. Fonte: Brabo (2020).

O tipo de solo que apresentou menor índice de erodibilidade, e, portanto, maior resistência à erosão, está concentrado às margens do Rio Guamá e seus afluentes, região constituída por Gleissolo Háplico, tipo de solo geralmente associado a ambientes úmidos. Conforme Lima et al (2007), em solos muito argilosos a variação do valor de K, depende quase que exclusivamente da variável permeabilidade. Nesse estudo, o Gleissolo Háplico, apresentou permeabilidade muito lenta, assumindo valor 1, que levou a uma diminuição do índice para esse tipo de solo. Dessa forma, o resultado encontrado para o Gleissolo (0,014), foi muito próximo aos valores encontrados na literatura por Di Raimo et al (2019) no Mato Grosso (0,018) e por Lima et al (2007) no Distrito Federal (0,013).

Enquanto os Latossolos, do tipo Amarelo e Vermelho-amarelo, que juntos ocupam cerca de 75% da área municipal, apresentaram maiores valores de erodibilidade, sendo 0,045 e 0,048 respectivamente, e por isso apresentaram maior tendência a sofrer erosão. Conforme Arraes et al (2010) os Latossolos possuem condições pouco favoráveis à concentração de água por escoamento superficial, pois em geral são solos bem drenados, maduros e profundos. No entanto, os resultados obtidos vão de encontro aos observados na literatura, onde a maioria dos estudos foram aplicados em Latossolos de textura argilosa ou muito argilosa e obtiveram valores de erodibilidade para Latossolo Amarelo de 0,015 no Distrito Federal (LIMA et al, 2007) e 0,0277 no Piauí (MORAIS; SALES, 2017). Enquanto para Latossolo Vermelho-amarelo, também de textura argilosa ou muito argilosa, foram encontrados valores variando de 0,0020 a 0,034 no Mato Grosso (DI RAIMO et al, 2019); 0,011 a 0,026 no Distrito Federal (LIMA et al, 2007); e 0,032 na Bacia do Rio Paracatu (SILVA et al, 2004).

Dessa forma, os resultados evidenciaram que quanto maior o produto entre as partículas maiores (teores de areia e silte), mais elevada será a erodibilidade. Além disso, em solos de textura arenosa, podem ocorrer saturação por infiltração de água pluvial, além do aumento na susceptibilidade erosiva, devido a menor agregação entre as partículas.



Fator LS - Topográfico

Em São Miguel do Guamá o comprimento de rampa predominante (96%) foi de 0 a 10 m (Figura 5). Os valores mais baixos ocorreram nos topos de morro, enquanto os mais elevados estão nas proximidades das drenagens (área acumulada), onde há distância expressiva do divisor de água e a ocorrência de convergência de fluxo, condições similares foram encontradas por Medeiros (2016) e Silva (2003).

Para avaliar o efeito da declividade sobre o fator S seguiu-se a classificação proposta por EMBRAPA (1979). Logo, 99,9 % da área municipal foi considerada com relevo plano e suave ondulado. E, conforme Silva e Machado (2014) esse tipo de relevo favorece a infiltração da água no solo e diminui a ocorrência de escoamento superficial, resultando em baixas taxas erosivas no solo (Figura 5).

A análise do fator topográfico é importante na configuração da erosão hídrica, pois caracteriza a velocidade do escoamento superficial. Em São Miguel do Guamá o fator LS variou entre 0 e 15, com 99% desses valores considerados muito baixo, seguindo a classificação estabelecida por Silva (2003). Tal característica contribui para que o município apresente taxas menores de escoamento superficial, desfavorecendo a ocorrência de erosão hídrica laminar.

Dessa forma, ressalta-se que o algoritmo utilizado para o cálculo automatizado do fator topográfico (LS) apresentou resultados coerentes com a realidade, conforme estudos similares, com valores muito baixos nos divisores hidrográficos e aumento gradativo no sentido dos canais de drenagem (Figura 5). Assim, de uma maneira geral, os valores elevados correspondem a relevos mais energéticos (STEIN et al, 1987).

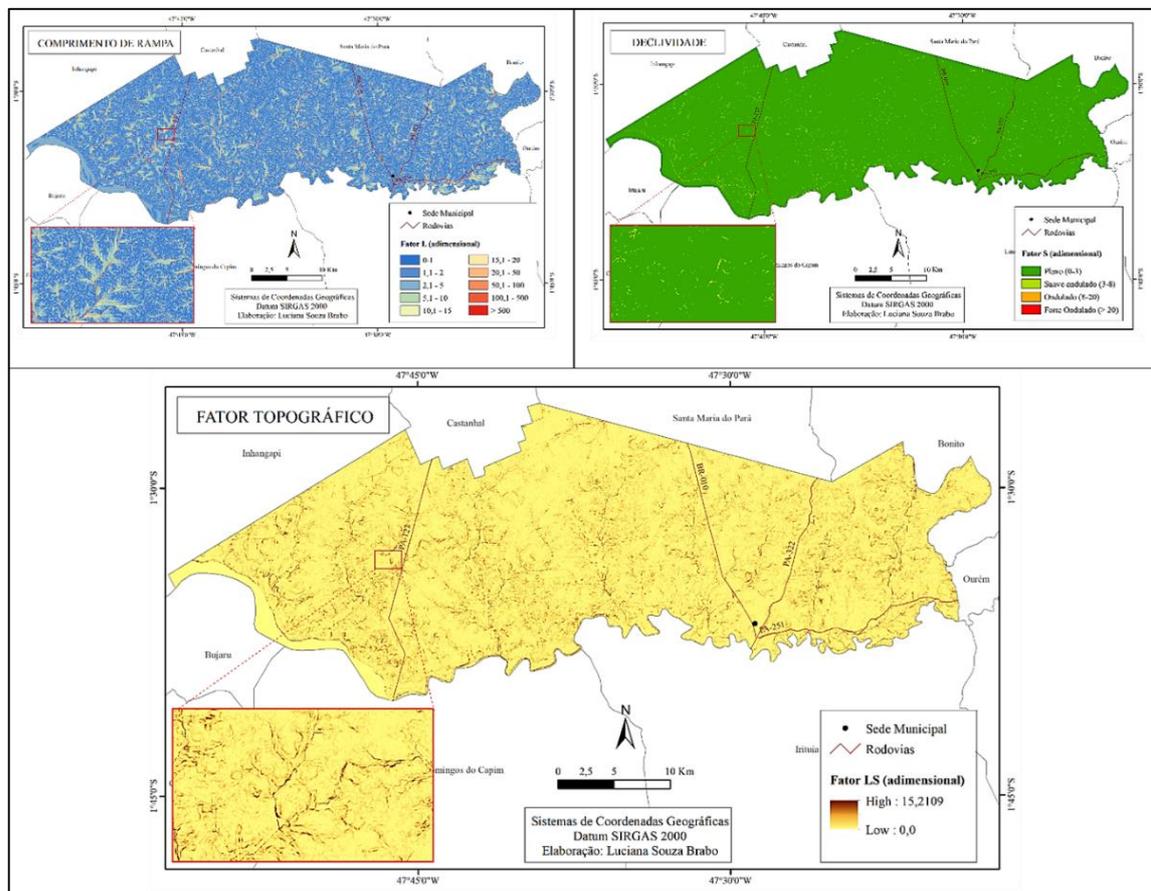


Figura 5 - Mapas dos fatores comprimento de rampa (L), declividade (S) e topográfico (LS). Fonte: Brabo (2020).



Com isso, o estudo sugere que a declividade é fator preponderante para a obtenção de altos valores de fator topográfico. Entretanto, os resultados também concordam com estudo de Galdino (2012), que destaca a importância do comprimento da rampa para a estimativa do fator topográfico, especialmente quando a declividade apresentar valores menores que 20%. Resultados similares foram apresentados por Matos (2015) e Santos (2013), que em regiões de relevo suave (3 a 8) tiveram valores do fator topográfico mais elevados, quanto maior o comprimento de rampa. No entanto, como a região de estudo também apresentou valores muito baixos de comprimento de rampa (< 10), os resultados apontaram potencial erosivo muito baixa quanto ao fator topográfico.

Fator CP - Uso do solo (C) e Práticas Conservacionistas (P)

O uso do solo em São Miguel do Guamá é composto por 12 classes (Figura 6, Tabela 3). Sendo mais da metade do seu território (cerca de 55%) ocupado por áreas que vêm sofrendo modificações em decorrência de atividades antrópicas. Deste percentual, aproximadamente 25% pertencem à classe Pastagem, 17% às áreas em estágio inicial de regeneração e 8% aos cultivos agrícolas, que tem como principais representantes as culturas de urucum, pimenta do reino, dendê, mandioca e o feijão.

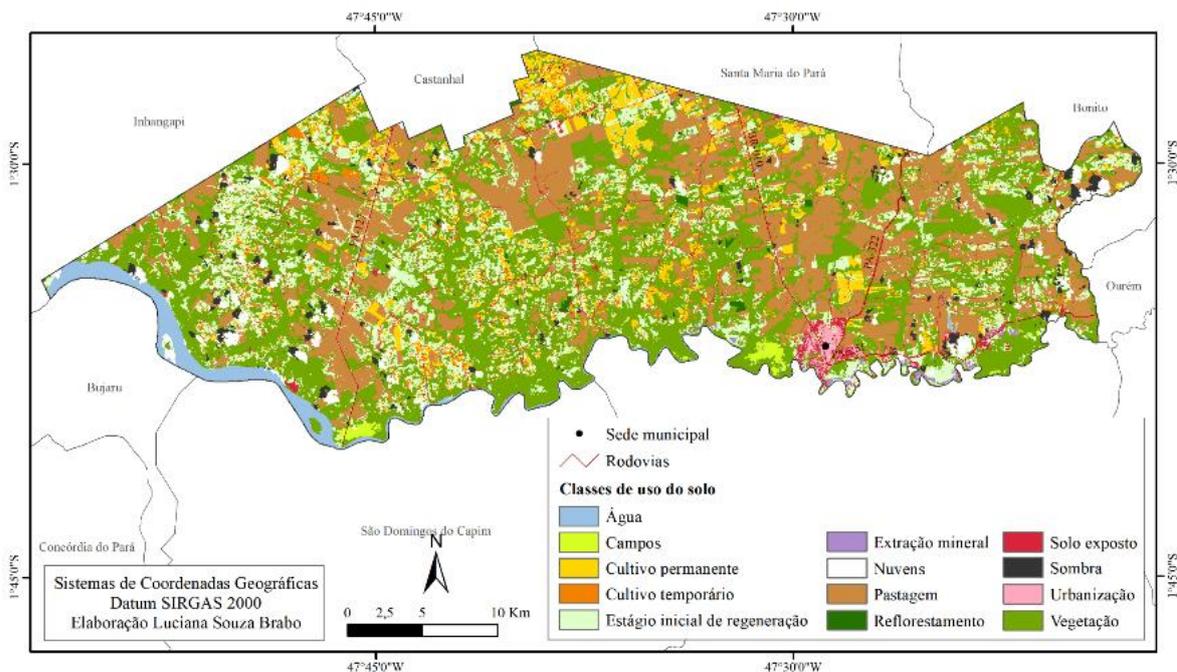


Figura 6 - Mapa de uso do solo de São Miguel do Guamá. Fonte: Brabo (2020).

Além disso, o município de São Miguel do Guamá é importante polo ceramista no Estado e durante visita ao município foi possível constatar a presença marcante de indústrias produtoras de telhas e tijolos, além de identificadas jazidas de exploração de argila, às margens do rio Guamá, e de areia e seixo, no interior do município, que ocupam cerca de 0,3% do território municipal. Entretanto, a classe que ocupa maior área territorial no município é a vegetação, com 38% de área, sendo a vegetação secundária a cobertura vegetal predominante, além disso, há resquícios de vegetação nativa, concentrada às margens do rio Guamá e de seus afluentes.

O fator CP varia de 0 a 1 e quanto mais próximo de 1 maior a susceptibilidade à ação erosiva nas classes de uso do solo (Tabela 3). Dessa forma, conforme Barbosa et al (2015) os valores superiores de CP estão associados às classes com pouca cobertura vegetal



e/ou ausência de práticas conservacionistas, como por exemplo as classes mineração e solo exposto, que possuem elevada susceptibilidade erosiva. Enquanto as classes de uso vegetação e reflorestamento apresentaram valores muito baixos de fator CP, devido à presença de cobertura vegetal, que protegem o solo dos efeitos da água da chuva, favorecendo a infiltração e impedindo o escoamento superficial acelerado.

Tabela 3 - Porcentagem de área ocupada pelas classes de uso do solo.

Classes	Área (Km ²)	Área (%)	Fator CP
Água	30,20	2,74	0,0
Campos	5,04	0,46	0,01
Cultivo permanente	63,79	5,78	0,125
Cultivo temporário	27,99	2,54	0,10
Estágio inicial de regeneração	191,83	17,39	0,25
Extração mineral	3,02	0,27	1,0
Nuvens/Sombra	48,49	4,40	0,0
Pastagem	273,55	24,79	0,1
Reflorestamento	2,53	0,23	0,0015
Solo exposto	31,03	2,81	0,5
Urbanização	6,23	0,56	0,01
Vegetação	419,64	38,03	0,0002

Fonte: Stein et al (1987); Tavares (2001), Tomazoni e Guimarães (2005) e Costa et al (2009); Castro Junior (2008); adaptados de Bertoni e Lombardi Neto (2010).

Para os corpos de água, nuvens e sombras foram adotados valor nulo de CP. Enquanto o espaço urbano do município apresentou características que facilitam a ocorrência de erosão laminar, como áreas sem infraestrutura e estradas sem pavimentação. Dessa forma, adotou-se valor CP de 0,01, conforme Costa (2009).

Quando o tipo de uso são os cultivos agrícolas, a susceptibilidade tende a ser média, devido ao porte mais baixo da cobertura vegetal, o espaçamento regular entre os indivíduos e o sistema de preparo e manejo da terra. Além disso, segundo Lanza (2011) há um agravante no caso de cultivos temporários, pois em determinados períodos do ano, durante a entressafra, o solo fica desprotegido, sem cobertura vegetal. É válido ressaltar que os procedimentos de preparo de área para o cultivo temporário desempenham um importante papel para a susceptibilidade erosiva, devido à frequência com que são efetuadas as interferências no solo (MATOS, 2015).

A pastagem apresentou valor semelhante ao encontrado para cultivos temporários, com resultado próximo daqueles encontrados por Bertoni e Lombardi Neto (2010) de 0,0889; e por Galdino (2012) que variou entre 0,0049 e 0,0997. A erosão acelerada está presente em todas as fases do estabelecimento de pastagens, sendo importante o manejo correto das mesmas e a adoção de práticas de conservação do solo, pois a degradação das pastagens é um dos maiores problemas da pecuária (GALDINO, 2012).

A classe estágio inicial de regeneração apresentou valores CP de média a alta, pois são áreas alteradas, que foram abandonadas para regeneração, sem qualquer manejo ou uso de técnicas para a conservação do solo.

As classes extração mineral, seguida de solo exposto foram as que apresentaram os maiores valores para o fator CP, pois incidem em elevadas taxas de perda de solo (Figura 7). São áreas compactadas, completamente expostas ao efeito da água das chuvas e sem o uso de qualquer prática de conservação do solo. Além disso, a atividade extração mineral apresenta constantes e intensas movimentações do solo.

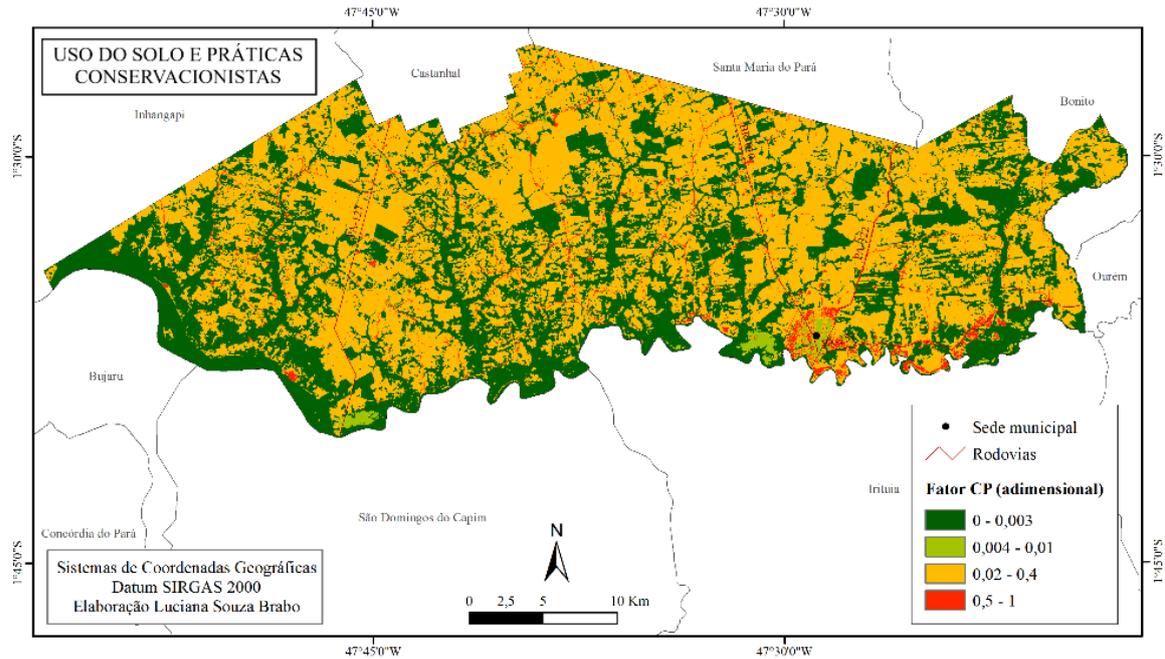


Figura 7 - Mapa do fator CP no município de São Miguel do Guamá. Fonte: Brabo (2020).

Potencial natural à erosão laminar (PNE)

O potencial natural de perda de solos considera apenas aqueles fatores de origem natural, ou seja, erosividade das chuvas, erodibilidade do solo e topográfico e estima o potencial da perda de solo como máximo, pois desconsidera os fatores gerados a partir de ações antrópicas (Figura 8).

Em São Miguel do Guamá os valores obtidos para o PNE variaram de 0,0 a 4284,8 t/ha.ano e juntos somam 20.985.119,99 t/ha.ano. No entanto, seus valores mais altos não são representativos para a realidade do local de estudo, pois representam menos de 6% da área total. Dessa forma, o município apresentou estimativa do potencial erosivo classificada predominantemente como nula a pequena, conforme classificação estabelecida por Carvalho (1994), onde 94,7 % da área municipal apresentou perda de solo de até 10 t/ha.ano.

Apesar do potencial erosivo do município ser classificado como nulo, é possível observar que o fator preponderante, que influenciou diretamente no mapa de erosão potencial, foi o fator topográfico. Os maiores valores foram encontrados nas áreas de maior movimentação no relevo, ou seja, onde se encontram os maiores comprimentos de rampa e declividade. Esses resultados concordam com os estudos de Borges (2009) na Bacia do Rio Carinhonha; Campos et al (2008) em Pereira Barreto/SP; e Miquelone et al (2012) no Córrego do Tijuco/SP, que afirmam que o relevo é o fator de maior impacto na taxa de perda de solo por erosão. E isso pode explicar o baixo potencial erosivo apresentado no município de estudo, uma vez que o mesmo apresentou relevo plano a suave ondulado e fator LS categorizado como muito baixo.

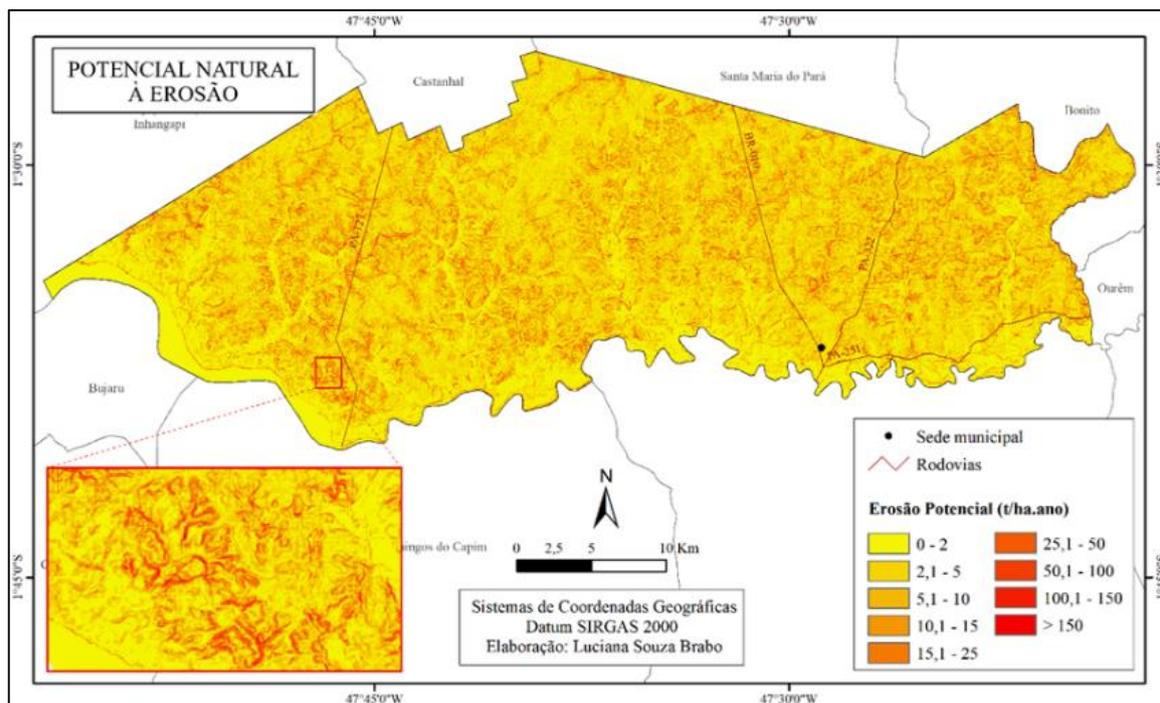


Figura 8 - Mapa do potencial natural a erosão (PNE). Fonte: Brabo (2020).

Erosão atual (EA)

A erosão atual considera todos os fatores da EUPS, ou seja, inclui no sistema a interferência das atividades antrópicas, representada pelo fator uso do solo e práticas conservacionistas. Em São Miguel do Guamá os valores de erosão atual variaram de 0 a 1031,9 t/ha.ano e juntos totalizam 1.687.118,549 t/ha.ano. No entanto, os valores superiores, não são representativos ao local de estudo e foram considerados insignificantes, pois representam menos de 0,5% de toda área. Dessa forma, a erosão atual no município foi considerada como de nula a pequena, conforme classificação estabelecida por Carvalho (1994), onde 99,7% da área municipal apresentou perda de solo de até 10 t/ha.ano.

Os resultados de erosão atual demonstraram forte influência do fator uso do solo e práticas conservacionistas (CP) e do fator topográfico (LS), enquanto a influência dos demais fatores se mostrou menos perceptível. Esses resultados discordaram de Lanza (2011) e Silva (2016), que destacaram também a erodibilidade como um fator de grande importância para a estimativa de perda do solo. No entanto, concordaram com Borges (2009) que apresentou a Bacia do Rio Carinhanha com 89,37% da perda de solo de até 10 ton/ha.ano; com Costa (2018) que apresentou a estimativa de perda do solo nos municípios de Placas/PA e Uruará/PA, com perda de solo de 50 a 120 ton/ha.ano e classificadas como média a forte; com Oliveira (2018) que apresentou a Sub-Bacia Ribeirão Ponte Alta/DF com 99% da perda de solo de até 10 ton/ha.ano; e com Santos (2013) em Capitão Poço/PA, que apresentou cerca de 95% da área de estudo com perda de solo de até 10 ton/ha.ano.

As áreas com maiores valores de perda de solo por erosão laminar e que, portanto, foram classificadas como muito forte (> 200 ton/ha.ano), estão situadas principalmente à margem do Rio Guamá. Nessas áreas o uso do solo predominante é a Mineração (CP = 1) associada aos valores mais elevados do fator topográfico (LS = 3) (Figura 9).

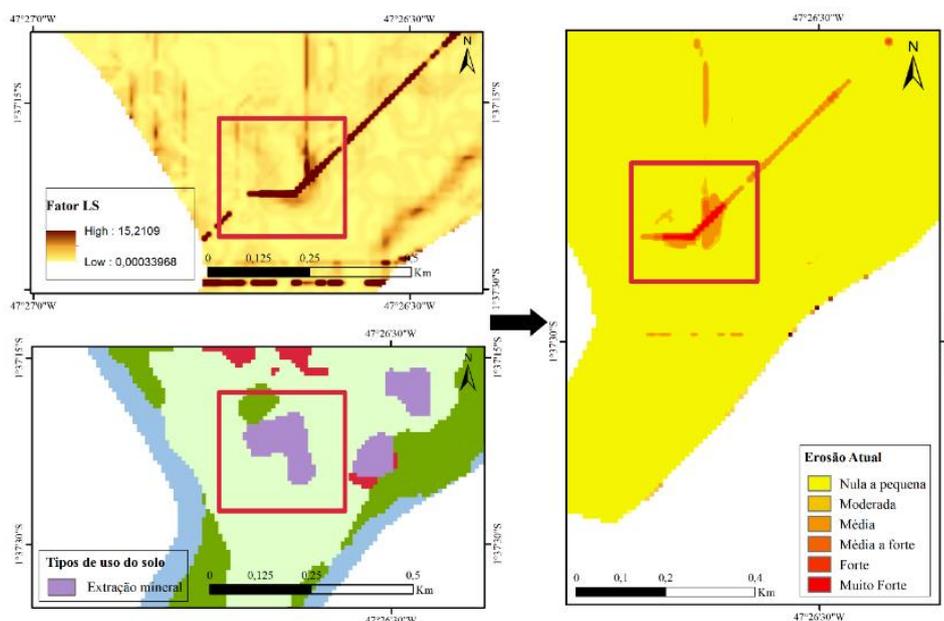


Figura 9 - Detalhe dos fatores que mais influenciam na erosão atual. Fonte: Brabo (2020).

O uso solo exposto também apresentou enorme importância para o estabelecimento de áreas com elevada perda de solo. Conforme Oliveira (2018) essas áreas precisam de cuidados especiais e do uso de técnicas adequadas de manejo do solo, para evitar a intensificação da erosão laminar e o avanço desta para estágios mais avançados, como sulcos, ravinas ou voçorocas.

Comparando o mapa de potencial natural à erosão com o mapa de erosão atual, é possível observar que o potencial erosivo do município é mais elevado, ou seja, possuem mais áreas presentes nas categorias de maior perda de solo por erosão. Assim, pode-se dizer que a cobertura do solo e as práticas conservacionistas atenuaram as perdas, mesmo sob topografia, erosividade da chuva e erodibilidade do solo favoráveis ao processo erosivo. Entretanto, é importante destacar que o uso do solo também pode acelerar o processo erosivo, pois são modificados rapidamente, conforme as ações antrópicas. Assim, caso a vegetação das áreas potencialmente erosivas sejam removidas, a perda de solo por erosão tenderia a se agravar.

No geral, as áreas com cobertura vegetal presente no município, associada ao relevo plano a suave ondulado, reduziram a ocorrência de processos erosivos em São Miguel do Guamá (Figura 10). Embora a perda de solo por erosão laminar, no município, seja considerada muito baixa, é importante dispensar especial atenção ao manejo do solo, bem como incentivar o uso de práticas de conservação do solo, pois apesar desse tipo de erosão não se mostrar muito perceptível, exerce grande influência sobre a produtividade da área e pode acarretar perdas significativas para os produtores da região.

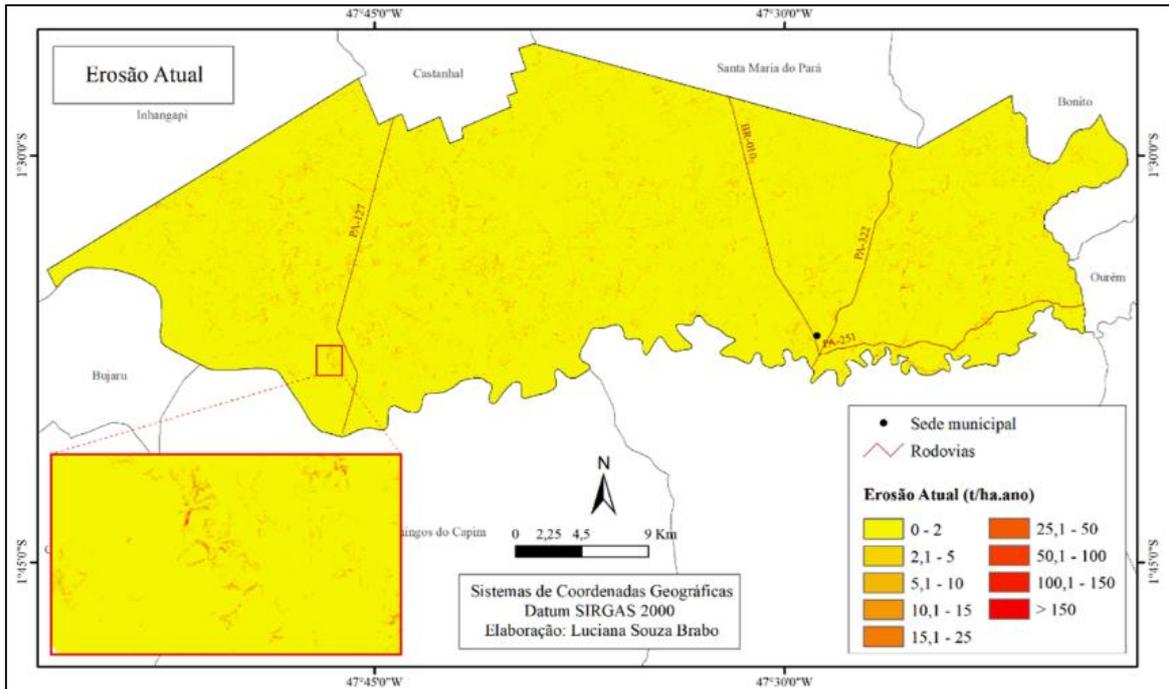


Figura 10 - Mapa de erosão atual. Fonte: Brabo (2020).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Equação Universal da Perda de Solo, associada aos Sistemas de Informação Geográfica, permitiu analisar a influência de cada uma das variáveis da equação, envolvidas no processo de erosão laminar. Além disso, possibilitou a distribuição espacial e a classificação das áreas, quanto seu potencial erosivo.

Os resultados do estudo sugeriram que os fatores que mais exerceram influência na variabilidade espacial das perdas de solo foram o fator topográfico (LS), e o uso do solo e práticas conservacionistas (CP). Enquanto o efeito dos demais fatores foi menos perceptível. Dessa forma, o relevo plano e a presença de áreas com cobertura vegetal amenizaram o potencial natural erosivo da região. E por isso, é importante destacar a importância do manejo correto e do uso de práticas de conservação do solo, que são fatores que se modificam constantemente, conforme as ações antrópicas e que podem mitigar os efeitos dos processos erosivos.

Esse modelo de predição de perdas de solos torna os estudos do potencial erosivo muito mais acessíveis, por exemplo aos municípios que possuem receita orçamentária limitada, devido à simplicidade de aplicação, cálculos rápidos e baixo custo, uma vez que os dados utilizados geralmente estão disponíveis de forma gratuita. Além disso, os resultados desse tipo de estudo são relevantes para subsidiar os diagnósticos ambientais, pois indicam as fragilidades do local. Além disso, podem ser utilizados para alimentar discussões sobre políticas de uso do solo e de adoção de práticas conservacionistas, bem como embasar estudos e projetos futuros.



REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, H. G. *Carta geológica. Folha SA.23-V São Luís-NO*. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Belém: CPRM, 2000. 1 mapa, color. Escala 1:500.000.
- ANDRADE, M. M. N.; ANDRADE, A. S.; BEZERRA, P. E. S. Índice de vulnerabilidade aos desastres naturais no estado do Pará (Brasil). *Delos: Desarrollo Local Sostenible*, v. 10, n. 30, p. 1-16, 2017.
- ARRAES, C. L.; BUENO, R. C. P.; PISSARA, T. C. T. Estimativa da erodibilidade do solo para fins conservacionistas na Microbacia Córrego do Tijuco, SP. *Biosci. J.*, v. 26, n. 6, p. 849-857, 2010.
- BARBOSA, A. F.; OLIVEIRA, E. F.; MIOTO, C. L.; PARANHOS FILHO, A. C. Aplicação da equação universal de perda do solo (usle) em softwares livres e gratuitos. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 38, n. 1, p. 170-179, 2015. doi.org/10.11137/2015_1_170_179.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. São Paulo: Ícone, 2010, 355 p.
- BORGES, K. M. R. *Avaliação da susceptibilidade erosiva da bacia do rio Carinhanha (MG/BA) por meio da EUPS - Equação Universal de Perda de Solos*. 2009. 91 f. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Ciências Humanas, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
- BRABO, L. S. *Potencial erosivo de São Miguel do Guamá, nordeste paraense*. 2020. 104 f. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.
- CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; BARBIERI, D. M. Variação espacial da perda de solo por erosão em diferentes superfícies geomórficas. *Ciência Rural*, v. 38, n. 9, p. 2485-2492, 2008. doi.org/10.1590/S0103-84782008000900011.
- CARVALHO, N. O. *Hidrossedimentologia prática*. Rio de Janeiro: CPRM, 1994, 372 p.
- CASTRO JUNIOR, R. M. *Zoneamento e diagnóstico geoambiental da bacia do Rio Castelo usando geoprocessamento*. 2008. 304 f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2008.
- CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES (CEPED). *Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2012: Volume Brasil*. Florianópolis: CEPED. UFSC, 2013a. 126 p.
- CORDEIRO, I. M. C. C.; ARBAGE, M. J. C.; SCHWARTZ, G. Nordeste do Pará: Configuração atual e aspectos identitários. In: CORDEIRO, I. M. C. C.; RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T.; SCHWARTZ, G.; OLIVEIRA, F. A. (Org.). *Nordeste Paraense: Panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias*. Belém: EDUFRA, 2017. p. 19-59.
- COSTA, L. C. O. *Trajatória das mudanças de uso e cobertura da terra em estimativas de perda de solo em uma região de expansão agrícola na Amazônia: A bacia do Rio Curuá-Una, PA*. 2018. 102 f. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, 2018.
- COSTA, T. C. E. C.; FIDALGO, E. C. C.; NAIME, U. J.; GUIMARAES, S. P.; ZARONI, M. J.; UZEDA, M. C. Vulnerabilidade de sub-bacias hidrográficas por meio da Equação Universal de Perda de Solo e da integração de parâmetros morfométricos, topográficos, hidrológicos e de uso/cobertura da terra no Estado do Rio de Janeiro-RJ. *Revista Ambiente & Água*, v. 4, n. 1, p. 93-116, 2009.



- CRUZ, D. C.; BENAYAS, J. M. R.; FERREIRA, G. C.; MONTEIRO, A. L.; SCHWARTZ, G. Evaluation of soil erosion process and conservation practices in the Paragominas-PA municipality (Brazil). *Geographia Technica*, v. 14, n. 1, p. 14-35, 2019. doi.org/10.21163/gt_2019.141.02
- DENARDIN, J. E. *Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos*. Piracicaba-SP, 1990. 81 f. Tese (Doutorado), Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1990.
- DESMET, P. J. J.; GOVERS, G. A. GIS Procedure of automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 51, n. 5, p. 427-433, 1996.
- DI RAIMO, L. A. D. L.; AMORIM, R. S. S.; TORRES, G. N.; BOCUTI, E. D.; COUTO, E. G. Variabilidade espacial da erodibilidade no estado de Mato Grosso, Brasil. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 42, n. 1, p. 55-67, 2019.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço nacional de levantamento e conservação de solos. *Manual de métodos de análises de solo*. Rio de Janeiro, 1979, 247p.
- FALESI, I. C.; SANTOS, W. H.; OLIVEIRA, J P S. Levantamento de reconhecimento dos solos da Região Bragantina. Estado do Pará. *Revista de Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 2, p. 1-63, 1967.
- FAPESPA. Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas. *Estatísticas municipais Paraenses: São Miguel do Guamá*. Diretoria de Estatística e de Tecnologia e Gestão da informação, 2016, 58 p.
- FARINASSO, M.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; TRANCOSO, R. A.; RAMOS, V. M. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS Equação Universal de Perdas de Solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba PI-MA. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 7, n. 2, p. 73-87, 2006.
- FONSECA, D.; SZLAFSZTEIN, C. Risco geológico. In: JOÃO, X.; TEIXEIRA, S.; FONSECA, D. (Org.). *Geodiversidade do estado do Pará*. Belém: CPRM, 2013, p. 119 - 130.
- FOSTER, G. R.; MC COOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the Universal Soil Loss Equation to SI metric units. *Journal Soil Water Conservation*, v. 36, p. 355-359, 1981.
- FRANCISCO, A. B. A erosão de solos no extremo Oeste Paulista e seus impactos no campo e na cidade. *Revista de Geografia, Meio Ambiente e Ensino*, v. 2, n. 2, p. 57-68, 2011.
- GALDINO, S. *Estimativa da perda de terra sob pastagens cultivadas em solos arenosos da bacia hidrográfica do alto Taquari - MS/MT*. 2012. 115 f. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2012.
- HOLANDA, C. V. M., OLIVEIRA, E. Programa para homogeneização de dados - PROHD. In: Simpósio de Hidrologia, 3, 1979, Brasília. *Anais...* Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, p. 810-845, 1979.
- HUFFNER, J. G. P. *Inventário da oferta turística de São Miguel do Guamá*. Belém: SETUR, PA, 2015.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Manual técnico de uso da terra*. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro: IBGE, 2013a. 171 p.



KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F.; RUDORFF, F. M. *Prevenção de desastres naturais: Conceitos Básicos*. Curitiba: Organic Trading, 2006, 109p.

LANZA, D. S. *Diagnóstico da erosão laminar na alta e média bacia do rio Paraopeba*. 2011. 151 f. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

LEITE, A. S.; SOMBRA, D.; SOMBRA, A. Desenvolvimento local e gestão de recursos naturais em São Miguel do Guamá (Pará/Brasil): Aprendizagem territorial, cooperação e inovação no arranjo produtivo local de indústrias ceramistas. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, v. 14, p. 1-41, 2018.

LEMONS, R. C.; SANTOS, R. D. *Manual de descrição e coleta no campo*. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Rio de Janeiro: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1996, 83 p.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M.; EID, N. J.; MARTINS, E. S.; KOIDE, S.; REATTO, A. Desenvolvimento e verificação de métodos indiretos para a estimativa da erodibilidade dos solos da bacia experimental do Alto Rio Jardim - DF. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 8, n. 2, p. 21-34, 2007.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: Sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas-SP. *Bragantina*, v. 51, n. 2, p. 189-196, 1992.

MAFFRA, C. Q. T.; MAZZOLA, M. As razões dos desastres em território brasileiro. In: SANTOS, R. F. (org.). *Vulnerabilidade Ambiental: Desastres naturais ou fenômenos induzidos?*. Brasília: MMA, 2007, p. 9-12.

MATOS, T. V. S. *Determinação de áreas de vulnerabilidade à erosão hídrica com base na Equação Universal de Perda de Solo (USLE)*. 2015. 116 f. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2015.

MEDEIROS, G. O. R. *Diagnóstico da erosão e a expansão da cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo*. 2016. 279 f. Tese (Doutorado), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, 2016.

MELLO, L. B.; SIMÕES, P. *Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes, inundações e movimentos de massa em São Miguel do Guamá-PA*. Belém: CPRM, 2015.

MILANEZI, C. H. S.; PEREIRA, J. G. Caracterização da vulnerabilidade ambiental na microbacia do Córrego Azul, Ivinhema - MS. *Geografia*, v. 25, n. 1, p. 43-63, 2016. doi.org/10.5433/2447-1747.2016v25n1p43.

MIQUELONI, D. P.; BUENO, C. R. P.; FERRAUDO, A. S. Análise espacial dos fatores da equação universal de perda de solo em área de nascentes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, n. 9, p. 1358-1367, 2012. doi.org/10.1590/S0100-204X2012000900021.

MORAIS, R. C. S.; SALES, M. C. L. estimativa do potencial natural de erosão dos solos da bacia hidrográfica do Alto Gurguéia, Piauí-Brasil, com uso de sistema de informação geográfica. *Caderno de Geografia*, v. 27, n. 1, p. 84-105, 2017.

OLIVEIRA JUNIOR, R. C.; RODRIGUES, T. E.; MELO, A. S. A erosividade das chuvas nos municípios de Bragança e Marabá no estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra*, Belém, n. 4, p. 45-57, 1992.

OLIVEIRA, P. L. G. *Análise do potencial de erosão laminar na sub-bacia Ribeirão Ponte Alta (DF) utilizando a EUPS*. 2018. 49 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação), Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.



- SANTORO, J. Erosão Continental. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (org.). *Desastres naturais: Conhecer para prevenir*. São Paulo: Instituto Geológico, 2009, p. 53-70.
- SANTOS JUNIOR, W. M.; COSTA, V. C. Uso da terra e cobertura vegetal no maciço Gericinó-Mendanha (RJ): Classificação semiautomática por imagens multiespectrais do satélite Sentinel-2. *Anais Workshop Arte & Ciência*, v. 1. p. 1-13, 2017.
- SANTOS, D. B. O. *Aplicação da Rusle em uma pequena bacia hidrográfica Amazônica*. 2013. 82 f. Dissertação (Mestrado), Programa de pós graduação em Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.
- SILVA, L. C. N.; LUCHIARI, A. Estimativa de perda de solos por erosão laminar na bacia hidrográfica do Córrego Bagaçu - SP. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 32, p. 15-28, 2016. doi.org/10.11606/rdg.v32i0.114308.
- SILVA, V. C. B.; MACHADO, P. S. SIG na Análise Ambiental: Susceptibilidade erosiva da bacia hidrográfica do Córrego Mutuca, Nova Lima - Minas Gerais. *Revista de Geografia*, v. 31, n. 2, p. 66-87, 2014.
- SILVA, V. C. Cálculo automático do fator topográfico (LS) da EUPS, na bacia do rio Paracatu. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 33, n. 1, p. 29-34, 2003.
- SILVA, V. C. Estimativa da erosão atual da bacia do Rio Paracatu (MG/GO/DF). *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 34, n. 3, 2004, p. 147-159.
- STEIN, D. P.; DONZELLI, P. L.; GIMENEZ, A. F.; PONÇANO, W. L.; LOMBARDI NETO, F. Potencial de erosão laminar, natural e antrópico, na bacia do Peixe – Paranapanema. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 3, 1987, Marília. *Anais...* Marília: ABGE/DAEE, 1987.
- TAVARES, A. C. F. *Diagnóstico agroambiental para gestão do uso da terra da microbacia do rio Jundiá-Mirim*. 2001. 103 f. Dissertação (Mestrado), Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agrônomo, São Pulo, 2001.
- TOMAZONI, J. C.; GUIMARÃES, E. A sistematização dos fatores da eupes em sig para quantificação da erosão laminar na bacia do rio Jirau. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 57, n. 3, p. 235-244, 2005.
- TOMINAGA, L. K. Desastres Naturais: Por que ocorrem?. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Org.). *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. São Paulo: Instituto Geológico, 2009, p. 11-23.
- TORRES, M. F. *A Pesca ornamental na bacia do rio Guamá: Sustentabilidade e perspectivas ao manejo*. 2007. 287 f. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.
- VASQUEZ, M. L.; SOUSA, C. S.; CARVALHO, J. M. A. (Org.). *Mapa geológico e de recursos minerais do estado do Pará*. Programa Geologia do Brasil (PGB). Integração, atualização e difusão de dados de Geologia do Brasil. Escala 1:1.000.000. Belém: CPRM, 2008.
- VIEIRA, M. N. F.; VIEIRA, L. S.; SANTOS, P. C. T. C.; CHAVES, R. S. *Levantamento e conservação do solo*. Belém: FCAP, Serviço de documentação e informação, 2000, 320 p.
- WISCHMEIER, W. H.; JOHNSON, C. B.; CROSS, B. V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *J. Soil Water Cons.*, v. 26, p. 189-193, 1971.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses; a guide to consevation planning. U.S. Departament of Agriculture, Washington, 1978, 58 p.



ZANELLA, M. E.; OLIMPIO, J. L.; COSTA, M. C. L.; DANTAS, E. W. C. Vulnerabilidade socioambiental do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Cocó, Fortaleza-CE. *Sociedade & Natureza*, v. 25, n. 2, p. 317-332, 2013.

Bases digitais consultadas

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Estatísticas por cidade e estado*. 2010. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/sao-miguel-do-guama/panorama>.



O MAPEAMENTO GEOTÉCNICO APLICADO À ANÁLISE DE RISCO: em áreas preferenciais para implantação de aterros sanitários e cemitérios na Região Metropolitana de Belém (PA)

Ádria Kanome Mori Soares¹, Tony Carlos Dias da Costa², Aline Maria Meiguins de Lima³ e Jamer Andrade da Costa⁴

Resumo:

O objetivo deste trabalho é identificar os condicionantes geotécnicos na definição de áreas favoráveis à destinação para aterros sanitários e cemitérios na Região Metropolitana de Belém (PA), como subsídio à gestão de riscos ambientais causados por estas atividades potencialmente poluidoras. No seu atendimento, foram analisados atributos físicos e de ocupação do solo, tendo como grau de análise a redução das vulnerabilidades ambientais e melhor potencial social e econômico, indicados por cada parâmetro. Os mapas temáticos gerados foram áreas urbana e expansão urbana, de terra firme e de várzea, institucionais e áreas de proteção ambiental, além do equipotenciométrico do aquífero livre, delimitação de bacias hidrográficas e de direção do vento. Os resultados indicaram que grande parte da RMB está comprometida quando se trata de áreas aptas para aterros sanitários e cemitérios, ficando apenas alguns fragmentos isolados melhor condicionados, porém ainda com uma forte relação com os fatores limitantes dada pelo comportamento das águas subterrâneas, extensão das áreas de várzea, proteção ambiental e expansão urbana.

Palavras-chave: Mapeamento geotécnico, gestão ambiental, resíduos sólidos, cemitérios, geoprocessamento.

¹ Universidade de São Paulo. Programa de Pós-graduação em Geotecnia. adriakms@usp.br.

² Universidade Federal do Pará. Faculdade de Engenharia Civil. tony@ufpa.br.

³ Universidade Federal do Pará. Programa de Pós-graduação em Gestão de Risco e Desastres na Amazônia. ameiguins@ufpa.br.

⁴ Universidade Federal Rural da Amazônia. jamercosta@gmail.com.



INTRODUÇÃO

A aplicação das técnicas de mapeamento geotécnico no suporte à análise de risco, tem como princípio o levantamento, a caracterização, classificação, avaliação e análise do ambiente (ZUQUETTE; GANDOLFI, 2004). O mapeamento geotécnico é uma ferramenta essencial para a otimização das decisões quanto à locação de cemitérios e aterros sanitários, pois permite determinar as áreas adequadas nos sentidos técnico, econômico, social e ambiental.

As técnicas envolvidas devem ser escolhidas de acordo com a região de aplicação pois envolvem a disponibilidade da informação existente, bem como suas escalas temporal e espacial. Costa (2001) estabeleceu critérios metodológicos aplicados aos ambientes amazônicos, baseados em etapas associadas ao levantamento de dados secundários, elaboração de perfis geológico-geotécnicos, realização de ensaios laboratoriais de caracterização do solo, e elaboração dos mapas de prognóstico, que corresponderam à Carta de Materiais Naturais de Construção Civil e Carta de Áreas Preferenciais à Instalação de Aterros Sanitários.

A necessidade destas ferramentas no auxílio ao planejamento urbano tem relação com a demanda por áreas de implantação de atividades de potencial poluidor, tais como, aterros sanitários e cemitérios; onde deve ser considerada a análise da migração de contaminantes e garantia da estabilidade dos locais escolhidos para disposição dos resíduos (TRESSOLDI; CONSONI, 1998).

Visando agilizar o processo de geração integrada da informação, o uso de sistemas de informação geográfica (SIG) se tornou uma estratégia essencial, pois apenas com estes é possível sistematizar um volume expressivo de dados de uma área e simular seus resultados, como destaca Felicori et al (2016), que utilizaram ferramentas de SIG e análise multicritério para localizar áreas adequadas para a construção de aterros sanitários e usinas de triagem e compostagem na mesorregião da Zona da Mata, em Minas Gerais. A identificação de áreas destinadas a ações que geram determinado impacto ao ambiente é um processo complexo e multidisciplinar, o que justifica ainda mais o uso de geotecnologias, de forma a sintetizar informações ambientais, ecológicas, sociais, econômicas e técnicas (GBANIE et al, 2012).

A seleção de áreas destinadas a receber atividades contaminantes deve estar embasada em estudos detalhados sobre as áreas homogêneas a serem priorizadas (VILHENA, 2018). Destaca-se a importância de priorizar a proteção das águas subterrâneas, de se efetuar estudos de fauna e flora; e de proteção do ambiente social, de modo a evitar problemas de doenças de vinculação hídrica ou relacionadas à poluição atmosférica.

Este trabalho teve por objetivo identificar os condicionantes geotécnicos na definição de áreas favoráveis à destinação para aterros sanitários e cemitérios na Região Metropolitana de Belém (PA), como subsídio à gestão de riscos ambientais causados por estas atividades potencialmente poluidoras.



MATERIAIS E MÉTODO

Área de Estudo

A Região Metropolitana de Belém (RMB) está situada na porção norte-nordeste do Estado do Pará (Figura 1). As atualizações da Lei Complementar n. 14 de 1973, incluindo a de n. 27 de 1995, a n. 72 de 2009 e a n. 76 de 2011, configuraram para RMB os municípios de Belém, Ananindeua, Marituba, Benevides, Santa Bárbara do Pará, Santa Izabel do Pará e Castanhal. Porém, admitindo o foco do trabalho em áreas de integração para aterros sanitários e cemitérios, Santa Izabel do Pará e Castanhal representam em termos logísticos distâncias que inviabilizam o eixo de ligação com Belém.

Na aplicação da metodologia proposta, um aspecto relevante é a geologia da região, que influencia diretamente os aspectos de infiltração e escoamento das águas. A RMB está inserida, de acordo com Vasquez et al. (2008), em três unidades: Grupo Barreiras, Sedimentos Pós-Barreiras e Depósitos Aluvionares. A base (Grupo Barreiras) caracteriza-se por uma variedade de fácies mistas carbonático-siliciclásticas e siliciclásticas, com presença de argilitos, arenitos e conglomerados. Os Sedimentos Pós-Barreiras são caracterizados como areias argilosas, friáveis a semiconsolidadas, finas a médias, amareladas a esbranquiçadas de ambiente eólico, cordão litorâneo e planície de maré. E a unidade de topo (Depósitos Aluvionares) é descrita como depósitos fluviais recentes de areias, pelitos e cascalhos. Oliveira et al. (2011) faz a mesma leitura, sendo, da base para o topo: Unidade Barreiras, sedimentos argilosos, arenosos e conglomeráticos; Depósitos Aluviais, Eólicos e Lateríticos; e Depósitos Argilosos Flúvio-marinhos (Figura 2).

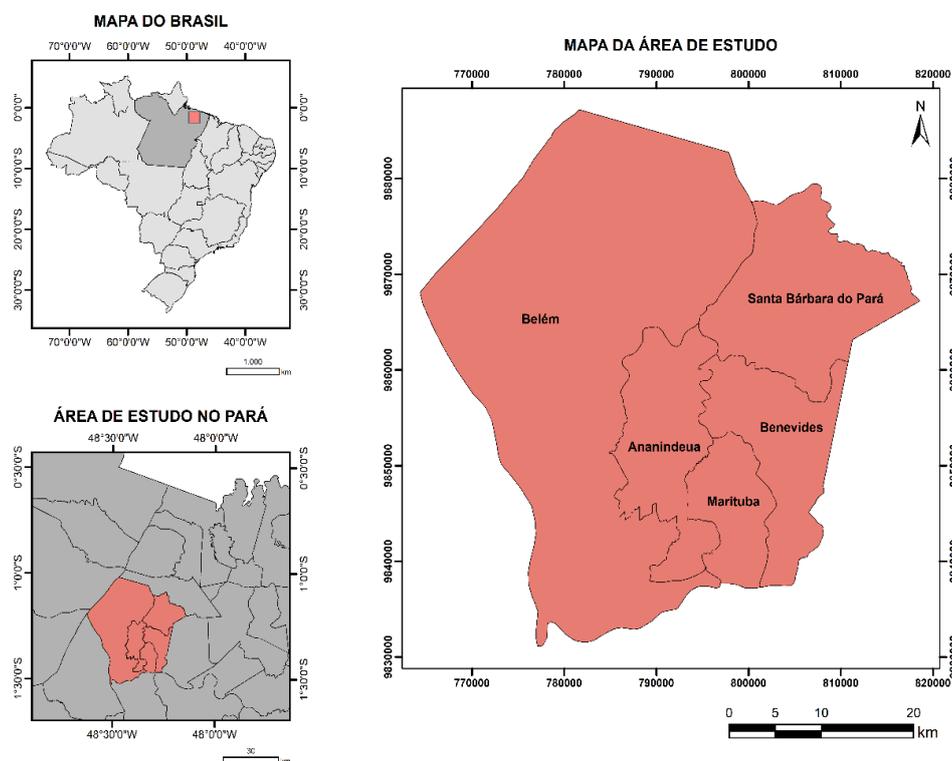


Figura 1 - Localização da Região Metropolitana de Belém (PA) com os municípios de: Belém, Ananindeua, Marituba, Benevides e Santa Bárbara do Pará (SOARES, 2018).

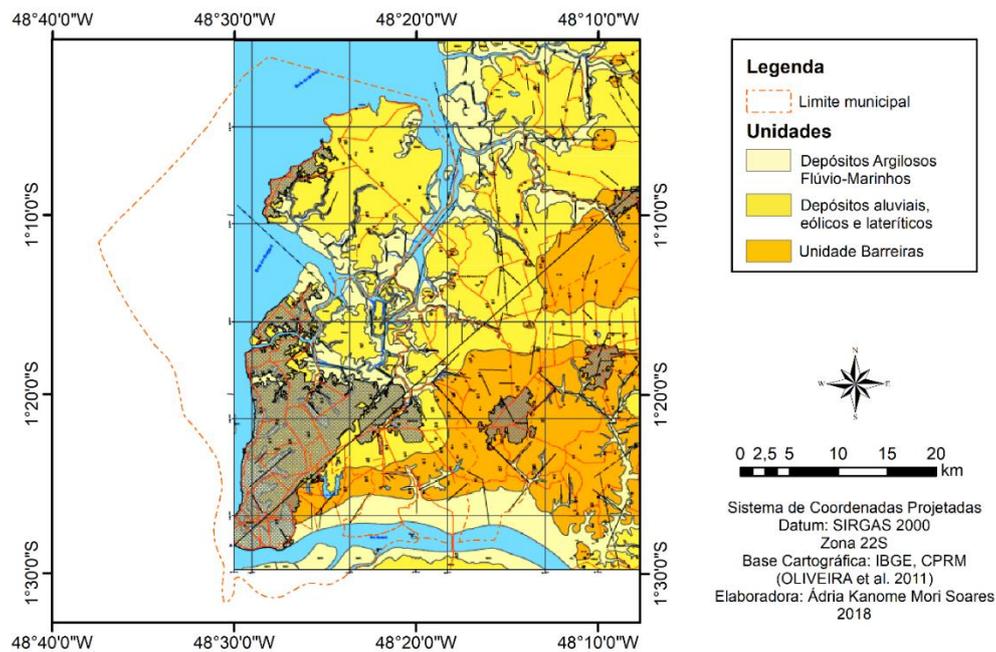


Figura 2 - Mapa geológico da RMB, modificado de Oliveira et al. (2011), elaborado por Soares (2018).

Parte da área de estudo, correspondente aos municípios de Belém, Ananindeua e Marituba (com exceção das ilhas do Cumbu, do Murutucu, Grande, Porticarvônia, Negra, dos Patos, do Fortinho, da Barra, do Cruzador, Longa, Jararaquinha, Urubuoca, Mirim, de Paquetá, de Jutuba, Nova e de Cutijuba) foi mapeada por Costa (2001), na escala de 1:50.000, com três unidades aflorantes: Sedimentos Pós-Barreiras, Sedimentos Barreiras e Sedimentos Recentes. Destaca-se, também, a Formação Pirabas (base da estratigrafia descrita). Esta, porém, não é mapeável (Figura 3).

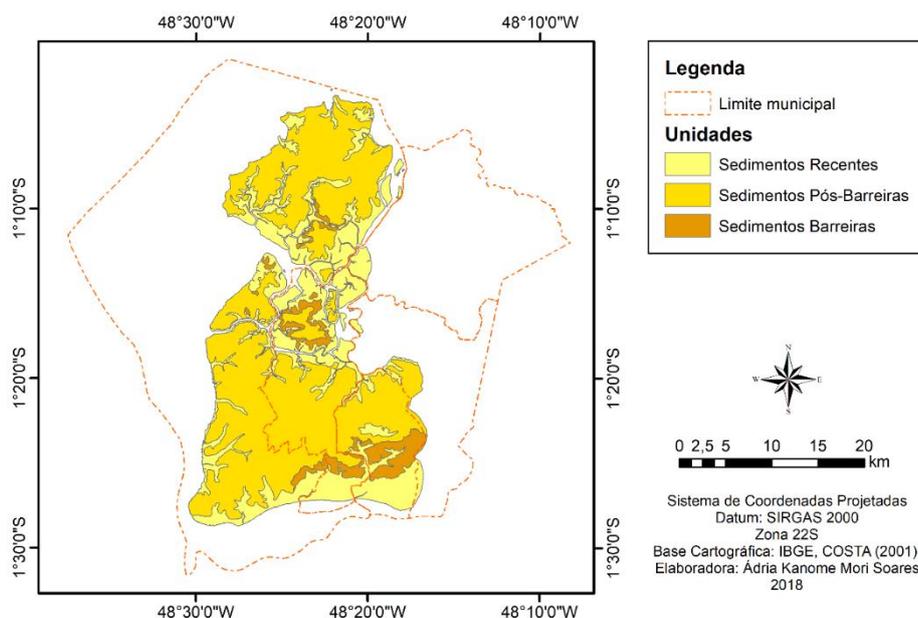


Figura 3 - Mapa geológico da RMB, modificado de Costa (2001), elaborado por Soares (2018).



Procedimentos de análise

Os procedimentos adotados seguem os critérios propostos por Costa et al. (2002) e Costa (2001). As etapas do trabalho, bem como os suas principais ações e produtos, são representadas na Figura 4, conforme Soares (2018) e Soares e Costa (2018).

A fase de caracterização geoespacial envolveu o uso de produtos de sensores remotos (imagens dos satélites LANDSAT 5, e 8, de 1984 a 2016, e imagens de radar da missão SRTM, ambas com resolução de 30 m) e manipulação de dados vetoriais. Foram utilizados como apoio cartográfico os mapas disponibilizados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) - Geologia e Recursos Minerais do Pará, Folha Belém SA-22-X-D-III, pelo Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS).

A avaliação do comportamento da água subterrânea usou o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS - <http://siagasweb.cprm.gov.br>) do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) para compilação de dados sobre o nível de aquíferos livres da região. Todos os dados com confiabilidade reduzida foram retirados do banco de dados, resultando em 858 pontos. Os dados foram tabulados e organizados de forma que as áreas de várzea representam o nível d'água 0 m em relação à superfície em determinados períodos. Foi adotado como elemento de interpolação o Inverso do Quadrado da Distância (IDW), ajustado em três classes de profundidade do aquífero livre: Adequado (superior a 10 m), Razoável (entre 5 e 10 m), Inadequado (inferior a 5 m) e Muito Inadequado (inferior a 0,5 m e correspondente às áreas de várzea).

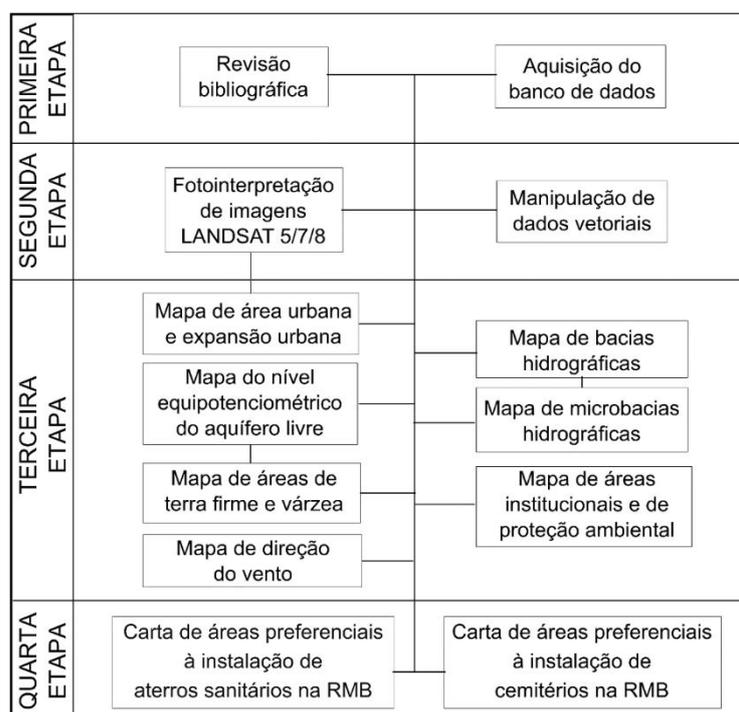


Figura 4 - Fluxograma da metodologia adotada (SOARES, 2018).



A delimitação de bacias e micro-bacias hidrográficas e a classificação segundo a direção do vento foram obtidos por dados secundários, principalmente do IBGE e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), tendo sido adotadas no subsídio das análises e referida atribuição de pesos.

As imagens de satélite (1984 a 2016) foram processadas para o mapeamento do crescimento da área urbana, buscando uma classificação supervisionada a partir de pontos de referência, principalmente a ampliação das vias de urbanização; sendo a delimitação das áreas de terra firme obtida pelo zoneamento das imagens SRTM.

Na geração da cartografia síntese, foi adotada a técnica de sobreposição de mapas de diferentes atributos, com atribuição de pesos, gerando um cruzamento com álgebra dos pesos finais (somatória dos pesos sobrepostos). Por fim, os pesos são recalculados, conforme o exemplo da Figura 5. A Tabela 1 apresenta os critérios específicos definidos.

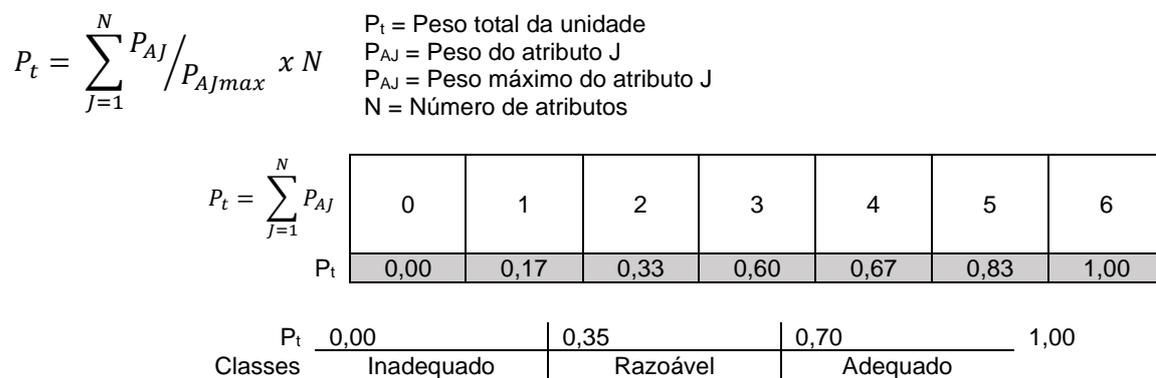


Figura 5 - Exemplo de definição dos pesos e classes das unidades.

Destacam-se os seguintes fatores que foram considerados na análise:

- (1) As áreas urbanas e de expansão urbana, além de faixa de 500 metros em seus entornos, foram excluídas das áreas adequadas, uma vez que os impactos gerados por aterros sanitários seriam incompatíveis com locais ocupados intensamente.
- (2) A localização da área urbana em relação ao eixo de ventos predominantes da região foi considerada, de modo a evitar a propagação de mau odor sobre áreas de ocupação.
- (3) Os planos diretores dos municípios foram observados, afim de respeitar os zoneamentos urbano e ambiental.
- (4) As distâncias do gerador e de estradas dizem respeito ao acesso e custos de transporte dos resíduos sólidos, sendo importantes na ponderação da adequabilidade econômica do empreendimento.
- (5) Foi vetada a localização de aterros sanitários em áreas de proteção ambiental (APAs), unidades de conservação ambiental e territórios quilombolas, uma vez que estas áreas são destinadas à preservação ambiental e/ou cultural. Áreas institucionais foram descartadas, devido ao seu uso consolidado.
- (6) Foram admitidas como inadequadas à instalação de aterros sanitários as faixas marginais de cursos d'água, lagos e lagoas naturais, conforme instituído pelo Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012).



Tabela 1 - Critérios adotados, segundo o modificado de ABNT (1992), ABNT (1997), Costa (2001), Brasil (2006), Brasil (2012), Silva e Pinheiro (2010) e Elk (2017).

Atributos Fundamentais	Classes de Adequabilidade		
	Adequado (Recomendado)	Razoável (Recomendado Com Restrições)	Inadequado (Não Recomendado)
<i>Aterros Sanitários</i>			
Distância de núcleos habitacionais e áreas de expansão urbana	Maior que 500m	Menor que 500m	
Uso e ocupação das terras	Áreas devolutas ou pouco utilizadas		Ocupação intensa
Zoneamento urbano	Vetor de crescimento mínimo	Vetor de crescimento intermediário	Vetor de crescimento máximo
Zoneamento ambiental	Áreas sem restrições		Unidades de conservação ou de uso restrito
Distância do gerador	Entre 10 e 20km*		Maior que 20km*
Distância de estradas	100 a 500m	50 a 100m e 500 a 1000m	0 a 50m e superior a 1000m
Áreas de proteção ambiental / Áreas Institucionais / Territórios quilombolas	Distante	Próximo, somente se houver proteção	Próximo
Espessura do material inconsolidado	Superior a 10m	Entre 5 e 10m	Inferior a 5m
Áreas de várzea	Distante		Próximo
Distância de cursos d'água	30m a 500m (a depender da largura do curso d'água)	Menor que 200m, com aprovação do órgão ambiental responsável	Menor que 200m
Distância de lagos	30m (em áreas urbanas) ou 50m a 100m (em áreas rurais)		Inferior a 30m
Profundidade do nível d'água	Superior a 10m	Entre 5 e 10m	Inferior a 5m
Localização na bacia hidrográfica	Próximo a cursos d'água de maior ordem		À montante das nascentes
Direção dos ventos	Área urbana fora do eixo de ventos predominantes		Área urbana no eixo de ventos predominantes
* critérios aplicáveis a aterros de resíduos classe II			
<i>Cemitérios</i>			
Uso e ocupação das terras	Áreas não ocupadas ou devolutas e vazios urbanos	Áreas pouco utilizadas, com permissão do órgão responsável e indenização dos proprietários	Ocupação intensa
Zoneamento ambiental	Áreas sem restrições		Unidades de conservação ou de uso restrito
Áreas institucionais	Distante	Próximo, somente se houver proteção	Próximo
Áreas de preservação permanente ¹	Distante	Próximo, somente se houver proteção	Próximo
Terrenos predominantemente cársticos	Distante		Próximo
Áreas de várzea	Distante		Próximo
Distância de cursos d'água	30m a 500m (a depender da largura do curso d'água)	Menor que 200m, com aprovação do órgão ambiental responsável	
Distância de lagos	30m (em áreas urbanas) ou 50m a 100m (em áreas rurais)	Inferior a 30m	
Nível máximo do aquífero livre ²	1,5m	Inferior a 1,5m, com sepultamentos acima do nível natural do terreno	Inferior a 1,5m, sem intervenções no terreno

¹ Áreas de Proteção Ambiental (APA's), faixas de proteção de Unidades de Conservação de Uso Integral, Reservas Particulares de Patrimônio Natural e Monumento Natural.

² Em relação ao nível inferior das sepulturas, sendo medido ao final da estação de maior precipitação pluviométrica, isto é, entre os meses de x e x.



- (7) Áreas de várzea foram consideradas incompatíveis, devido à dinâmica acelerada, inundações periódicas e pouca estabilidade dos solos para as atividades propostas.
- (8) Áreas que apresentam profundidade do nível d'água inferior a 5 m foram desconsideradas, uma vez que representam risco de contaminação do aquífero.
- (9) Áreas a montante de cursos d'água e aquíferos superficiais foram descartadas, pois o potencial de contaminação seria aumentado, uma vez que o potencial de autodepuração é minimizado.
- (10) A NBR 13896 (ABNT, 1997) recomenda a localização de aterros sanitários em depósitos naturais extensos e homogêneos de materiais com coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s. Os materiais que compõem a superfície da área de estudo são incompatíveis com esta especificação, uma vez que são consideravelmente permeáveis. Além disso, recomenda-se espessuras de material inconsolidado superiores a 10 metros, ou entre 5 e 10 metros (com restrições), o que pode não corresponder à realidade dos locais selecionados.
- (11) Áreas pouco ocupadas são recomendadas com restrições, tendo em vista que estas deverão passar por processos burocráticos, como permissão do órgão responsável pelo planejamento urbano e aquisição dos terrenos ou indenização dos proprietários.
- (12) As áreas ocupadas intensamente são inadequadas, uma vez que mostram diversas edificações e a intervenção sobre estes locais teria altos custos, além de poder gerar insatisfações por parte da população e tomar mais tempo do que o necessário na fase inicial do projeto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cartografia das águas subterrâneas é um dos elementos bases para avaliação das áreas mais vulneráveis à contaminação por efluentes por cemitérios e aterros sanitários. As Figuras 6 e 7 representam a distribuição equipotenciométrica do aquífero livre em períodos selecionados de acordo com o balanço hídrico.

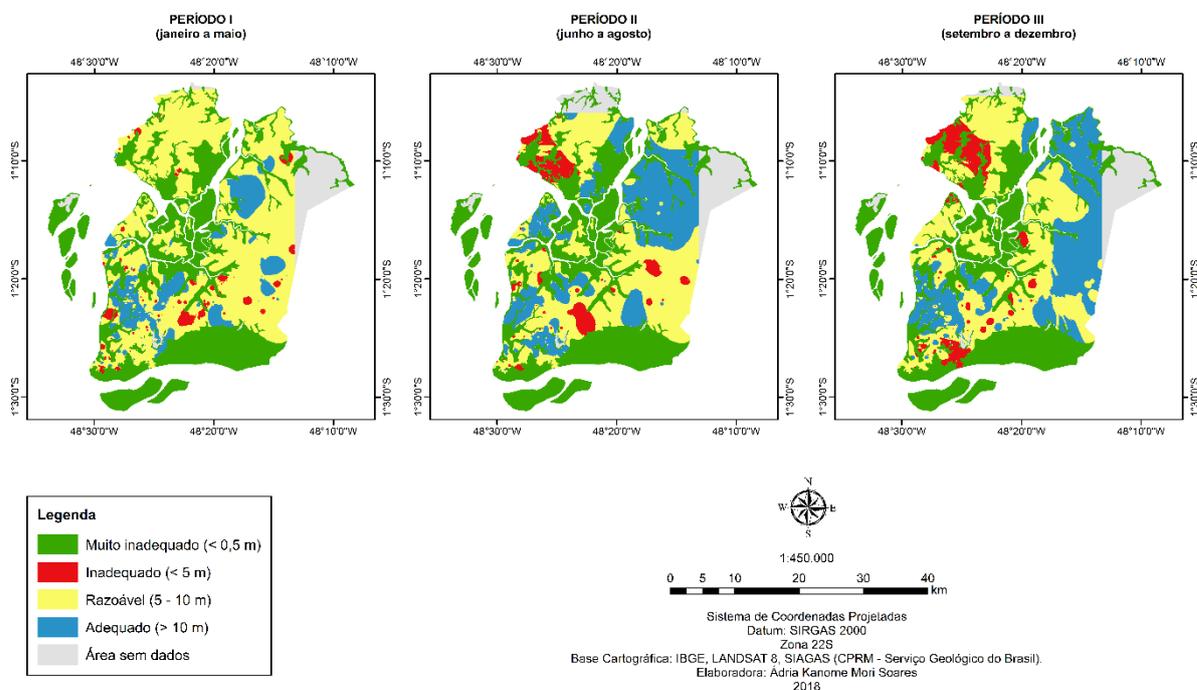


Figura 6 - Distribuição por períodos do nível potenciométrico na RMB (SOARES, 2018).

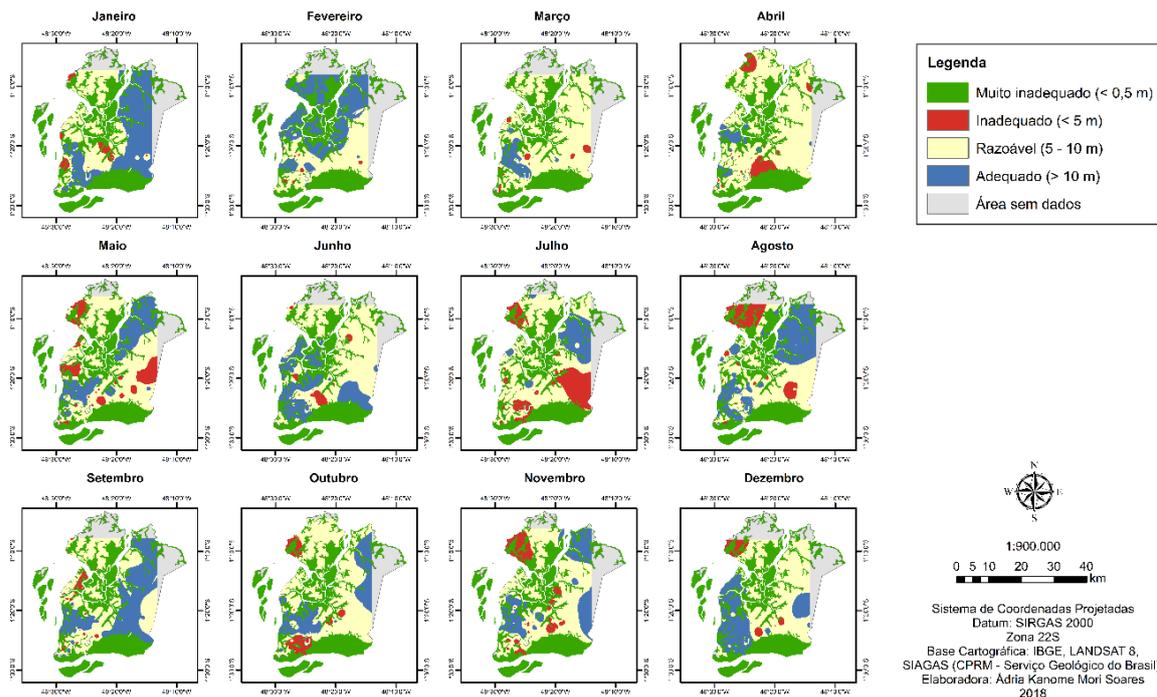


Figura 7 - Distribuição mensal do nível potenciométrico na RMB (SOARES, 2018).

Tavares et al (2011) classificam o balanço hídrico da cidade de Belém da seguinte forma: junho a novembro como período de retirada da água, com pico em outubro e novembro; dezembro a janeiro como período de reposição de água; janeiro a julho como período de excedente de água, com pico em março e abril. Separaram-se, portanto, três categorias: excedente, de janeiro a maio; transicional, de junho a agosto; e deficiente, de setembro a dezembro.

A Figura 8 sintetiza a avaliação realizada para geração da avaliação de adequação associada à aterro sanitário (Tabela 2), admitindo as categorias: Áreas adequadas à instalação de aterros sanitários; Áreas adequadas à instalação de aterros sanitários, com restrições; Áreas adequadas à instalação de aterros sanitários, sem dados de nível d'água; e Áreas inadequadas à instalação de aterros sanitários (Figura 9).

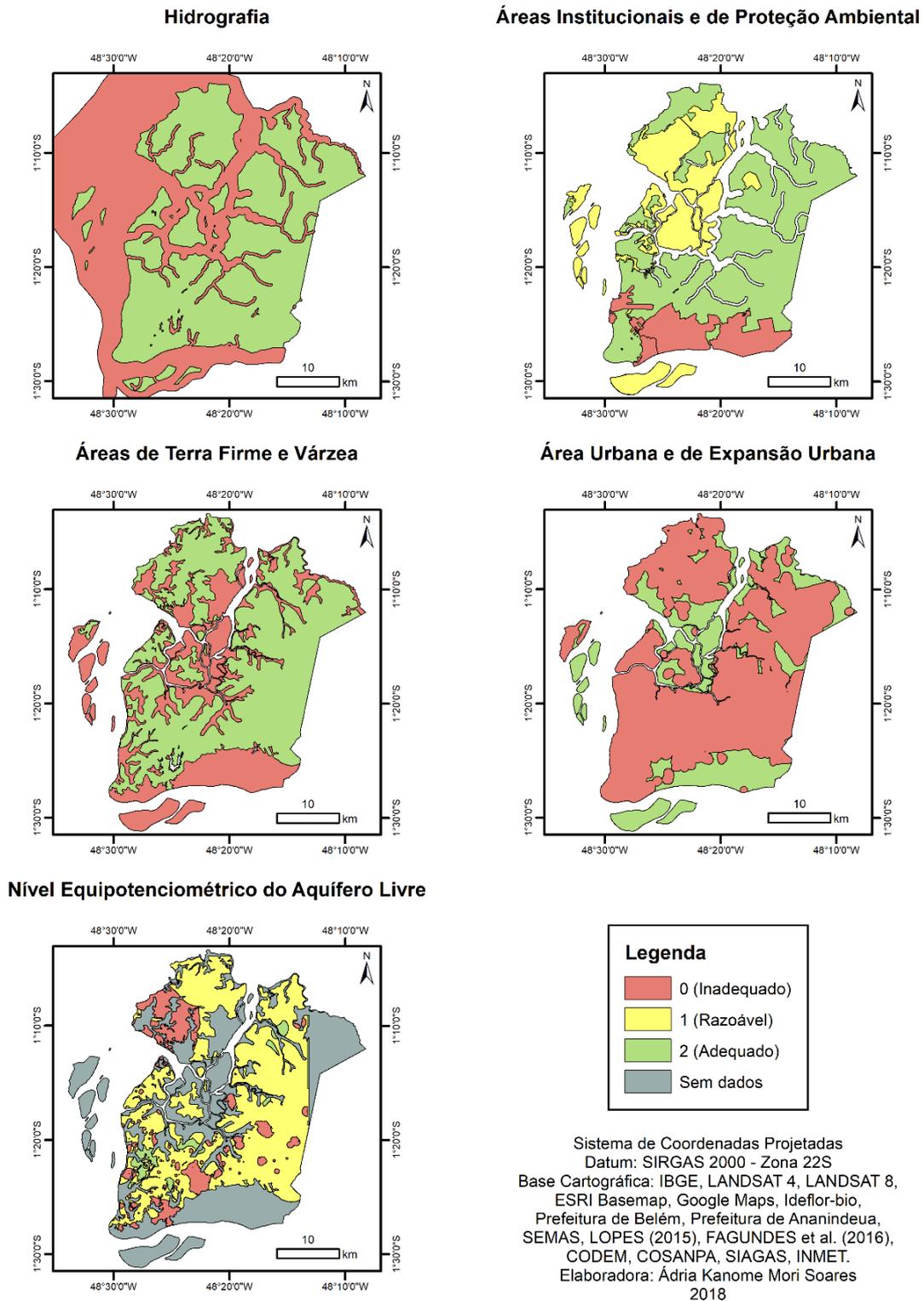


Figura 8 - Ajuste das cartas de atributos segundo os pesos da Tabela 1, para aterros sanitários (SOARES, 2018).

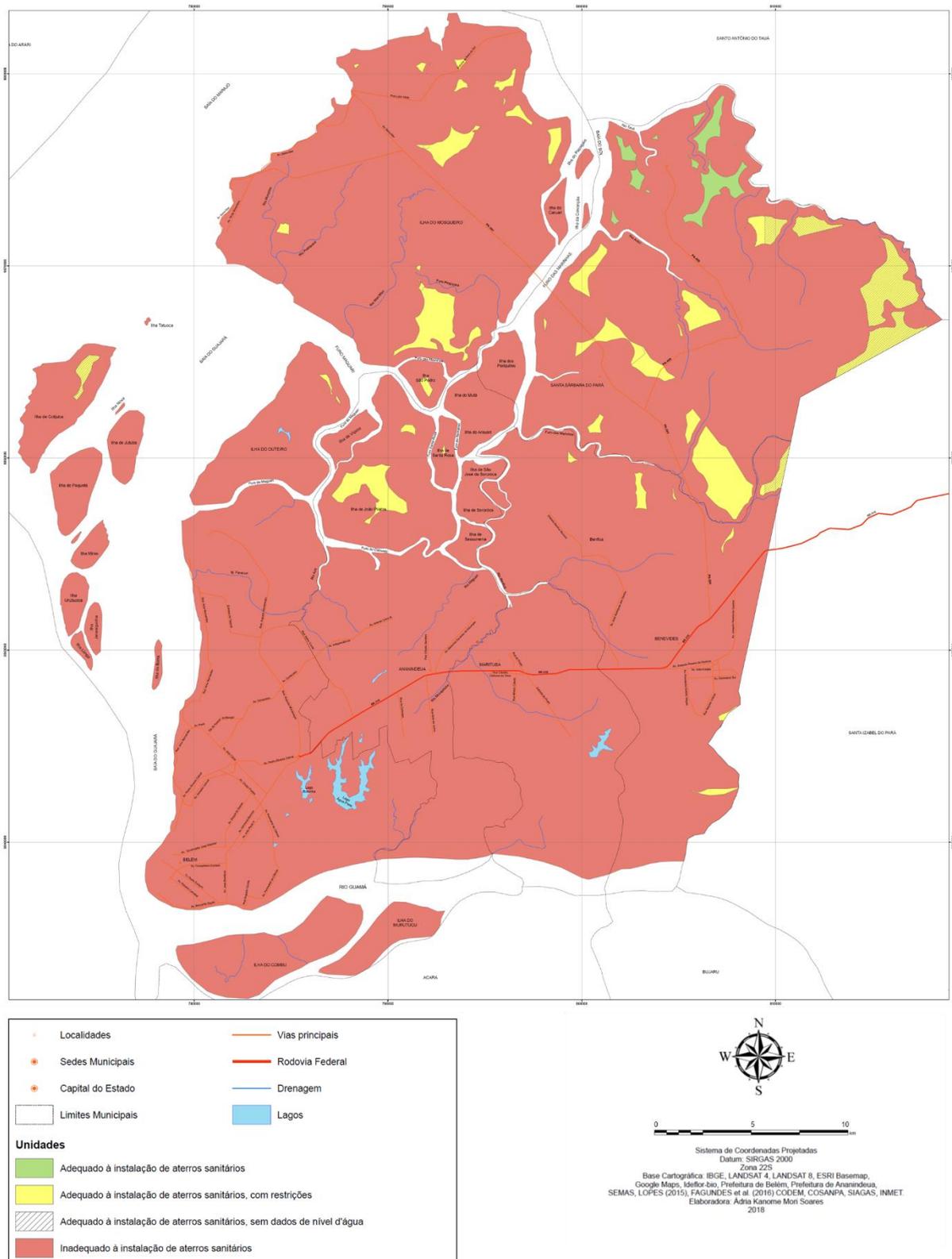


Figura 9 - Carta de áreas potenciais à instalação de aterros sanitários (SOARES, 2018).



A unidade “Áreas inadequadas à instalação de aterros sanitários”, tem maior área, totalizando 1.840.748.765 m². As “Áreas adequadas à instalação de aterros sanitários” indicaram o total de 6.431.215 m² no total, com valores individuais entre 2.859 e 3.056.477 m². A unidade “Áreas adequadas à instalação de aterros sanitários, sem dados de nível d’água”, correspondem a 14.827.896 m², entre 979.221 e 6.496.026 m². Estas áreas são adequadas segundo todos os parâmetros considerados, salvo o nível d’água, quando ele não pode ser avaliado.

A unidade “Áreas adequadas à instalação de aterros sanitários, com restrições” obteve área total de 32.329.731 m², com valores individuais entre 2.179 e 7.690.428 m². Estas são subdivididas em quatro categorias, definidas pelo tipo de restrição: a) Em áreas definidas como APA/UC no plano diretor municipal, porém sem lei oficializando-as como tal; ou APA/UC definida por lei, porém sem restrições para instalação de obras potencialmente poluidoras como aterros sanitários e cemitérios; b) Em áreas sem dados de nível d’água; c) Em áreas que compreendem as duas categorias anteriores; e d) em áreas à montante ou próximas a nascentes dos cursos d’água da região e/ou a oeste/noroeste de áreas urbanas e, portanto, no eixo da direção preferencial dos ventos.

As áreas em APA/UC sem oficialização ou restrições podem ter seu uso autorizado pelos órgãos ambientais competentes. As áreas à montante ou próximas às nascentes dos cursos d’água e/ou no eixo da direção preferencial dos ventos podem adotar medidas mitigadoras dos efeitos destes fatores. Além disso, ainda há a restrição de acessos, em especial nas áreas localizadas nas regiões insulares.

No relativo à avaliação de risco ambiental, praticamente a totalidade da região encontra-se em elevado grau de comprometimento, influenciado principalmente pela extensão das áreas de várzea, proteção ambiental e expansão urbana. As águas subterrâneas serão comprometidas por apresentarem o comportamento razoável na sua maior frequência.

Na avaliação de adequação para implantação de cemitérios, foram identificadas cinco unidades, conforme os atributos tratados na Tabela 2 (Figura 10): Áreas adequadas à instalação de cemitérios; Áreas adequadas à instalação de cemitérios, com restrições; Áreas adequadas à instalação de cemitérios, com ocupação urbana pouco expressiva; Áreas adequadas à instalação de cemitérios, sem dados de nível d’água; e Áreas inadequadas à instalação de cemitérios (Figura 11).

A unidade “Áreas adequadas à instalação de cemitérios” corresponde a 168.373.999 m², com áreas entre 22 e 17.577.019 m². A unidade “Áreas adequadas à instalação de cemitérios, sem dados de nível d’água” tem área total tem 54.378.365 m², tendo a mesma limitação de informação ajustada para a implantação de aterros.

As “Áreas adequadas à instalação de cemitérios, com restrições” ocorrem na Ilha de Mosqueiro (Belém), no leste e centro-oeste de Santa Bárbara do Pará, extremo nordeste e oeste de Benevides, norte de Belém, além de parte das ilhas de Cotijuba, do Outeiro, de João Pilatos, de Santa Rosa e São Pedro. Sua área total tem 174.809.591 m², de 383 a 77.883.800 m². As “Áreas adequadas à instalação de cemitérios, com ocupação urbana pouco expressiva” tem total tem 48.487.825 m², com fragmentos de 383 a 9.240.307 m². E as “Áreas inadequadas à instalação de cemitérios”, apresentam uma área total de 1.554.740.421 m², sendo igualmente dominantes na área.

No processo de avaliação de risco ambiental, o elevado grau de comprometimento é influenciado principalmente pelo comportamento das águas subterrâneas, extensão das áreas de várzea, proteção ambiental e expansão urbana.

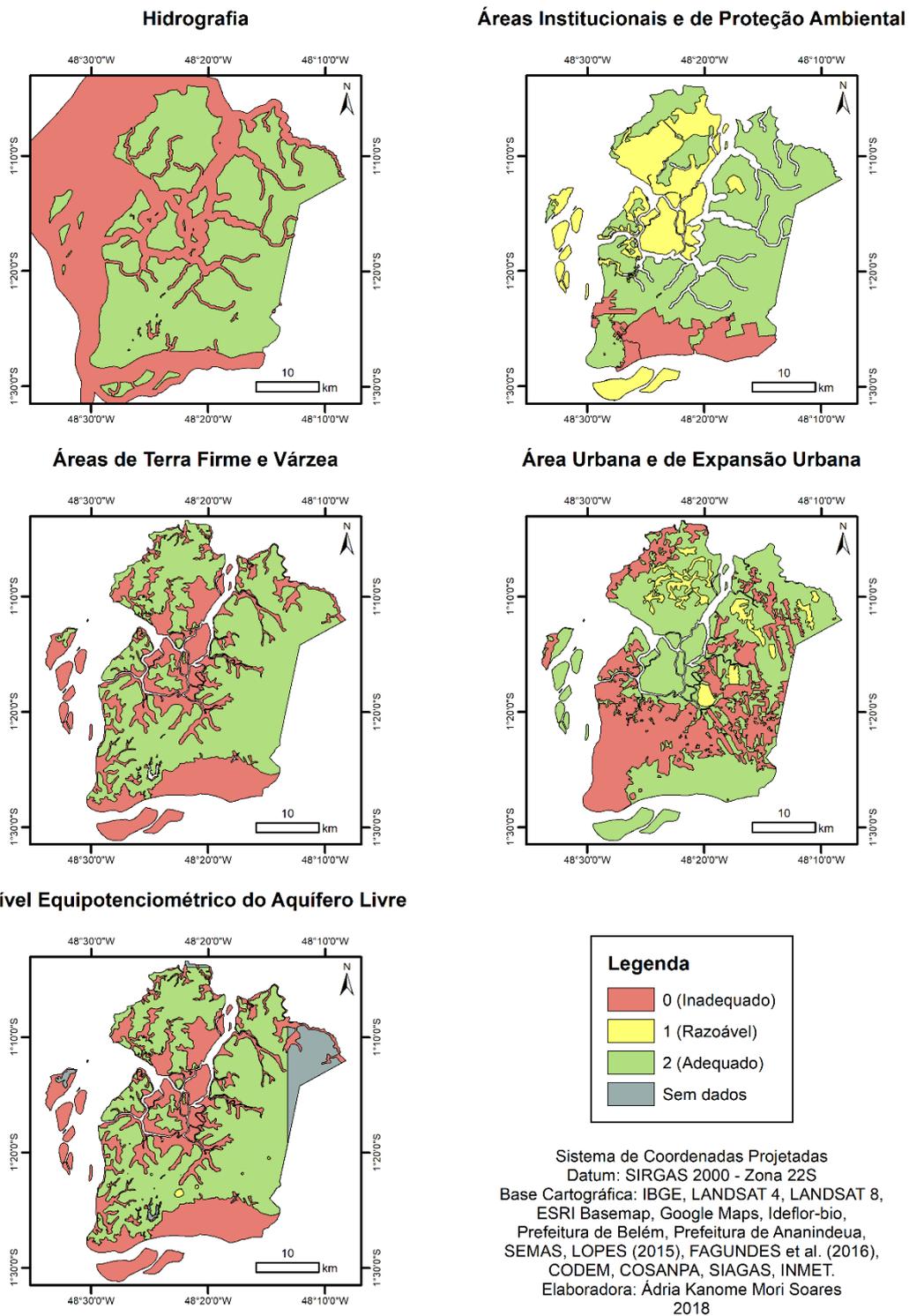


Figura 10 - Ajuste das cartas de atributos segundo os pesos da Tabela 1, para cemitérios (SOARES, 2018).

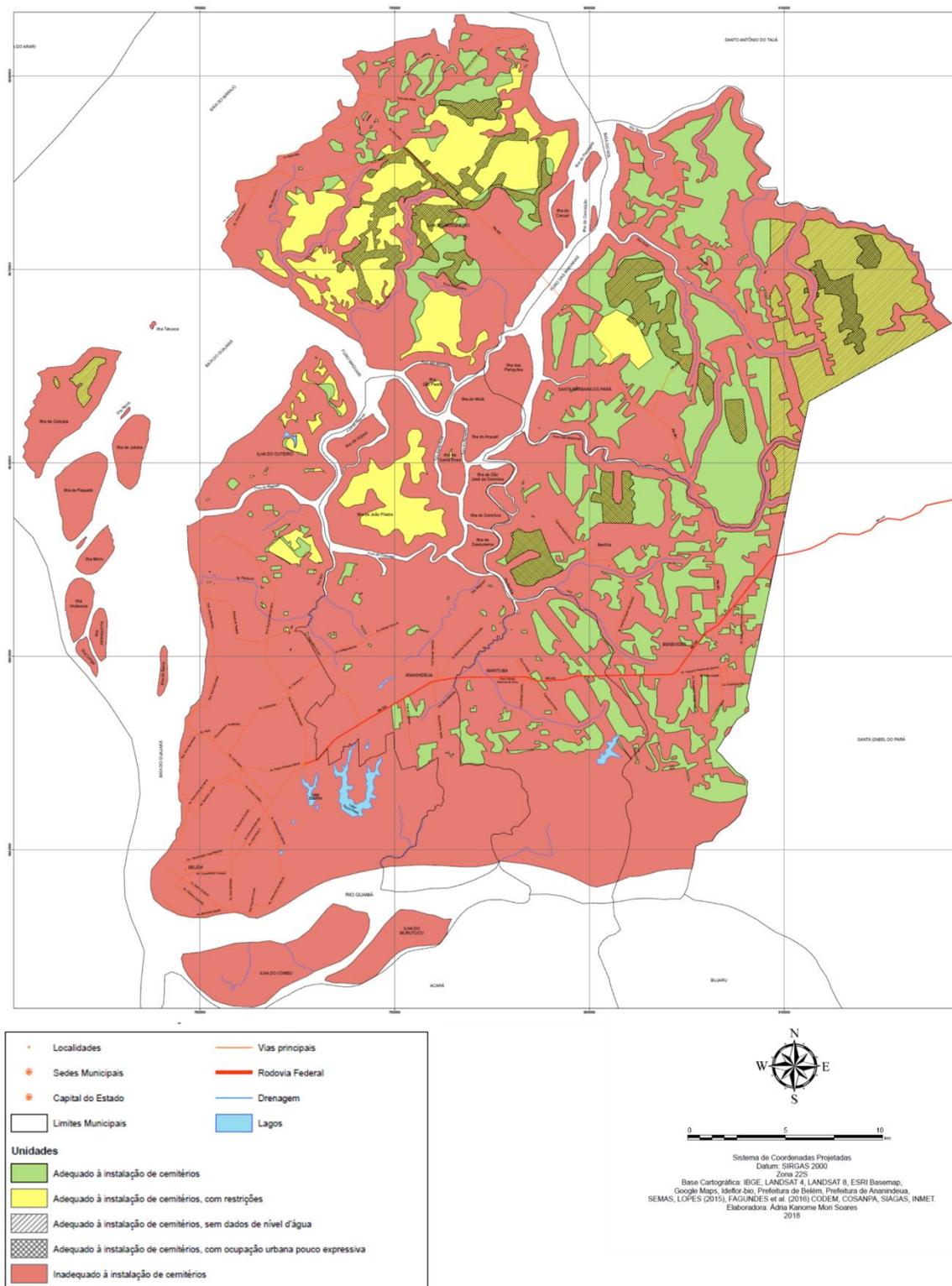


Figura 11 - Carta de áreas potenciais à instalação de cemitérios (SOARES, 2018).



A identificação de vulnerabilidades ambientais e consequente zoneamento de risco é fundamental para o planejamento das cidades. O exemplo do comportamento da RMB, que praticamente na totalidade da sua área torna-se de elevado grau de comprometimento interfere diretamente o processo social e econômico de ocupação urbana com oferta de serviços de saneamento básico e que traduzam segurança e qualidade ambientais.

Tanto aterros sanitários quanto cemitérios detêm problemas que confrontam com a expansão das cidades, e um exemplo disto é o seu descomissionamento. Normalmente, existe a preocupação com a poluição das águas subterrâneas que, no caso da RMB, a vulnerabilidade mostrou-se moderada a elevada (Figuras 6 e 7). É necessário levantar de forma complementar: (1) o histórico da área e sua relação com a população de entorno; (2) a ameaça representada em termos de poluição e/ou contaminação causados; e (3) os valores ecológicos associados ao processo de descomissionamento e reabilitação para um novo formato de área (MYLINSKA et al, 2021).

O quadro obtido para RMB se agrava quando se admite, por exemplo, a grande ocorrência de lixões e de aterros não controlados nos municípios da região. A remediação de solos e sedimentos são em geral pouco viáveis, especialmente em grande escala, o que tem levado a remediação verde e sustentável (GSR) que busca estabilizar contaminantes em solos ou sedimentos para reduzir sua capacidade de se espalhar na água ou biota e, assim, reduzir seu risco para os seres humanos saúde (HSEU, 2020).

A Figura 12 ilustra o perfil consolidado da ocupação em Belém, e seu crescimento em direção aos demais municípios, o que reforça a demanda por planejamento do espaço, pois as áreas mais vulneráveis (de maior comprometimento) não estão sendo evitadas e, desta forma, se instala um fator de pressão sobre estes espaços de ofertas de serviços e geração de impactos diversos.

No caso de aterros sanitários, outro elemento relevante é a ocorrência de diferentes categorias, mesmo admitindo apenas dois macros grupos: sólidos perigosos e não perigosos, ainda existe uma grande complexidade. Na RMB, os aterros (não controlados e lixões) são usados para a eliminação de resíduos domésticos. Mas, devido às condições, são incluídos outros resíduos, inclusive os resíduos sólidos industriais e resíduos de construção e demolição. O perigo dos resíduos industriais está na sua origem por processos de manufatura ou industriais, que incluem alimentos e produtos ou subprodutos relacionados, produtos químicos inorgânicos, fabricação de ferro e aço, couro e produtos de couro, fabricação ou fundição de metais não ferrosos, produtos químicos orgânicos, plásticos e manufatura de resinas, indústria de papel, têxteis, pedra, vidro, argila e produtos de concreto (IRAVANIAN; RAVARI, 2020).

Os impactos socioambientais destas áreas são vários, o que torna ainda mais difícil seu processo de escolha, citam-se aqui: imobiliário - restrições em morar perto destas áreas; econômico - baixo preço de aluguel/venda das propriedades próximas; saúde - presença de roedores e mosquitos, além dos cuidados com a água consumida (GUPTA et al, 2015; NJOKU et al, 2019).

De forma geral, é necessário investir na RMB usando como ferramentas os zoneamentos gerados e o plano diretor da cidade, além do amplo esclarecimento da população, uma vez que de alguma forma haverá o comprometimento de bens econômicos, valores estéticos, ambientais e culturais locais (NECKEL et al, 2017; AMADI; WEJE, 2021).

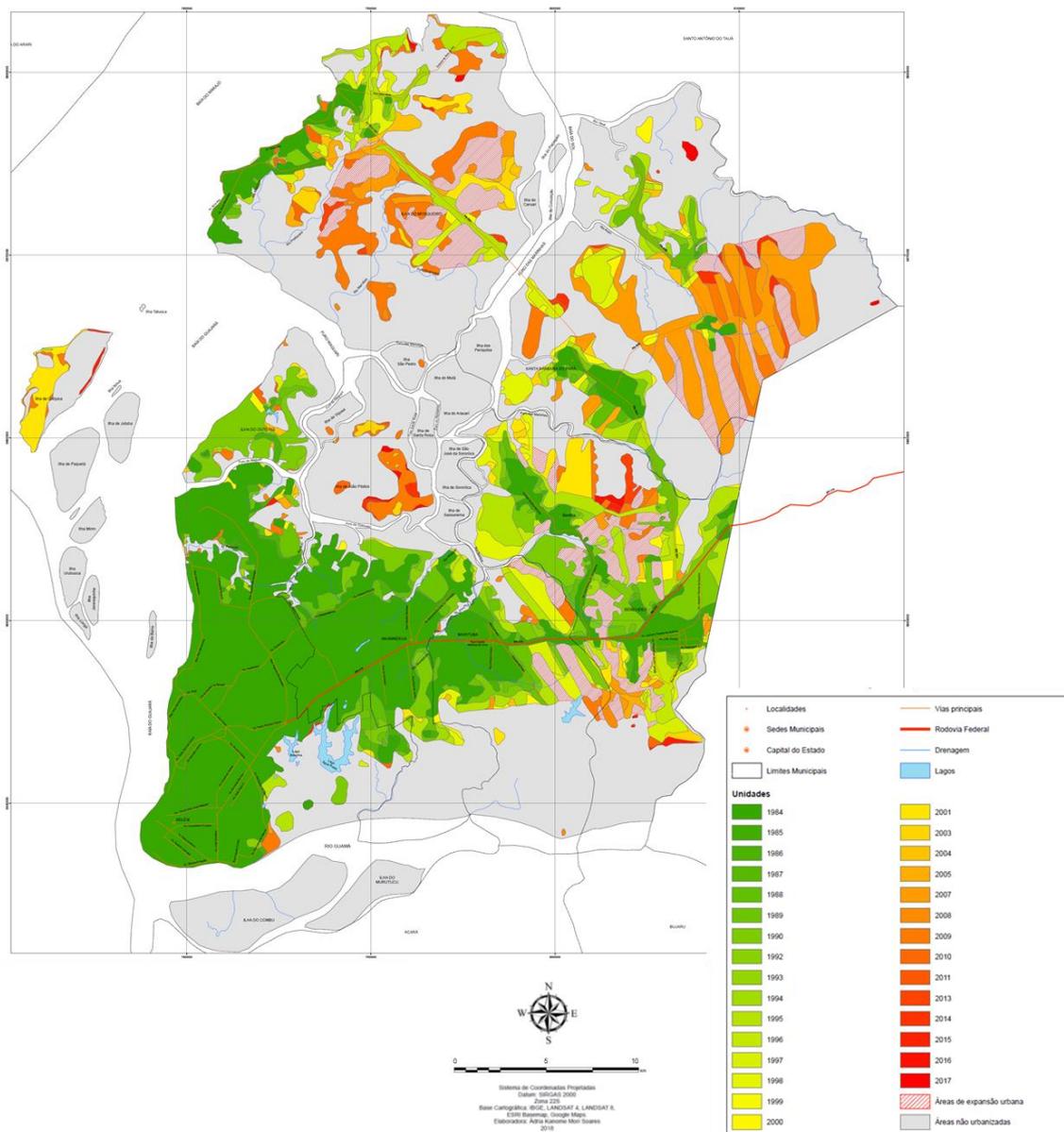


Figura 12 - Expansão da área urbana de 1984 à 2020 (SOARES, 2018).



CONCLUSÕES

O mapeamento gerado fornece subsídio ao poder municipal e/ou ao empreendedor, visando facilitar a identificação de quais atributos são mais restritivos à implantação de cemitérios e aterros sanitários na RMB, permitindo uma melhor decisão.

O elevado comprometimento da área demonstrou a manutenção de um grau de risco ambiental a ser considerado, especialmente dos ambientes mais sensíveis, tais como de várzea e de unidades de conservação.

As águas subterrâneas merecem destaque, pois se tornaram fatores limitantes e de maior vulnerabilidade. É importante destacar que este fator sempre irá implicar na adoção de medidas de controle mais restritivas, especialmente nas proximidades de corpos hídricos.

O fator econômico merece uma maior investigação, pois os produtos gerados levam as áreas mais propícias, principalmente para aterros, para longe da sede municipal de Belém, que detém a maior população da região, agravando assim o atendimento no relativo ao gerenciamento de resíduos sólidos.

O governo estadual e os municipais devem absorver produtos como o mapeamento gerado, para delinear ações mais adequadas as limitações existentes e definir estratégias de superação das dificuldades geradas pela falta de espaço próximo a maior demanda.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 13896 - Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação*. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 8419 - Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos*. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

AMADI, M. D.; WEJE, I. I. Socio-Economic impacts of cemetery on residents of Port Harcourt Metropolis, Rivers State, Nigeria. *International Journal of Scientific and Research Publications*, v. 11, n. 5, p. 703-711, 2021. doi.org/10.29322/IJSRP.11.05.2021.p11374

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). *Resolução n.º. 368 de 2006*. Brasília: CONAMA, 2006.

BRASIL. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis no 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis no 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm. Acesso em: 8 de março de 2018.

COSTA, T. C. D. *Análise crítica das metodologias gerais de mapeamento geotécnico visando formulação de diretrizes para a cartografia no trópico úmido e aplicação na Região Metropolitana de Belém, Escala 1:50.000*. 2001. 279f. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Pará, Belém, 2001.

COSTA, T. C. D.; GANDOLFI, N.; COSTA, J. A. Carta de áreas preferenciais à instalação de aterro sanitário na região metropolitana de Belém, na escala 1:50.000. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 10, 2002, Ouro Preto. *Anais...* Ouro Preto: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2002.

ELK, A. G.; HENRIQUES, P. V. *Redução de emissões na disposição final*. Rio de Janeiro: IBAM, 2007, 44p.

FELICORI, T. C.; MARQUES, E. A. G.; SILVA, T. Q.; PORTO, B. B.; BRAVIN, T. C.; SANTOS, K. M. C. Identificação de áreas adequadas para a construção de aterros



sanitários e usinas de triagem e compostagem na mesorregião da Zona da Mata, Minas Gerais. *Eng. Sanit. Ambient.*, v. 21, n. 3, p. 547-560, 2016.

GBANIE, S. P.; TENGBE, P. B.; MOMOH, J. S.; MEDO, J.; KABBA, V. T. S. Modelling landfill location using Geographic Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA): Case study Bo, Southern Sierra Leone. *Applied Geography*, v. 36, p. 3-12, 2013. doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.06.013

GUPTA, N.; YADAV, K.; KUMAR, V. A review on current status of municipal solid waste Management in India. *Journal of Environmental Sciences*, v. 37, p. 206-217, 2015. doi.org/10.1016/j.jes.2015.01.034

HSEU, Z-Y. Ecological and health risk of soils, sediments, and water contamination. *Water*, v. 12, 2020. doi.org/10.3390/books978-3-0365-0035-5

IRAVANIAN, A.; RAVARI, S. O. Types of contamination in landfills and effects on the environment: a review study. *Earth and Environmental Science*, v. 614, p. 1-9, 2020. doi.org/10.1088/1755-1315/614/1/012083

MYLINSKA, A.; SZCZEPANSKI, J.; DŁUBAKOWSKI, W. The impact of decommissioning cemeteries on the urban ecosystem. *Sustainability*, v. 13, p. 1-13, 2021. doi.org/10.3390/su13169303

NECKEL, A.; COSTA, C.; NUNES MARIO, D.; SAGGIN SABADIN, C. E.; THAINES BODAH, E. Environmental damage and public health threat caused by cemeteries: a proposal of ideal cemeteries for the growing urban sprawl. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 9, n. 2, p. 216-230, 2017.

NJOKU, P. O.; EDOKPAYI, J. N.; ODIYO, J. O. Health and environmental risks of residents living close to a landfill: a case study of Thohoyandou Landfill, Limpopo Province, South Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 16, p. 1-27, 2019. doi.org/10.3390/ijerph16122125

OLIVEIRA, J. G. F.; SILVA, R. C. S. (Org.) *Geologia e recursos minerais da Folha Belém - SA.22-X-D-III, Estado do Pará, Escala 1:100.000*. Belém: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Superintendência Regional de Belém, 2011.

SILVA, A. D.; PINHEIRO, E. S. A problemática dos resíduos sólidos urbanos em Tefé, Amazonas. *Sociedade & Natureza*, v. 22, n. 2, p. 297-312, 2010.

SOARES, A. K. M. *Mapeamento Geotécnico Aplicado à Seleção de Áreas Preferenciais para Instalação de Aterros Sanitários e Cemitérios na Região Metropolitana de Belém (PA)*. 2018. 100f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia), Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

SOARES, A. K. M.; COSTA, T. C. D. Mapeamento geotécnico aplicado à seleção de áreas preferenciais para implantação de aterros sanitários na Região Metropolitana de Belém (PA). In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 16, 2018, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABGE, 2018.

TAVARES, A. L.; MEDEIROS, R. M.; GOMES, L. C. F.; MACEDO, M. J. H.; SILVA, V. P. R. 2011. Utilização do balanço hídrico como ferramenta ao planejamento de melhoria de vida no meio urbano para a cidade de Belém - Pa. In: Simpósio Internacional de Climatologia, 4, 2011, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: SIC, 2011.

TRESSOLDI, M.; CONSONI, A. J. Disposição de Resíduos. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Org.). *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998, p. 343-360.

VASQUEZ, M. L.; SOUSA, C. S.; CARVALHO, J. M. A. (Org.). *Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Pará, escala 1:1.000.000*. Programa Geologia do Brasil (PGB), Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil, Mapas



Geológicos Estaduais. Belém: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Superintendência Regional de Belém, 2008.

VILHENA, A. (Org.) *Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado*. São Paulo (SP): CEMPRE, 2018, 316p.

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. *Cartografia geotécnica*. São Paulo: Oficina de Textos, 2004, 190p.



DIAGNÓSTICO DA PRECIPITAÇÃO EM 50 ANOS NA CIDADE DE BELÉM-PARÁ

Josiane Sarmiento dos Santos¹, Edson José Paulino da Rocha² e Jaqueline Sarmiento dos Santos³

Resumo:

O diagnóstico de variáveis climáticas fornece uma contribuição necessária para que os efeitos adversos de ameaças naturais sejam minimizados em uma região. Esta pesquisa verificou o comportamento da precipitação (PRP) diária na cidade de Belém-Pará, Brasil. Foram empregados dados de PRP (1967-2016) do Instituto Nacional de Meteorologia, dados de TSM dos oceanos Pacífico e Atlântico do portal da NOAA. Adotando testes de estatística e de probabilidade, como frequência, média aritmética, desvio padrão, correlação, técnica de separatrizes e tendência, os resultados mostraram o seguinte diagnóstico da PRP na cidade: de janeiro a maio de 2007-2016, os valores mensais de PRP ultrapassaram as outras décadas; em 50 anos Belém possuiu mais dias chuvosos (61%); No entanto, as chuvas mais registradas foram àquelas classificadas abaixo da média diária (<13,7 mm/dia), representando 65% dos dias. A PRP média diária apresentou maior tendência de toda a série. Houve uma tendência de aumento dos eventos extremos que podem estar atrelados a maior frequência da La Niña, além disso, esse fenômeno mostrou ser mais significativo na variabilidade da PRP da área de estudo do que o Dipolo do Atlântico, isto porque, houve maior frequência de TSM mais fria no pacífico, enquanto que o Dipolo do Atlântico a TSM estava mais quente, ou seja: há uma combinação corriqueira no período chuvoso da cidade de estudo: a TSM do pacífico mais fria, além dos sistemas meteorológicos atuantes na região que contribuem para que as ameaças naturais sejam mais expressivas.

Palavras-chaves: Amazônia, variabilidade, clima.

¹Universidade Federal do Pará, josi_sarmiento@yahoo.com.br. ²eprocha@ufpa.br. ³jaqueline@ufpa.br.



INTRODUÇÃO

A Amazônia está situada entre as latitudes 5° N e 10° S, apresenta um clima quente e úmido, onde a convecção é um importante mecanismo de aquecimento da atmosfera tropical (FISCH et al, 1998), e dessa forma as nuvens cumuliformes são predominantes. Essas nuvens são resultantes, principalmente, da liberação de calor latente, uma vez que existe grande quantidade de umidade e calor sendo transportado verticalmente na atmosfera (SOUZA; ROCHA, 2006).

Neste cenário de alta concentração de umidade e calor está inserida a cidade de Belém, capital do estado do Pará na qual dispõe de grandes volumes pluviométricos (SANTOS et al, 2019) devido à sua localização próxima a região equatorial. O clima local é influenciado por sistemas meteorológicos de meso escala: Brisa Marítima e as Linhas de Instabilidade (COHEN, 1989; GARSTANG et al, 1994; COHEN et al, 1995; ALCÂNTARA et al, 2014; MATOS; COHEN, 2016; OLIVEIRA et al, 2016), alguns são de escala sinótica como os Distúrbio Ondulatório de Leste e os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (HENDON; LIEBMANN, 1990; SOUZA et al, 2000; CAVALCANTI; KOUSKY, 2003) e o principal gerador de chuva da região a Zona de Convergência Intertropical-ZCIT (KOUSKY; KAGANO, 1981; CAVALCANTI et al, 2009; FERREIRA et al, 2015).

As chuvas dessa região podem sofrer alterações na sua variabilidade devido aos mecanismos oceano-atmosfera como o ciclo do ENOS e o Gradiente Meridional da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Atlântico Tropical (ANDREOLI; KAYANO, 2005; FERREIRA et al, 2015).

Porém, precipitações na cidade quando se tornam eventos extremos causam muitos transtornos (CAMPOS et al, 2015) principalmente no período chuvoso que aliado à localização da cidade, as margens de rios e cercada de bacias hidrográficas, ainda sofre com a influência dos mares (ARAÚJO JÚNIOR, 2013; PONTES et al, 2017; SANTOS; ROCHA, 2013) que contribuem para que ocorram inundações.

Analisar as chuvas de uma determinada região, assim como a verificação de alterações na sua variabilidade, é de fundamental importância para que haja redução de riscos de desastres naturais, isto porque, o desastre natural é resultado da associação de atributos físicas do lugar, que refletem suas suscetibilidades e fragilidades associadas à capacidade de resposta e recuperação da sociedade expressas por sua vulnerabilidade e resiliência (MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2017).

No mundo há um aumento no registro de desastres demonstrado pelo *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* (CRED, 2014). O acréscimo nos registros vem acompanhado no crescimento de pessoas atingidas, por exemplo no ano de 2013 aproximadamente 96,5 milhões de pessoas foram afetadas por desastres, sendo que as perdas econômicas são estimadas em US\$ 118.600.000,00 em prejuízos econômicos.

Os registros de desastres das últimas décadas na região Amazônica apresentam recordes de frequência e intensidade de fenômenos naturais extremos. As vazões dos rios Amazonas em 2005 e 2010 chegaram a apresentar valores mínimos, esses episódios de secas extremas causaram grandes transtornos, principalmente para as populações ribeirinhas pela deficiência de água potável e alimentos (MARENGO et al, 2008; MARENGO et al, 2011a) o contrário, ou seja, chuvas extremas ocorreram nos anos de 2009 e 2012, na mesma região, os níveis dos rios ultrapassaram as médias e alcançaram níveis máximos, a população da região ficou desalojada devido a esse fato (MARENGO et al, 2011b; ESPINOZA et al, 2013).

O Monitoramento das chuvas e conhecimento das variáveis climáticas para a cidade de Belém, assim como outras do Brasil, pode ser realizado com as informações disponíveis de acesso gratuito no portal do Instituto Nacional de Meteorologia-INMET (SANTOS et al, 2019), por exemplo, a utilização do prognóstico climático (fornecidos por modelos numéricos de médio e longo prazo dos principais Centros Meteorológicos Mundiais e análise dos mapas de padrões máximos e mínimos de precipitação) assim como as



Normais Climatológicas. Então, a pesquisa fez uma análise da precipitação (PRP) na cidade de Belém-PA, Amazônia Oriental, no período de 50 anos (1967-2016) com a finalidade de gerar um diagnóstico das chuvas buscando uma associação com os mecanismos oceano-atmosfera.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

Localizada no leste da Amazônia brasileira, região equatorial ($1^{\circ} 27' S$ e $48^{\circ} 28' W$), Belém é a capital do estado do Pará e Metrôpole da Amazônia oriental, está distante a 120 km do oceano atlântico, é cercada de bacias hidrográficas, as margens do rio Guamá e baía do Guajará como pode ser observado na Figura 1.

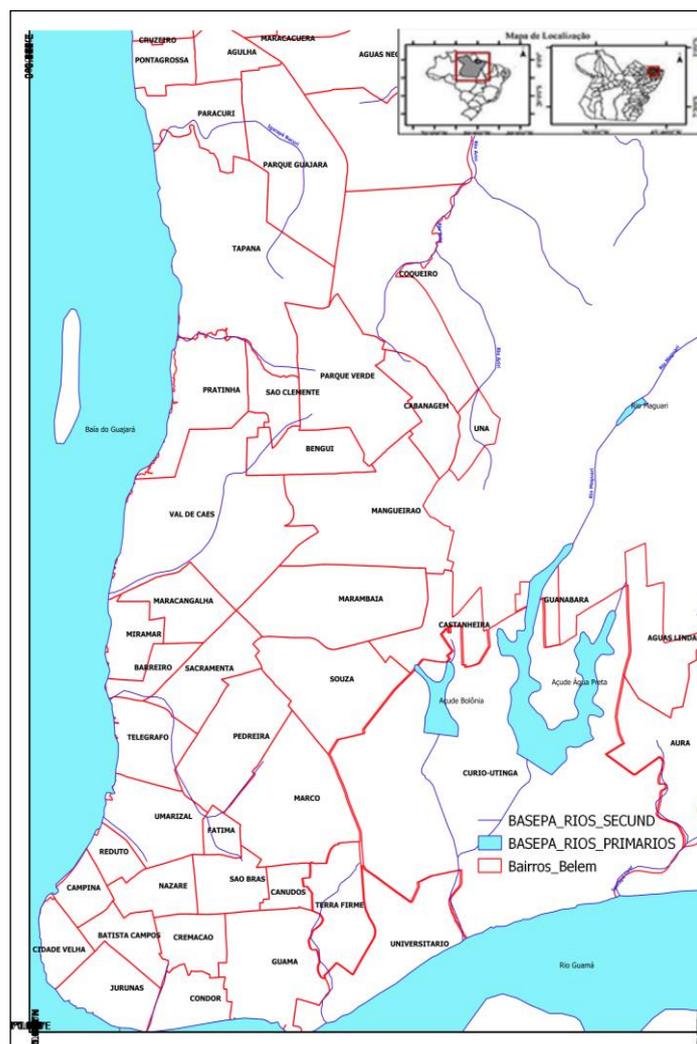


Figura 1 - Mapa da cidade de Belém-PA, a cor azul representa a hidrografia, a vermelha o limite dos bairros.

Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho com base em IBGE (2010).



Dados e Metodologia

Dados de precipitação (PRP) na cidade de Belém-PA, são da estação do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2018), na análise foram utilizados os anos de 1967 a 2016 (50 anos). Dados de TSM dos oceanos Pacífico do Portal da *Climate Prediction Center/National Oceanic and Atmospheric Administration* (CPC-NOAA, 2018) no período de 35 anos (1982-2016) e Atlântico da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2018) para o Dipolo do Atlântico em 50 anos (1967-2016).

Foram empregados testes de estatística e de probabilidade para caracterizar a climatologia local, tais quais: média, correlação, desvio padrão e frequência, para que os dados diários de precipitação de 50 anos possam demonstrar quais volumes pluviométricos podem representar as ameaças naturais, 50 anos de Dipolo do Atlântico e 35 de TSM do Pacífico.

Para compor uma climatologia de 50 anos de chuvas diárias foi empregada a técnica dos percentis, pertencente à metodologia das separatrizes (quartil, decil e percentil), descritas por Xavier et al (2007). Neste método, um conjunto de dados (ex. precipitação diária) é ordenado de forma crescente, o valor médio divide a série em duas partes iguais denominada de mediana. Por extensão desse conceito, pode-se pensar nos valores dividindo o conjunto em 100 partes iguais, chamados de percentis, sendo calculados pela equação de Xavier et al (2007):

$$PX = l_{inf} + \left[\frac{\left(\frac{X_n}{100} \right) - fac_{ANT}}{fi} \right] . h$$

Onde,

PX = percentil que se pretende calcular.

h = amplitude da distribuição.

l_{inf} = limite inferior da classe

fi = frequência da classe da posição do percentil.

fac_{ANT} = frequência da classe anterior do percentil.

X_n = número de ordem do percentil.

As tendências das séries de PRP diária, decil e percentis da cidade de Belém-PA foram analisadas através do teste de Mann-Kendall (SNEYERS, 1992), nesta análise é possível identificar se a sucessão de valores X₁, X₂, ..., X_n de uma série temporal, ocorre de forma independente e identicamente distribuída, da seguinte maneira:

H₀ = Não há tendência na série

H₁ = Há tendência na série

H₀ é rejeitada quando o valor de tendência encontrado tem nível de significância (p-valor) maior que 0,05. A tendência pode ser: a - Fraca - confiança inferior a 50% e número de amostras inferior a 10; b - Moderada - confiança superior ou igual a 50% e pelo menos 10 amostras e c - Forte - confiança superior ou igual a 65% e número de amostras maior ou igual a 25.

Realizado o teste de correlação entre a PRP e as TSM do oceano Pacífico e Atlântico, medindo a associação entre os parâmetros sendo quantificado através do coeficiente de correlação linear de Pearson (r). O coeficiente r varia de -1 a 1. O sinal indica direção positiva ou negativa do relacionamento e o valor sugere o grau de relacionamento entre as variáveis.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 é apresentada a climatologia mensal da precipitação (PRP) de 50 anos (1967-2016) com os períodos chuvoso (dezembro a maio) e menos chuvoso (junho a novembro) bem definidos e já analisados por diversos autores (LOPES et al, 2013; ALCÂNTARA et al, 2014; COHEN et al, 2014; SANTOS et al, 2014; FERREIRA et al, 2015; MATOS; COHEN, 2016; OLIVEIRA et al, 2016; SANTOS et al, 2016; SOUZA et al, 2017), os quais relacionaram a presença do sistema meteorológico de grande escala, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) como o principal responsável pelo clima local, além da cidade apresentar forte atividade convectiva (SANTOS et al, 2014) o que também auxilia na climatologia de período chuvoso e menos chuvoso.

Nos meses de janeiro a abril valores de PRP estavam acima da média dos 50 anos e acima da média do próprio período chuvoso, devido principalmente à atuação grande escala ZCIT (FIGUEROA; NOBRE, 1990; MARENGO et al, 2001; SOUZA; AMBRIZZI, 2002). Todos os anos a ZCIT atua no período chuvoso, com essa informação, as autoridades competentes podem adotar as medidas de controle de enchentes e inundações (CANHOLI, 2015), essas medidas podem chamadas: medidas estruturais (obras de engenharia) e não estruturais (disciplinar a ocupação territorial, o comportamento de consumo das pessoas e as atividades econômicas), e com a adoção desse conjunto de medidas os impactos das chuvas extremas na região poderiam ser reduzidos ou sanados.

Avaliando a PRP por década foi possível perceber que na quinta década (2007-2016) o período chuvoso está mais intenso, isto porque a PRP ultrapassou a climatologia de 50 anos dos meses de janeiro a maio, Santos et al (2019) atribuem as chuvas mais intensas na cidade devido a maior frequência da La Niña.

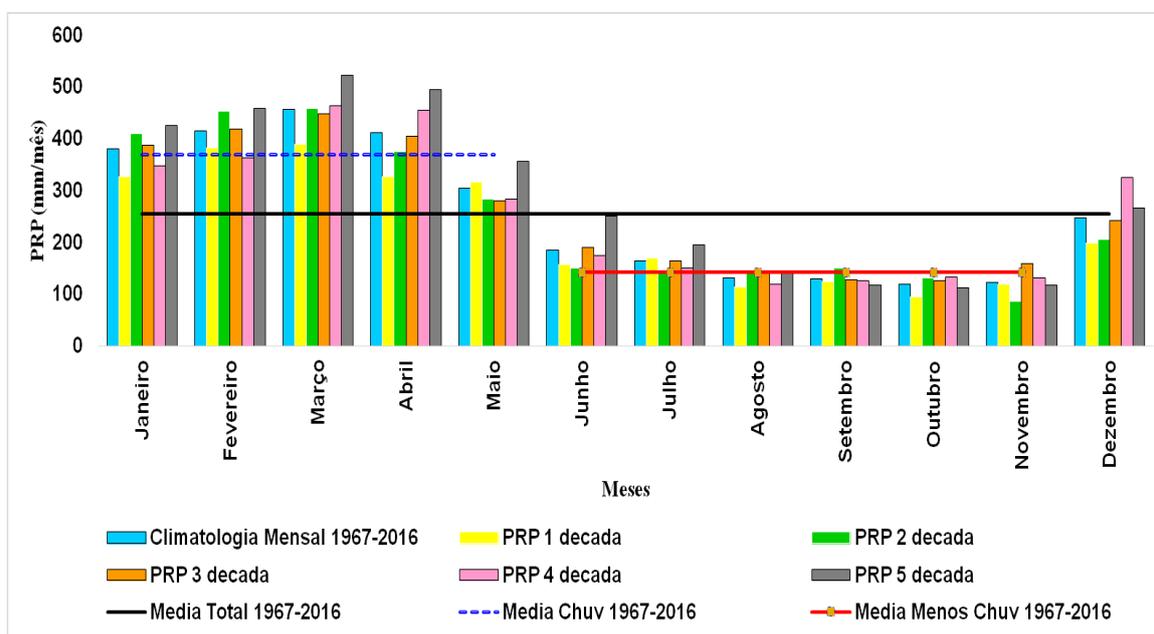


Figura 2 - Precipitação Mensal da cidade de Belém-PA, no período de 1967-2016. As barras representam: a climatologia mensal - azul; média da primeira década (1967-1976) - amarela; média da segunda década (1977-1986) - verde; média da terceira década (1987-1996) - laranja; média da quarta década (1997-2006) - rosa; e a quinta década (2007-2016) - cinza. A linha preta a média total, a linha azul a média do período chuvoso e a linha vermelha a média do período menos chuvoso.



O número de observações diárias para a série de 50 anos foram de 18.157, sendo que os dias chuvosos foram mais frequentes (61%, 11004 dias) e os menos chuvosos o restante (31%, 7153 dias) como é observado na Figura 3. No estudo realizado por Santos et al (2014), a qual fez uma distribuição dos dias de chuva na cidade de Belém-PA, nos anos de 1984 a 2013, também foi constatado que Belém-PA apresenta maior número de dias com chuva.

A média de precipitação diária da cidade de Belém são as chuvas de 13,7 mm/dia, o intervalo para compor as chuvas que estão dentro da média apresentou limite inferior de 13,5 mm/dia e superior de 14,1 mm/dia, nesse limite apenas 1% das chuvas estavam dentro da distribuição diária ocorrida na cidade de Belém-PA, os outros registros diários, foram as chuvas abaixo da média (65%) enquanto que acima da média são de 34% de ocorrência (Figura 4).

O desvio padrão apresentou valor pequeno de 14,8, isto significa que, os dados amostrais estão bem condensados em torno da média (Figura 5), ou seja, a PRP diária esteve mais frequente próxima a média diária (13,7 mm/dia).

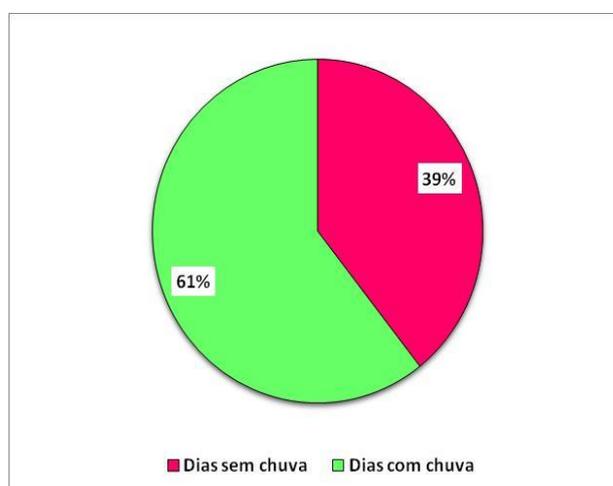


Figura 3 - Número de dias com chuva na cor verde e dias sem PRP na cidade de Belém- Pará, nos anos de 1961-2016.

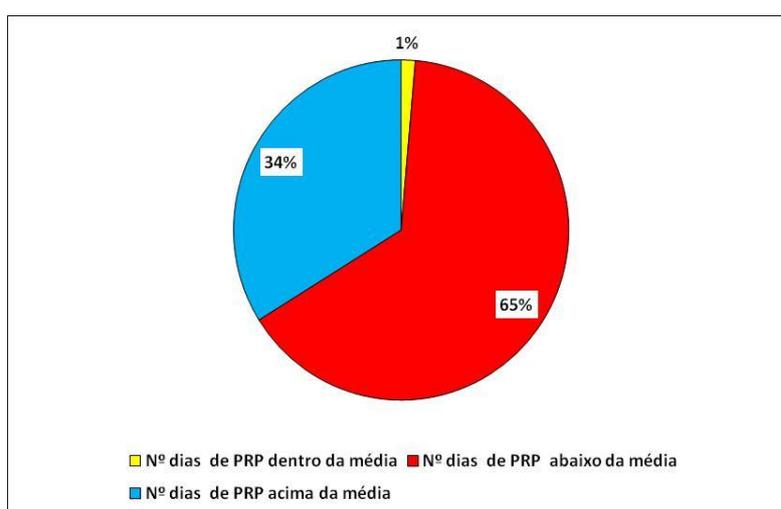


Figura 4 - Número de dias com PRP dentro do intervalo da média (cor amarela), PRP acima do intervalo da média (azul) e PRP abaixo do intervalo da média (cor vermelha) na cidade de Belém-PA, nos anos de 1961-2016.

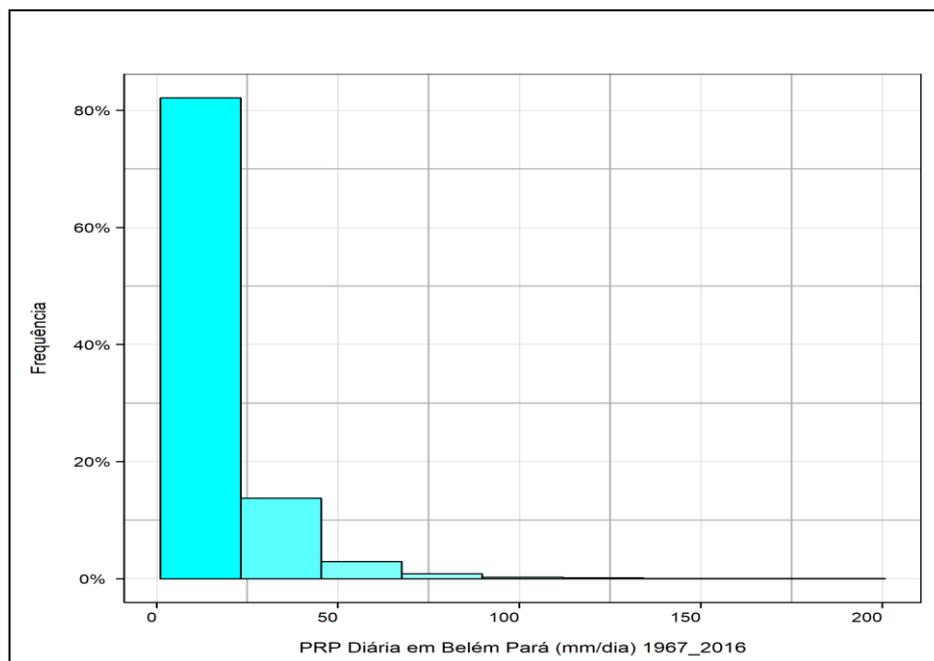


Figura 5 - Frequência diária (%) da PRP na cidade de Belém-PA de 1967-2016. A Barra azul representa a chuva.

Utilizando a técnica dos decis (Tabela 1) a PRP que compreende o decil de 10 até o decil de 90 representou 90% dos registros, o decil de 60 são as PRP que estão dentro da média e do limite inferior e superior, representando assim, 10% da série (Figura 6). Então, como já mencionado no resultado do desvio padrão, a PRP diária se aproxima da média, o que evidencia que apesar do número de dias de chuva ser maior do que os dias sem PRP, no ciclo diário as chuvas ocorrem com maior frequência no intervalo de 1,8 a 31 mm/dia.

Campos et al (2015) utilizaram o decil de 90 para eventos extremos de precipitação na cidade de Belém-PA, naquela pesquisa foi evidenciado que as PRP acima de 25 mm/dia já causavam alagamentos na cidade, principalmente no período chuvoso. Já Pontes et al (2017) encontraram valores de extremos com PRP acima de 20 mm/dia, utilizando o percentil de 85, os autores concluíram que as chuvas podem ser determinantes para causar alagamentos, isto porque, existem pontos de alagamentos distantes da rede de drenagem da cidade. Ou seja, analisar as chuvas detalhadamente, como por exemplo a frequência de eventos extremos e o valor da PRP diária as chuvas consideradas extremas poderá auxiliar na redução de alagamentos na cidade.

No emprego dos percentis de 91 a 99 na PRP diária de Belém-PA, que são considerados os mais raros, segundo Spiegel (1976) representam os valores menos frequentes numa série histórica, ficou evidente que as chuvas consideradas extremas, estão registradas entre as PRP de 33 a 71 mm/dia (Tabela 2). Apesar de a cidade ter mais da metade dos dias (61%) com ocorrência de PRP, apenas 34% estão acima da média, desses registros apenas 10% (Figura 7) são eventos extremos de PRP. Santos et al (2014) encontraram no decil de 90 chuvas superiores a 50 mm/dia, os autores consideraram apenas valores de PRP acima de 1 mm/dia.



Tabela 1 - Divisão da série de PRP diária da cidade de Belém-PA através da técnica dos Decis dos anos de 1961-2016. O D representa o Decil.

Decil	PRP(mm/dia)
D10	1,8000
D20	3,1000
D30	4,6000
D40	6,4000
D50	9,0000
D60	12,0000
D70	16,0000
D80	21,4000
D90	31,6000

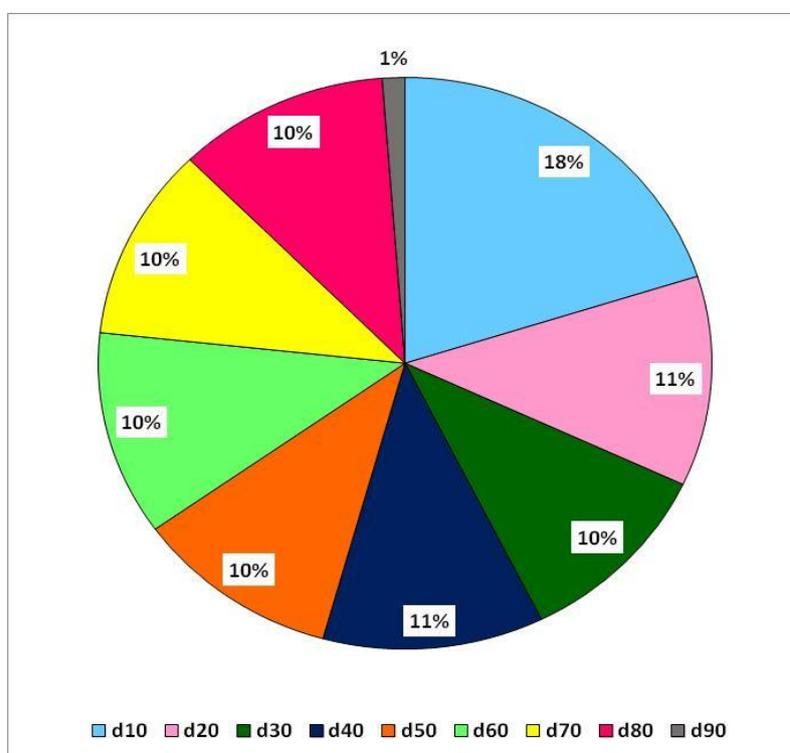


Figura 6 - Percentual dos decis de 10 até 90 de chuvas diárias registradas na cidade de Belém-Pará no período de 1961-2016, as cores: azul claro, rosa claro, verde escuro, azul escuro, laranja, verde claro, amarelo e vermelho e cinza representam os decis de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90, respectivamente.



Tabela 2 - Divisão da série de PRP diária da cidade de Belém-PA através da técnica dos Percentis dos anos de 1961-2016. O P representa o Percentil.

P	PRP mm/dia
91	33,1550
92	35,0000
93	37,0000
94	39,0000
95	42,3000
96	45,9800
97	51,0850
98	58,6700
99	71,4950

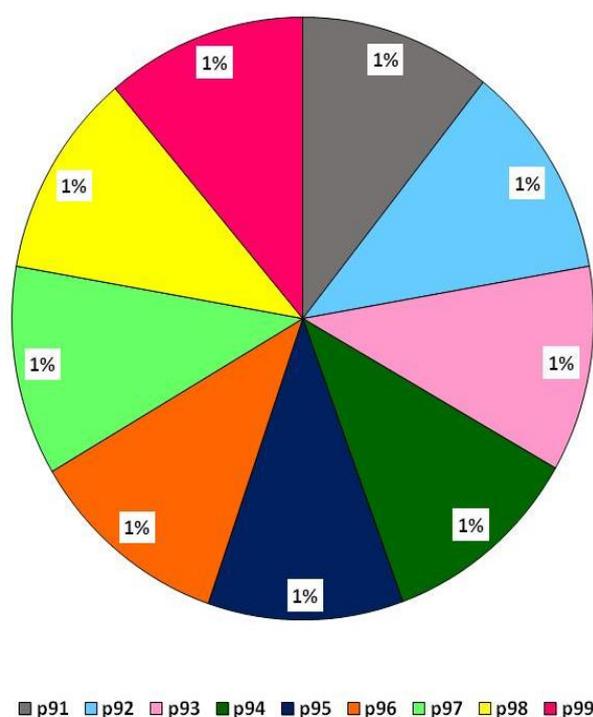


Figura 7 - Percentual dos percentis de 91 até 99 de chuvas diárias registradas na cidade de Belém-Pará no período de 1961-2016, as cores: azul claro, rosa claro, verde escuro, azul escuro, laranja, verde claro, amarelo e vermelho e cinza representam os percentis de 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98 e 99, nessa ordem.

Os valores de PRP diária, acima e abaixo da média não apresentaram tendência significativa, porém quando se analisa os valores de PRP que estão dentro limite da média diária, houve uma tendência forte de aumento das chuvas. Contudo, mesmo esta PRP estando presente em apenas 1% da amostra, os seus valores são importantes para avaliar possíveis modificações nos padrões da PRP cidade, como a ocorrência de alagamentos, haja vista que a cidade apresenta maior número de dias com chuvas (61%).



Tabela 3 - Tendência da PRP diária e dos seus valores médios, acima e abaixo da média na cidade de Belém-Pará, nos anos de 1967 a 2016.

PRP	Mann-Kendall	p-valor >0,05	Tendência
PRP na média diária 13,5 a 14,1 mm/dia	0,0029	0,9625	tendência forte
PRP abaixo média diária 13,5 mm/dia	0,0263	0,0009	Não há
PRP acima média diária de 14, 1 mm/dia	0,0348	0,0014	Não há
PRP diária	0,0455	0	Não há

Analisando a tendência para os decis e percentis (Tabela 4) foi percebido que os decis próximos à média diária são os que apresentam tendência mais forte, ou seja, as chuvas diárias próximas à média de 13, 7 mm/dia são as mais frequentes e assim como o volume em mm/dia tem aumentado; o decil de 80, que já é classificado como evento extremo de precipitação (CAMPOS et al, 2015; PONTES et al, 2017) apresentou tendência de aumento, ou seja, as chuvas de Belém acima de 20 mm/dia já são consideradas ameaças para alagamentos e inundações em Belém-PA.

Quando analisado os percentis de 90, que são os valores presentes em 10% da série de PRP de 50 anos da cidade. houve tendência de aumento nos percentis de 92, 94, 95, 97 e 98. Sendo assim, mesmo com a maior frequência de chuvas em Belém, as registradas abaixo da média diária de 13,7 mm/dia (65% do número de dias de chuva), um aumento da tendência do que representa em dados diários os eventos extremos de chuva (acima de 20 mm/dia) evidencia que a cidade tem sido mais afetada por ameaças naturais.

Não houve correlação na série mensal (Figura 8) e anual (Figura 9) de TSM do oceano pacífico dos anos de 1982 a 2016, porém Santos et al., (2019) verificou uma fase fria do índice ION em 30 anos (1987-2016), esse cenário caracteriza o evento La Niña, que provoca aumento da PRP na região amazônica. Ou seja, a frequência da TSM mais fria do pacífico auxilia no aumento da PRP na região do estudo. Na distribuição mensal (Figura 10) a TSM mais fria se encontra no período chuvoso, enquanto a TSM mais quente está no período menos chuvoso nos anos de 1982 a 2016. A simples presença da TSM mais fria pode alterar a variabilidade da PRP no período chuvoso, contudo o que determina as chuvas são os sistemas meteorológicos atuantes na área.

Os impactos do El Niño sobre a precipitação da região amazônica são amplamente pesquisados, estudos apontam que as condições da TSM do Oceano Pacífico, quando estão maiores em relação à média, influenciam significativamente na circulação troposférica zonal da célula de Walker (CAVALCANTI, 1982; KOUSKY et al, 1984; KAYANO; MOURA, 1986; MARENGO, 1992; PEZZI; SOUZA; AMBRIZZI, 2002), inibindo a atividade convectiva da ZCIT, que é o sistema que caracteriza a climatologia da cidade de Belém-Pará, e por conseguinte provocam redução de PRP (COELHO et al, 1999; SOUZA et al, 2000).



Tabela 4 - Tendência dos decis e dos percentis na cidade de Belém –Pará, nos anos de 1967 a 2016.

Decis	PRP(mm/dia)	Mann-Kendall	p-valor >0,05	Tendência
D10	1,80	-0,0269	0,0826	Negativa
D20	3,10	-0,0161	0,4293	Negativa
D30	4,6	0,0029	0,8895	tendência forte
D40	6,4	0,0013	0,9461	tendência forte
D50	9,0	0,0282	0,1798	Tendência fraca
D60	12,0	0,0138	0,4971	Tendência fraca
D70	16,0	-0,0073	0,7249	Negativa
D80	21,4	0,0249	0,2229	Tendência fraca
D90	31,6	-0,0068	0,9186	Negativa

Percentil	PRP(mm/dia)	Mann-Kendall	p-valor >0,05	Tendência
P91	33,1550	-0,0256	0,7119	Negativa
P92	35,0000	0,0149	0,8224	Tendência forte
P93	37,0000	-0,0264	0,6955	Negativa
P94	39,0000	0,1467	0,0266	Tendência fraca
P95	42,3000	0,0757	0,2613	Tendência fraca
P96	45,9800	-0,1257	0,0554	Negativa
P97	51,0850	0,0542	0,4077	Tendência fraca
P98	58,6700	0,0396	0,5482	Tendência moderada
P99	71,4950	-0,1061	0,1047	Negativa

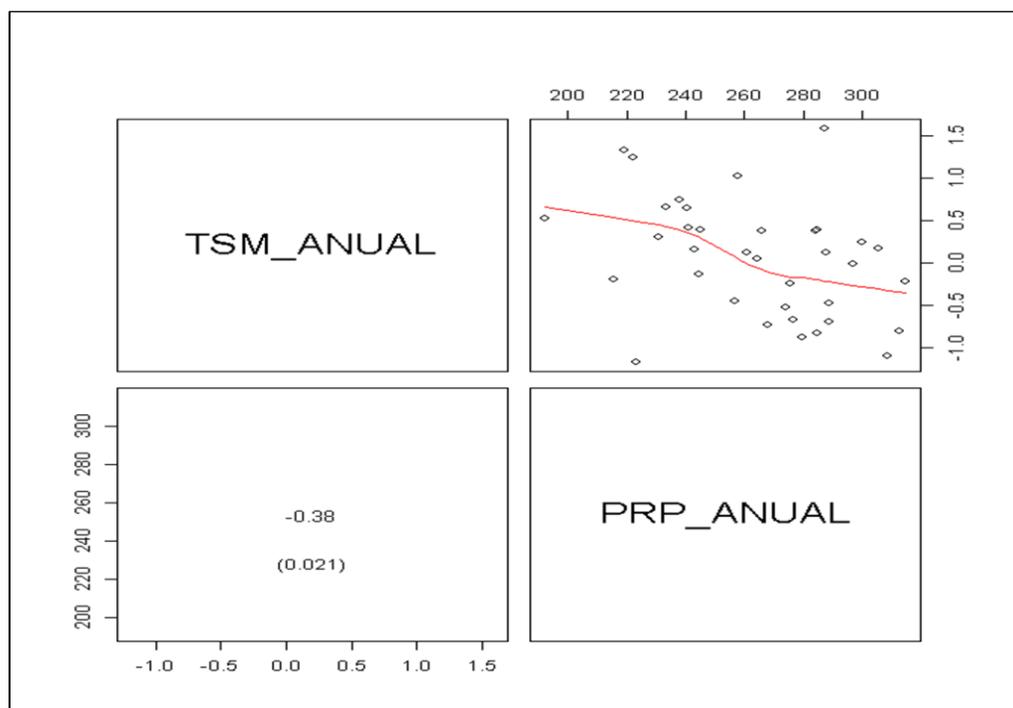


Figura 8 - Teste de correlação de Pearson entre a TSM do oceano pacífico e a PRP média mensal da cidade de Belém-Pará nos anos de 1982 a 2016. O valor da correlação foi negativa de -0,38 com número de Pearson de 0,021.

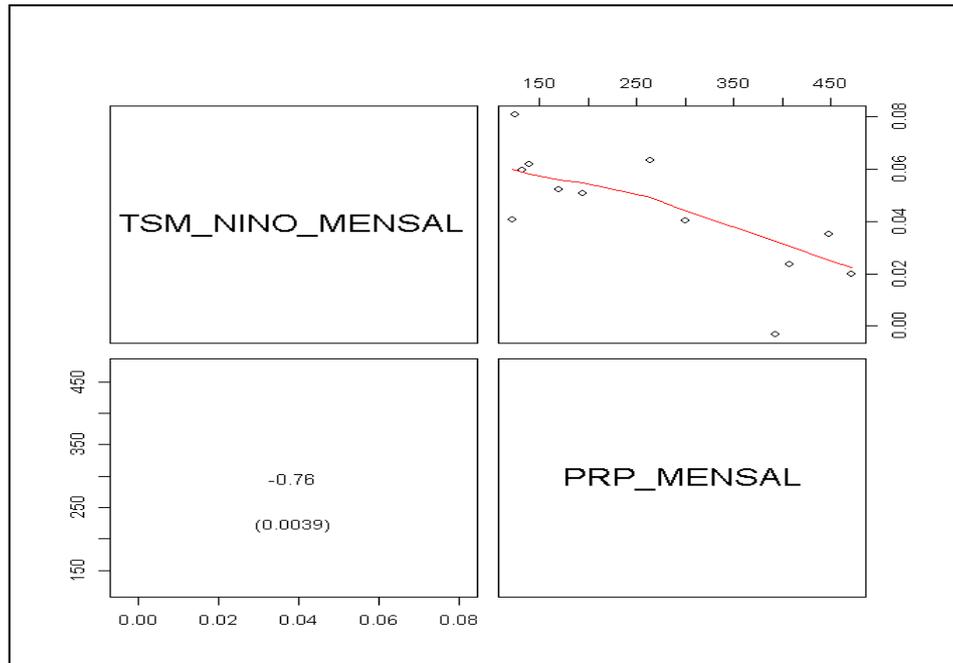


Figura 9 - Teste de correlação de Pearson entre a TSM do oceano pacífico e a PRP média mensal da cidade de Belém-Pará nos anos de 1982 a 2016. O valor da correlação foi negativa de -0,76 com número de Pearson de 0,0039.

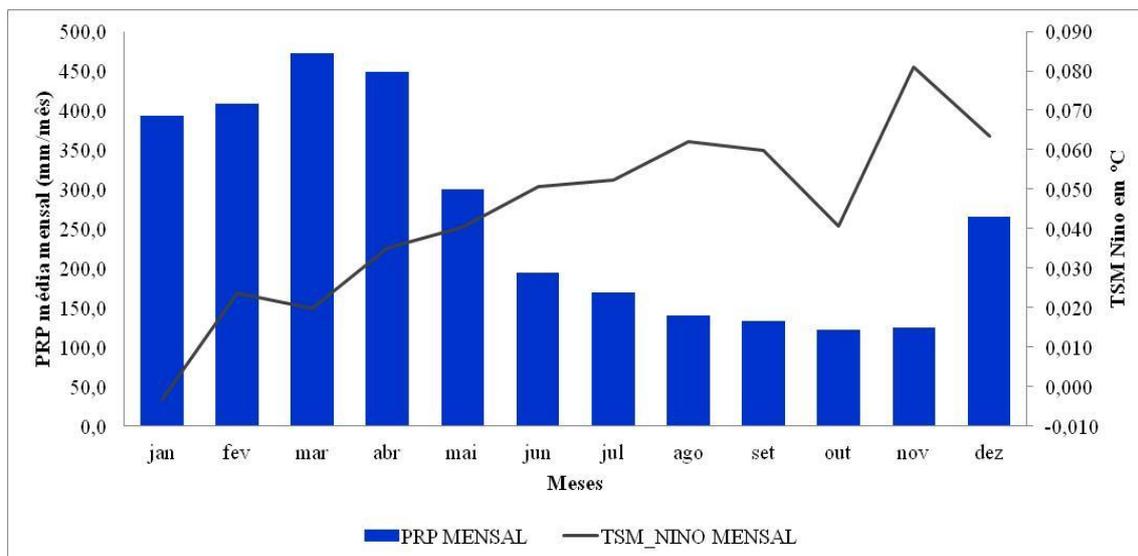


Figura 10 - Variação mensal da TSM do Pacífico versus a PRP mensal da cidade de Belém nos anos de 1982 a 2016. A barra azul representa média mensal da PRP (mm/mês) e a linha preta a TSM do Pacífico em °C.

Analisando a TSM do oceano foi constatado a seguinte configuração: o Dipolo do Atlântico apresentou frequência na fase positiva de 42%, enquanto que na fase negativa de 40% (Figura 11), a média anual na fase positiva com 27 ocorrências do total de 50 anos (Figura 12).

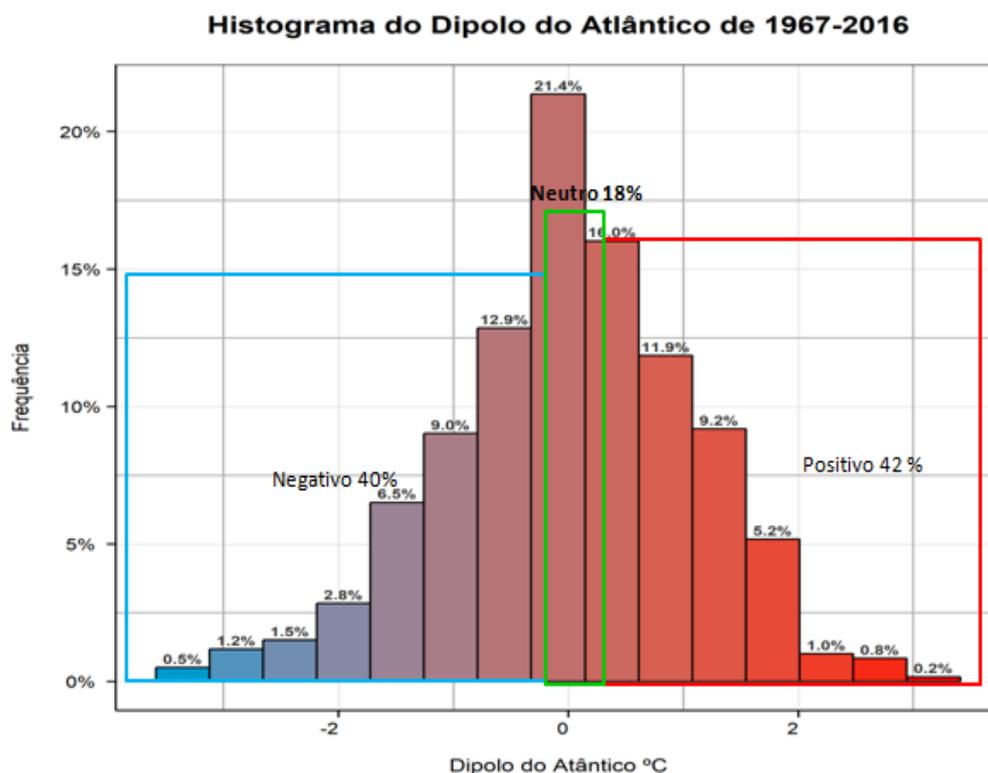


Figura 11 - Frequência do Dipolo do Atlântico dos anos de 1967 a 2016. As categorias foram definidas como: N (Neutro) $-0,2 \leq \text{Antsm} \leq 0,2$, DTPPFra: $0,2 < \text{Antsm} \leq 0,4$, DPPMod: $0,4 < \text{Antsm} \leq -0,6$, DNFFra: $-0,4 < \text{Antsm} \leq -0,2$, DNMod: $-0,6 < \text{Antsm} \leq -0,4$, DNFFor: $\text{Antsm} < -0,6$. Classes em °C.

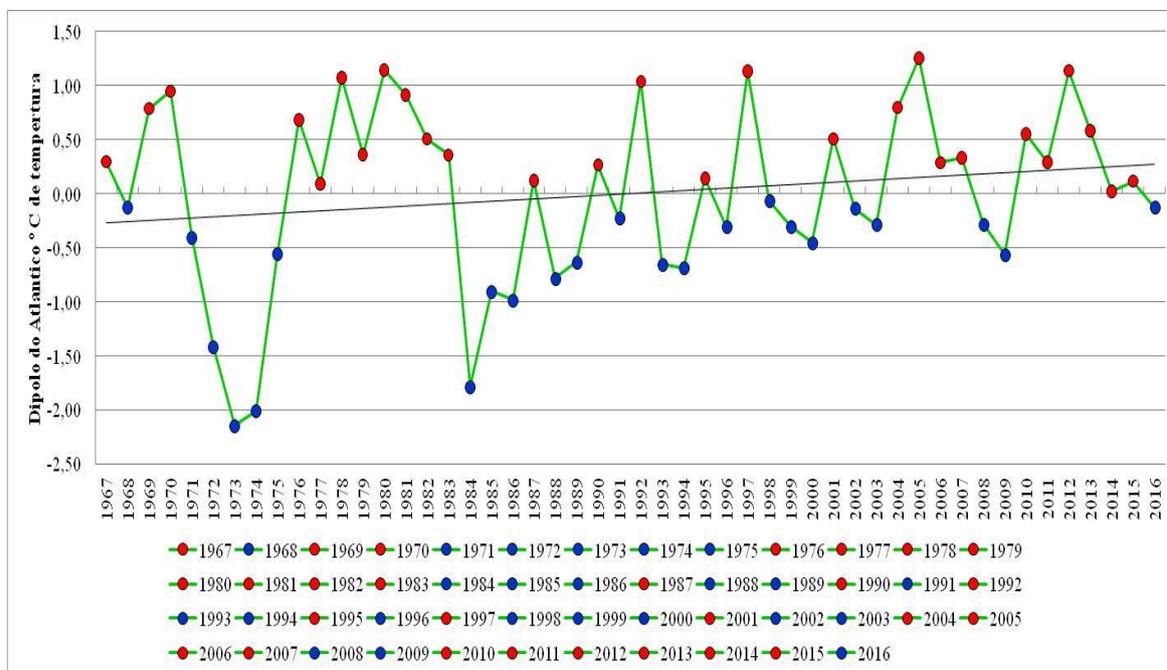


Figura 12 - Variação anual do Dipolo do Atlântico de 1967 a 2016. Os pontos vermelhos simbolizam valores de TSM mais quentes e na cor azul representam a TSM mais fria. A linha preta é a reta da tendência linear.



Não ocorreu correlação entre Dipolo do Atlântico e PRP anual (Figura 13), indicando não haver relação anual entre as o Dipolo e as chuvas em Belém. Porém na avaliação mensal, a correlação foi positiva (Figura 14), o valor do teste de Mann-Kendall de 0,11 e p-valor de 0,28, ou seja, há um aumento das chuvas em Belém-PA, no mesmo período da maior frequência TSM mais quente.

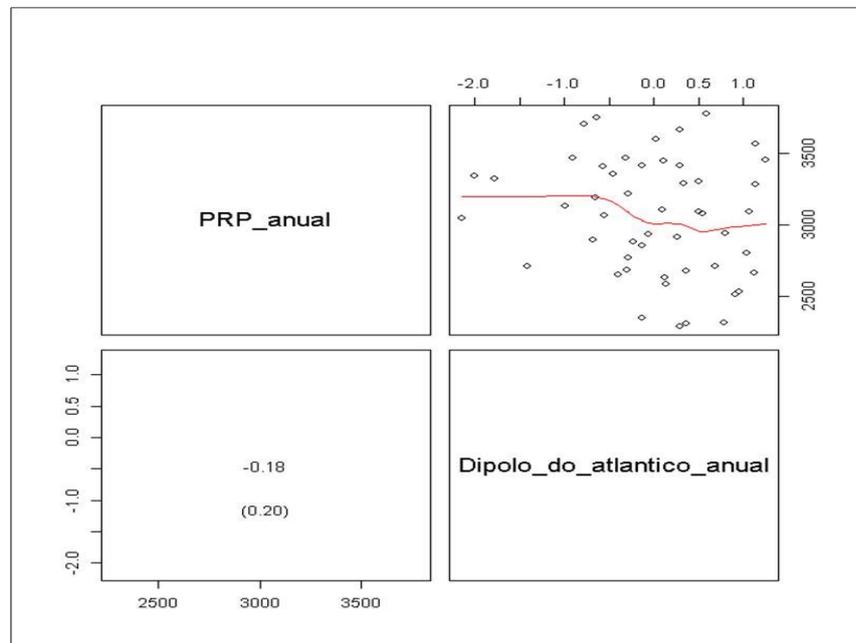


Figura 13 - Teste de correlação de Pearson entre Dipolo do Atlântico e a PRP anual da cidade de Belém-Pará nos anos de 1967 a 2016. O valor da correlação foi negativo de -0,18 com número de Pearson de 0,20.

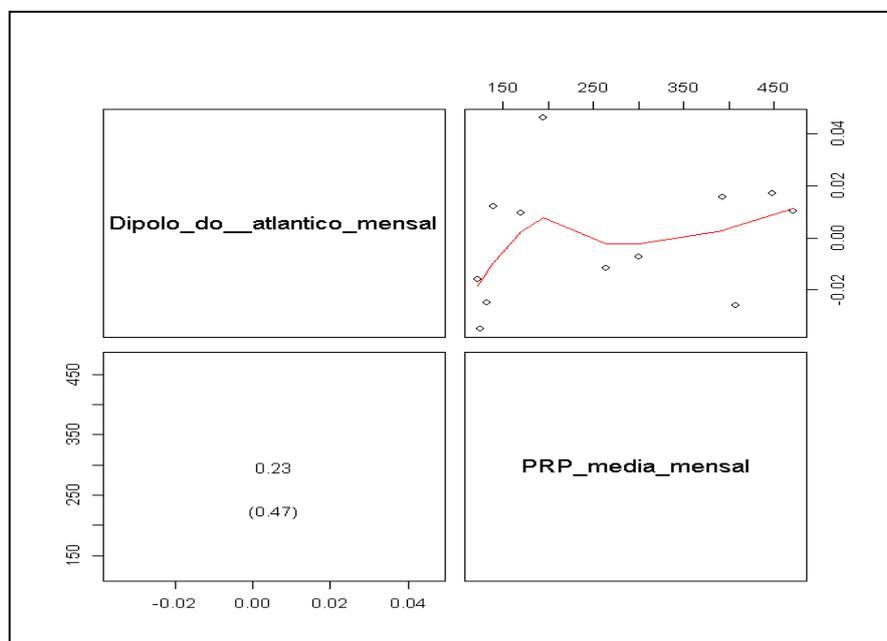


Figura 14 - Teste de correlação de Pearson entre Dipolo do Atlântico e a PRP média mensal da cidade de Belém-Pará nos anos de 1967 a 2016. O valor da correlação foi positivo de 0,23 com número de Pearson de 0,47.



Avaliando a variação mensal do Dipolo do Atlântico com a PRP mensal (Figura 15) dos anos de 1967 a 2016, a TSM foi mais quente no mês de junho, o qual indica o início da estação menos chuvosa na cidade, a mais fria no mês de novembro que se caracteriza pelo fim da estação menos chuvosa. Então a variação mensal do Dipolo do Atlântico com a PRP de Belém não é tão expressiva quanto a TSM do Pacífico para indicar a influência na variabilidade da PRP mensal, haja vista que quando o Dipolo do Atlântico é positivo/negativo a variabilidade da PRP pode ser alterada para menores/maiores volumes de chuva na região Amazônica.

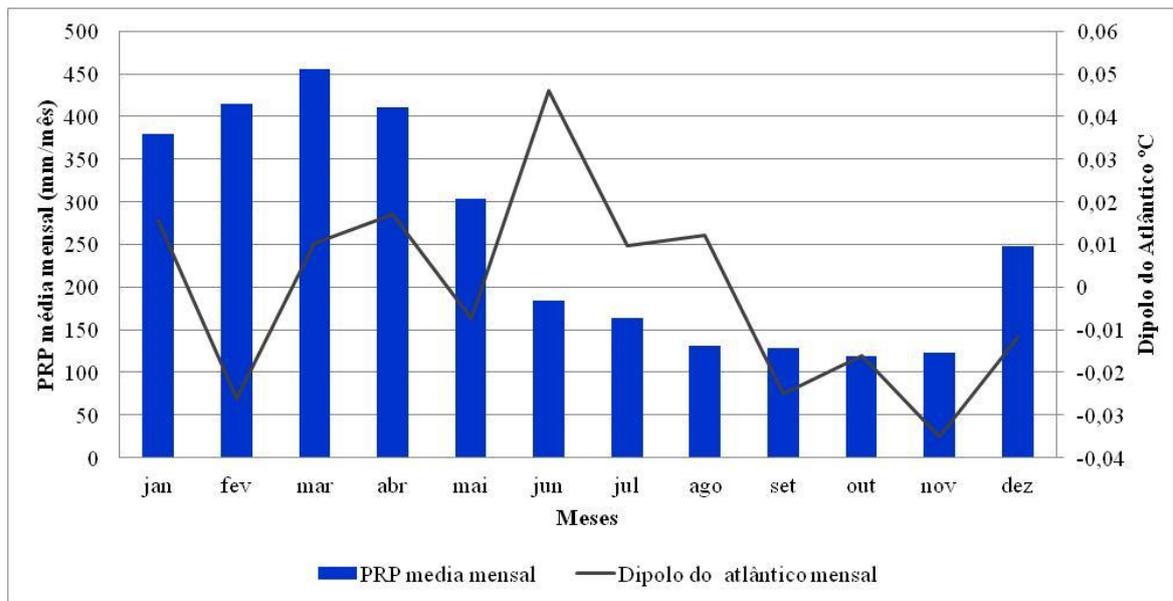


Figura 15 - Variação mensal do Dipolo do Atlântico versus a PRP mensal da cidade de Belém nos anos de 1968 a 2016. A barra azul representa variação média mensal da PRP (mm/mês) e a linha preta o Dipolo do Atlântico.

CONCLUSÃO

As chuvas da cidade de Belém-PA no período chuvoso, apresentam valores acima da média, o que representa que as ameaças naturais são mais previsíveis no primeiro semestre, sendo que na última década os meses de janeiro a maio estavam mais chuvosos.

A precipitação média da cidade são chuvas que se encontram entre 13,5 e 14,1 mm/dia, elas representaram 1% da amostra e houve tendência de aumento desses valores; os dias de precipitação na cidade são mais frequentes (61%), porém as chuvas com maiores registros (65% n° de dias com PRP) estavam abaixo da média, o desvio padrão apresentou baixo valor, indicando que a PRP diária é mais homogênea com a média.

Os decis representaram 90% do número de dias chuva com valores entre 1,8 a 31 mm/dia. Já utilizando os percentis notou-se que houve tendência dos eventos extremos, a esse fato se associou a maior frequência do fenômeno La Niña, além disso a TSM mensal do oceano pacífico apresentou valores mais frios de TSM no primeiro semestre, esta característica se configura maiores possibilidades de aumento de PRP, o que facilita também o aumento dos eventos extremos de chuva, sendo assim, a TSM do oceano pacífico mais frio poderá ser mais estudada para efeitos adversos das chuvas na cidade. O dipolo do atlântico não foi significativo na frequência, tão pouco na correlação com as chuvas.



Então o diagnóstico de 50 anos de precipitação na cidade de Belém-Pará, que possa auxiliar as autoridades competentes na redução de riscos a desastres é que: as ameaças naturais da cidade de Belém estão mais presentes no primeiro semestre devido à junção dos sistemas meteorológicos atuantes que determinam o clima local, as chuvas mensais foram acima da média no período chuvoso, a La Niña que atua no oceano pacífico, pode alterar a variabilidade das chuvas locais e assim servir de incremento nos eventos extremos de precipitação, haja vista que Belém-PA apresenta maior número de dias com chuvas. Ou seja, é sabido quando há maior volume pluviométrico na cidade de Belém-PA o que facilita para que as autoridades competentes adotem medidas que reduzam alagamentos e inundações.

REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, C. R.; SOUZA, E. P.; SILVA DIAS, M. A. F.; BIAZETO, B. Influência dos jatos de médios e baixos níveis nos processos de nuvem: Estudo numérico de uma linha de instabilidade Amazônica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 29, n. 1, p. 29-46, 2014. doi.org/10.1590/S0102-77862014000100004
- ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. Multi-scale variability of the sea surface temperature in the Tropical Atlantic, *Journal of Geophysical Research*, 109, C05009, 2005. doi.org/10.1029/2003JC002220
- ARAÚJO JÚNIOR, A. C. R. Fatores de risco a inundação na bacia hidrográfica da estrada nova Belém-PA. *Geografia*, v. 22, p. 57-78, 2013.
- CAMPOS, T. L. O. B.; MOTA, M. A. S.; SANTOS, S. R. Q. Eventos extremos de precipitação em Belém - PA: uma revisão de notícias históricas de jornais. *Revista Ambiente & Água*, v. 10, n. 1, p. 182-194. 2015.
- CANHOLI, A. P. Drenagem urbana e controle de enchentes. São Paulo - SP: Oficina de textos, 2015, 384p.
- CAVALCANTI, I. F. A. *Um estudo sobre interações entre sistemas de circulação de escala sinótica e circulações locais*. 1982. 133 f. Dissertação (Mestrado), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1982.
- CAVALCANTI, 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*, p. 25-27, 2009, p. 75-93.
- CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. Climatology of South American cold fronts. In: International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, 7, Wellington, New Zealand, 2003. *Proceedings ...* New Zealand: American Meteorological Society, 2003.
- COELHO, C. A. S.; DRUMOND, A. R. M.; AMBRIZZI, T. Estudo climatológico sazonal da precipitação sobre o Brasil em episódios extremos da Oscilação Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 14, n. 1, p. 49-65, 1999.
- COHEN, J. C. P.; FITZJARRALD, D. R.; OLIVEIRA, F. A. F.; SARAIVA, I.; BARBOSA, I. R. S.; GANDU, A. W. Radar observe spatial and temporal rainfall variability near the Tapajós Amazon confluence. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 29, p. 23-30, 2014. doi.org/10.1590/0102-778620130058
- COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE, A. N. Environmental conditions associated with amazonian squall lines: a case study. *Monthly Weather Review*, v. 123, p. 3163-3174, 1995.
- COHEN, J. C.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE, C. Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia. *Climanálise*, v. 4, n. 11, p. 34-40, 1989.



- ESPINOZA, J.; RONCHAIL, J.; FRAPPART, F.; LAVADO, W.; SANTINI, W.; GUYOT, J. The major floods in the Amazonas River and tributaries (western Amazon basin) during the 1970-2012 period: a focus on the 2012 flood. *Journal of Hydrometeorology*, v. 14, p. 1000-1008, 2013.
- FERREIRA, D. B. S.; DE SOUZA, E. B.; MORAES, B. C.; FILHO, L. G. M. Spatial and Temporal Variability of Rainfall in Eastern Amazon during the Rainy Season. *The Scientific Word Journal*, id 209783, p. 1-9, 2015.
- FIGUEROA, S. N.; NOBRE, C. A. Precipitation distribution over central and western Tropical South America. *Climanálise*, v. 5, p. 36-45, 1990.
- FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma Revisão Geral Sobre O Clima da Amazônia. *Acta Amazonica*, v. 28, n. 2, p. 101-126, 1998.
- GARSTANG, M.; MASSIE JR., H. L.; HALVERSON, J.; GRECO, S.; SCALA, J. Amazon Coastal Squall Lines. Part 1: Structure and Kinematics. *Monthly Weather Review*, v. 122, n. 4, p. 608-622, 1994.
- HENDON, H. H.; LIEBMANN, B. A Composite Study of Onset of the Australian Summer Monsoon. *Journal of the Atmospheric Sciences*, v. 47, p. 2227-2240, 1990.
- KAYANO, M. T.; MOURA, A. D. O El Niño de 1982-83 e a precipitação sobre a América do Sul. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 4, p. 201-214, 1986.
- KOUSKY, V. E.; KAGANO, M. T. A climatological study of the tropospheric circulation over the Amazon region. *Acta Amazonica*, v. 11, n. 4, p. 743-758, 1981.
- KOUSKY, V. E.; KAYANO, M. T.; CAVALCANTI, I. F. A. A review of the southern oscillation oceanic atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. *Tellus*, 36A, p. 490-504, 1984.
- LIEBMANN, B.; MARENGO, J. A. Interannual variability of the rainy season and rainfall in the Brazilian Amazon Basin. *Journal of Climate*, 14: 4308-4318. 2002.
- LOPES, M. N. G.; SOUZA, E. B.; FERREIRA, D. B. S. Climatologia regional da precipitação no estado do Pará. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 12, p. 84-102. 2013.
- MARENGO J. A. Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. *Int. J. Climatol.*, v. 12, p. 853-863, 1992.
- MARENGO J. A.; LIEBMANN, B.; KOUSKY, V.; FILIZOLA, N. S.; WAINER, I. On the onset and end of the rainy season in Brazilian Amazon basin. *Journal of Climate*, v. 14, p. 833-852, 2001.
- MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E.; LACERDA, F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. In: MEDEIROS, S. S.; GHEYI, H. R.; GALVÃO, C. O.; PAZ, V. P. S. (Orgs.) *Recursos Hídricos e Regiões Áridas e Semiáridas*. INSA, Campina Grande-PB, 2011a, p. 383- 416.
- MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; CHOU, S.; TOMASELLA, J.; SAMPAIO, G.; ALVES, L.; OBREGON, G.; SOARES, W.; BETTS, W.; KAY, G. *Riscos das mudanças climáticas no Brasil: análise conjunta Brasil-Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia*. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011b, 56p.
- MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; TOMASELLA, J.; OYAMA, M. D.; OLIVEIRA, G. S.; CAMARGO, H.; ALVES, L. M.; BROWN, I. F. The drought of Amazônia in 2005. *Journal of Climate*, v. 21, p. 495-516, 2008.
- 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, n. esp., p. 21-27, 2016.



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Cartilha de áreas de risco. São Paulo - SP: Centro de Apoio Operacional de Meio Ambiente e Urbanismo, 2017, 16p.

OLIVEIRA, M. C. F.; SOUZA JÚNIOR, J. A.; CRUZ, P. P. N.; SOUZA FILHO, J. D. Climatologia urbana da cidade de Belém-Pará, através das precipitações e temperaturas do ar, das normais climatológicas de 1941 a 1970, 1971 a 2000 e da normal provisória de 2001 a 2015. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 9, n. 3, p. 803-819, 2016.

PONTES, M.; LIMA, A. M. M.; SILVA JÚNIOR, J.; SADECK, C. Dinâmica das áreas de várzea do município de Belém/PA e a influência da precipitação pluviométrica na formação de pontos alagamentos. *Caderno de Geografia*, v. 27, n. 49, p. 285-303, 2017.

SANTOS, F. A. A.; ROCHA, E. J. P. Alagamento e inundação em áreas urbanas. Estudo de caso: cidade de Belém. *Revista GeoAmazônia*, v. 02, n. 2, p. 33 -55, 2013.

SANTOS, J. S.; 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. spe, p. 60-72, 2014. doi.org/10.1590/0102-778620130040

SANTOS, J. S.; ROCHA, E. J. P.; SOUZA JUNIOR, J. A.; SANTOS, J. S.; SANTOS, F. A. A. Climatologia da Amazônia Oriental: Uso de prognósticos climáticos como ferramenta de prevenção de ameaças naturais. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 12, n. 5, p. 1-19, 2019.

SANTOS, M. R. S.; VITORINO, M. I.; BRAGA, C. C.; SOUTO, J. I. O.; MOURA, M. N.; JÚNIOR, P. P. F. Padrões de precipitação mensal na mesorregião metropolitana de Belém: uso do CMORPH e componentes principais. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 9, n. 7, p. 2301-2311, 2016.

SNEYERS, R. On the use of statistical analysis for the objective determination of climatic change. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 1, p. 247-256, 1992.

SOUZA, E. P. P. *Relações entre as anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico e as precipitações na Amazônia Oriental*. 2003. 78 f. Dissertação (Mestrado), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.

SOUZA, E. B.; AMBRIZZI, T. ENSO impacts on the South American rainfall during 1980s: Hadley and Walker circulation. *Atmosfera*, v. 15, p. 105-120, 2002.

SOUZA, E. B.; FERREIRA, D.; GUIMARÃES, J.; FRANCO, V.; AZEVEDO, F.; MORAES, B.; DE SOUZA, P. Padrões climatológicos e tendências da precipitação nos regimes chuvoso e seco da Amazônia oriental. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 21, p. 81-93, 2017.

SOUZA, E. B.; KAYANO, M. T.; TOTA, J.; PEZZI, L. P.; FISCH, G.; NOBRE, C. A. On the influences of the El Niño, La Niña and Atlantic dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998. *Acta Amazonica*, v. 30, n. 2, p. 305-318, 2000.

SOUZA, E. B.; ROCHA, E. J. P. Diurnal variation of rainfall in eastern Amazonia during rainy season: mean characteristics and extreme events. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 21, p. 142-152, 2006.

SPIEGEL, M. R. *Estatística: resumo da teoria, 875 problemas resolvidos, 619 problemas propostos*. São Paulo - SP: McGraw-Hill do Brasil (Coleção Schaum), 1977, 580p.

WALISER, E. W. C.; GAUTIER, C. A. Satellite-derived Climatology of the ITCZ. *Journal of Climate*, 6. p. 2162-2174, 1993.

WHITE, G. F.; KATES, R. W.; BURTON, I. Knowing better and losing even more: the use of knowledge in hazards management. *Environmental Hazards*, v. 3, n. 3-4, p. 81-92, 2001. doi.org/10.1016/S1464-2867(01)00021-3

WILLIAMS, E.; RENNO, N. O. An Analysis of the conditional instability of the Tropical atmosphere. *Monthly Weather Review*, v. 121, n. 1, p. 21-36, 1993.



XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F. S.; ALVES, J. M. B. *Quantis e eventos extremos: aplicações em ciências da terra e ambientais*. Fortaleza: RDS Livros Técnicos, 2007, 278p.

Bases digitais consultadas

CPC/NOAA. Climate Prediction Center, National Oceanic and Atmospheric Administration. 2018. *Cold & Warm Episodes by Season*. Climate Prediction Center Internet Team. Disponível em www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.

CRED. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. *Publications*. 2014. Disponível em www.cred.be/publications.

FUNCEME. *Campos de TSM e Vento no Atlântico Tropical*. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. 2018. Disponível em www.funceme.br/?page_id=2723.

INMET. *Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa*. Instituto Nacional de Meteorologia. 2018. Disponível em www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep.

NOAA. *Climate Indices: Monthly Atmospheric and Ocean Time Series*. National Oceanic and Atmospheric Administration. 2018. Disponível em www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/.



A GEOTECNOLOGIA COMO FERRAMENTA PARA O PROGNÓSTICO DE RISCO SOCIOAMBIENTAL: um estudo aplicado a microrregião de Marabá/PA

*Marcos Ronielly da Silva Santos¹, Davi Rodrigues Rabelo², Daniele Frascareli³ e
Douglas Bitencourt Vidal⁴*

Resumo:

Os eventos extremos, seja por causas naturais ou tecnológicas, têm colocado populações em risco e ocasionando diversas perdas sociais, culturais e econômicas em um panorama mundial. A identificação prévia de desastres ambientais utilizando geotecnologias, em especial o sensoriamento remoto, é considerado uma poderosa ferramenta para mapear a vulnerabilidade socioambiental e contribuir no estabelecimento de zonas de risco. O Brasil, apesar de mostrar um engajamento na adoção de estratégias locais para redução de desastres naturais, ainda apresenta graves deficiências, sejam elas no monitoramento, mapeamento ou mesmo nos alertas às populações. Sendo assim, o objetivo central deste artigo é apresentar um arcabouço teórico e prático sobre a importância das geotecnologias para minimizar os riscos e desastres naturais, bem como, analisar a aplicação do sensoriamento remoto como instrumento da distribuição de chuva para uma microrregião do sudeste paraense, possibilitando a gestão municipal local com redução dos riscos e desastres socioambientais associados à condição climática. O trabalho apresentou as variações pluviométricas de períodos distintos (muito a pouco chuvoso) na microrregião de Marabá, mostrando-se áreas passíveis de inundação, o que ocasiona, também, áreas de riscos. Portanto, o incremento dessas ferramentas é de suma importância para o entendimento da dinâmica causadora de riscos nessas áreas, as cidades mal estruturadas e pouco planejadas ficam passíveis de vulnerabilidade socioambiental, principalmente quando encontradas em zonas ribeirinhas.

Palavras-chaves: Sensoriamento remoto, risco ambiental, sudeste paraense.

¹Universidade Federal do Pará, marcos.santos@ig.ufpa.br. ²Universidade Estadual do Ceará, dv_rr@hotmail.com. ³Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", dani.frascareli@hotmail.com. ⁴Universidade Federal da Bahia, bitencourt_douglas@hotmail.com.



INTRODUÇÃO

Introdução a desastres e riscos

Sánchez (2020) traz uma reflexão a respeito do conceito “ambiente”, neste o autor pontua que o termo tem caráter múltiplo e permite diversas interpretações, bem como, se reflete em uma variedade de termos correlatos que são oriundos de distintas disciplinas e cunhados em diversos momentos históricos. Sucintamente, o autor complementa que o termo “ambiente” pode ser considerado como o meio de onde a sociedade extrai os recursos que são essenciais e demandados para a sobrevivência básica e pelos processos atrelados ao desenvolvimento socioeconômico, mas que é também o meio de vida, cuja integridade depende da manutenção de funções básicas essenciais à vida.

Sendo assim, emerge o conceito de recurso ambiental e intrínseco a este termo, está uma concepção de que a natureza é, portanto, provedora de bens. Diante disso, vemos nos dias atuais uma sobre-exploração destes recursos naturais, fazendo com que a integridade e continuidade dos serviços ambientais sejam afetados. Indo mais além, a degradação ambiental, crescimento desordenado, mudanças climáticas e os eventos climáticos cada vez mais extremos têm aumentado os riscos associados a desastres ambientais naturais.

Os riscos podem ser classificados como tecnológico e naturais, sendo o primeiro relacionado as atividades econômicas, como, potencial de acidentes industriais, potencial de transporte de substâncias perigosas, entre outros. Enquanto os riscos naturais são provenientes de acontecimentos do funcionamento dos sistemas naturais, por exemplo, terremotos, inundações e movimentos de massa (DE FREITAS, 2013). Vale ressaltar que, com o aumento de eventos climáticos extremos (chuvas intensas, tornados, estiagens, entre outros), os riscos à desastres ambientais são maiores, e medidas para preparar, prevenir e/ou reduzir seus efeitos são ações de extrema importância na sociedade atual.

De acordo com o relatório “Atlas de Mortalidade e Perdas Econômicas de Extremos de Tempo, Clima e Água”, preparado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e o Escritório das Nações Unidas para a Redução do Risco de Desastres (UNDRR), dentre o período de 1970 a 2019, os desastres naturais equivalem a 50% de todos os desastres, ainda, os desastres naturais são responsáveis por 45% de todas as mortes e 74% de perdas econômicas no mesmo período.

Não obstante, a Agenda 2030 recomenda a adoção por governantes a implantação de estratégias para redução de desastres naturais (Objetivo do Desenvolvimento Sustentável-13). Em 2017, os estados brasileiros mostraram engajamento na meta e indicaram proporções extremamente satisfatórias na adoção e implementação dessas estratégias locais de redução de riscos de desastres. O Distrito Federal apresentou 100% de adoção e implementação, seguido por Espírito Santo (93,6%), Rio De Janeiro (88,0%), Amazonas (66,1%), Santa Catarina (58,3%), Paraná (54,9%) e os outros estados com valores inferiores a 50% (ODS BRASIL, 2022).

Na perspectiva de identificação prévia de desastres ambientais e riscos, emerge o conceito de Geotecnologias, em especial, o Sistema de Informação Geográfica (SIG), que é uma poderosa ferramenta para modelar riscos tecnológicos e naturais e mapear a vulnerabilidade socioambiental, assim, contribuindo para estabelecer zonas de risco que engloba mapas de periculosidade, exposição e vulnerabilidade. Além disso, Scoti e Menezes (2014) reforçam a acessibilidade, facilidade e gratuidade do SIG como uma ferramenta indispensável e essencial no mapeamento e identificação de áreas de risco.

Sendo assim, o gerenciamento e análise de riscos com o auxílio das Geotecnologias, têm sido muito utilizados por gestores de políticas públicas (DA SILVA COSTA, 2022). Além disso, o aprimoramento dessas ferramentas foi reforçado com um tom muito otimista e positivo no relatório da OMM e UNDRR, como uma solução para prevenção de desastres naturais, suas mortes e perdas econômicas associadas. Por assim ser, o presente trabalho buscou apresentar um arcabouço teórico sobre a importância das geotecnologias para



minimizar os riscos e desastres naturais, bem como, analisar a aplicação do sensoriamento remoto como instrumento da distribuição de chuva para uma microrregião do sudeste paraense, possibilitando a gestão municipal com redução dos riscos e desastres socioambientais associados à condição climática.

Panorama dos desastres ambientais pelo mundo

Nos últimos anos, o termo risco socioambiental e/ou desastre ambiental vem sendo estudado mais intensamente justamente pela frequência nas quais estão acontecendo, evidenciando fatores climáticos do atual período que estamos passando - os eventos extremos. De acordo com o Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) Emergency Events Database (EM-DAT) (CRED EM-DAT, 2021), de 1970 a 2019 houve 22.326 desastres registrados que resultaram em 4.607.671 mortes e US\$ 4,92 trilhões em perdas econômicas, dos quais 62% de todos esses desastres, 80% de todas as mortes e quase todas (99%) as perdas econômicas foram associadas a desastres naturais (Figura 1).

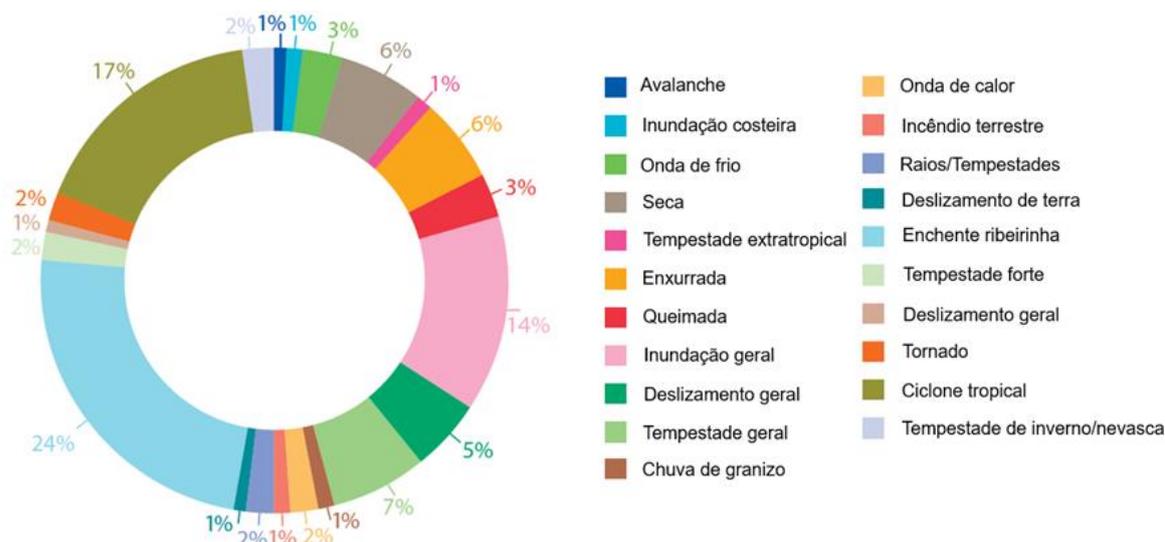


Figura 1 - Número de desastres relatados por tipo de perigo.
 Fonte: Adaptado de World Meteorological Organization (WMO, 2021b)

Como mencionado anteriormente, os riscos relacionados ao tempo, clima e hidrologia representaram 50% de todos os desastres com números que chegam a 2,06 milhões mortes e US\$ 3,6 trilhões em perdas econômicas. Por esses dados, ocorreu em média um desastre por dia ao longo dos últimos 50 anos, matando 115 pessoas e causando US\$ 202 milhões em perdas diárias.

A Agenda 2030 das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável orienta os países a aumentar seu poder de resposta, fortalecendo os processos de redução de riscos. Documentar o impacto de desastres naturais em comunidades e sociedades requer dados detalhando os custos humanos e econômicos e os eventos de desastres associados a eles. A qualidade das informações depende de como os eventos climáticos severos são atribuídos aos fenômenos físicos registrados em bancos de dados nacionais. Agregados nos níveis regional e global, esses registros apoiam uma ampla gama de iniciativas e



medidas de pesquisa, desenvolvimento e prevenção de desastres em todos os níveis (WMO, 2021b).

Nos Estados Unidos, muitos estudos fazem o monitoramento dos desastres ambientais (GUHA-SAPIR et al, 2016; SAMHSA, 2018). No globo, o monitoramento das áreas de risco e desastres ambientais têm sido praticados através sensoriamento remoto usando plataformas tradicionais como satélites e aeronaves tripuladas (VOIGT et al, 2016) em relação ao uso de drones aéreos pequenos, que são tecnologias mais recentes.

Os estudos envolvendo as geotecnologias auxiliam na identificação dos riscos, principalmente de: deslizamentos de terra e outros movimentos de massa; inundações; terremotos; vulcões; e incêndios florestais (BRAVO; LEIRAS, 2015; GOMEZ; PURDIE, 2016; GIORDAN et al, 2018, ANTOINE et al, 2020). Esses trabalhos fornecem informações sobre plataformas de drones, tipos de sensores, regulamentos do espaço aéreo, aquisição de dados, processamento de dados, análise de dados, limitações, vantagens e desafios (GOMEZ; PURDIE, 2016; GIORDAN et al, 2018; GIORDAN et al, 2020; ANTOINE et al, 2020).

Desastres provocados por condições meteorológicas e climáticas extremas estão causando danos e destruição ao meio ambiente e às sociedades em todo o mundo. O prejuízo econômico e financeiro é tão expressivo que ultrapassa os orçamentos de países inteiros e afeta diretamente as estratégias de desenvolvimento sustentável, de modo que a adaptação se tornou uma nova disciplina na busca meticulosa de alternativas para apoiar ações de sustentabilidade em comunidades e sociedades globais. A adaptação depende da fusão entre ciência e tecnologia para gerar resiliência a desastres.

A gestão do ambiente terrestre é baseada no monitoramento meteorológica e climática suportada por sensoriamento remoto de satélites com base em plataformas espaciais e têm sido utilizadas para uma variedade de observações ambientais e climáticas a fim de apoiar e promover a sustentabilidade em geral (MARENGO; SCARANO, 2016).

A inovação tecnológica é um desafio para a Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) dada a necessidade de adaptação às condições de tempo e clima extremas. O planejamento e o desenvolvimento geralmente dependem da disponibilidade de sistemas integrados de tecnologia espacial, terrestre e marinha e plataformas compartilhadas entre pesquisa científica e o apoio abrangente para prevenção, resposta e mitigação de desastres.

Tecnologias de observações climáticas

O Quarto Relatório Científico do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2021), traz evidências contundentes sobre as mudanças climáticas na Terra. O Brasil, por exemplo, é um país continental que já passou por mudanças climáticas, incluindo o aumento das temperaturas.

Conscientes desse desafio, diversos países têm investido no desenvolvimento progressivo de sistemas de monitoramento para entender as dimensões e a natureza das mudanças climáticas e dar subsídio a ações de prevenção e adaptação.

A série de satélites europeus METEOSAT, desde 1977, foi responsável pelo lançamento de onze satélites geoestacionários. Os serviços e dados desta série de satélite têm como foco principal a ênfase no suporte a previsão do tempo, porém esses dados também podem ser utilizados em outras áreas do conhecimento, como na agricultura (EMBRAPA, 2020).

A primeira geração do METEOSAT, composta pelos primeiros sete satélites, tem sido significativa para a promoção e divulgação da pesquisa de previsão do tempo por mais de



30 anos. À medida que a ciência meteorológica avançou, foi necessário fornecer à sociedade dados com maior frequência e melhor precisão. Por esse motivo, em 2002, a *European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites* (EUMETSAT) e a Agência Espacial Européia (ESA) deu início ao lançamento da segunda geração de satélites, agora com novas tecnologias, dentre elas, o radiômetro GERB, instrumentos de comunicação como o GEOS&R (*Geostationary Search and Rescue*), a plataforma de armazenamento de dados DCS (*Data Collection System*) e o sensor SEVIRI (*Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager*) (EMBRAPA, 2020; RÜTHRICH et al, 2019).

A ESA e a EUMETSAT deram início às atividades de planejamento, formulação e definição do Sistema Geoestacionário Meteosat de terceira geração (MTG), assegurando a continuidade do Sistema Meteosat de segunda geração com melhorias (EMBRAPA, 2020; LEONTIEV et al, 2020).

Segundo a *World Meteorological Organization* (WMO, 2021a), o sistema MTG foi idealizado com inovações tecnológicas atender às principais necessidades técnicas dos usuários, incluindo: Modelamento em tempo real; Previsão do tempo de curto prazo; Predição numérica de tempo de curto e médio prazos a nível regional e global; Monitoramento do clima e da composição atmosférica.

Outro programa de observação, realizado por uma nova geração de satélites meteorológicos geoestacionários, visa monitorar a atmosfera, as nuvens e suas propriedades na baixa estratosfera e na alta troposfera a cada 15 minutos, assim, o comportamento dos tipos de nuvens que se transformam em tempestades e fenômenos atmosféricos associados a raios pode ser medido. Os satélites medem os gradientes de temperatura ao longo do tempo, para que o crescimento das nuvens possa ser estimado. Ao monitorar todos esses aspectos do crescimento de nuvens a partir da formação de cumulus, pode-se prever facilmente as condições meteorológicas das nuvens e a sequência de eventos semelhantes a tempestades com 30 a 90 minutos de antecedência (ALVES BARBOSA, 2015a).

É esse recurso de alerta precoce que precisa ser integrado a um sistema comum de alerta de eventos extremos para evitar os riscos associados a tempestades tropicais, tufões e furacões com raios. Portanto, os dados de satélite geoestacionário podem fornecer uma vantagem significativa no alerta antecipado de condições climáticas perigosas, prevendo alertas antes dos sistemas de radar tradicionais (ALVES BARBOSA, 2015b).

Experiências brasileiras em monitoramento e prevenção de desastres

Muitos países investiram no desenvolvimento e aprimoramento contínuo de sistemas de monitoramento e observação de impactos relacionados à desastres para aumentar a compreensão da dimensão e natureza das mudanças climáticas e apoiar ações de prevenção e adaptação. Embora o monitoramento já exista no Brasil, há necessidade de ampliar o monitoramento, principalmente no que diz respeito ao fornecimento de informações sobre os impactos socioambientais das mudanças climáticas, que são particularmente relevantes para o planejamento da adaptação e a tomada de decisões.

O Brasil vem investindo em sistemas de observação e monitoramento para auxiliar na avaliação do comportamento das variáveis atmosféricas em função das mudanças climáticas. Embora já exista uma rede observacional, esse esforço precisa ser ampliado, principalmente no fornecimento de informações sobre os impactos socioambientais das mudanças climáticas, que são especialmente importantes para o planejamento e a tomada de decisões de adaptação a situações extremas (CGEE, 2013).



O desenvolvimento do sistema brasileiro de monitoramento de desastres faz parte dos objetivos prioritários do Programa 2050: Mudança Climática do Plano Plurianual – PPA, estando de acordo com diretrizes da Política Nacional sobre Mudança do Clima, Lei 12.187/2009, que prevê a redução de os efeitos adversos das mudanças climáticas e ambientais, vulnerabilidade dos sistemas sociais e econômicos, como também a promoção e o desenvolvimento de pesquisas científicas e tecnológicas; e, disseminação de tecnologias, processos e práticas visando à identificação de vulnerabilidades e adoção de medidas adequadas de adaptação (MAPA, 2020).

Para apoiar o desenvolvimento de um sistema no Brasil de observação e monitoramento e prevenção de desastres, o Serviço Geológico do Brasil disponibiliza um mapa online que permite visualizar regiões em áreas de risco (CPRM, 2022). O projeto classifica as áreas com baixa, média e alta suscetibilidade a catástrofes. O mapa online de prevenção de desastres pode ser utilizado para orientar o desenvolvimento urbano de forma segura e adequada, evitando acidentes com vítimas, bem como perdas e danos sociais, econômicos e de infraestrutura. O próprio CPRM também disponibiliza o serviço de cadastramento de desastres, através do SCDI - Sistema de Cadastro de Deslizamentos e Inundações, no qual qualquer cidadão pode informar sobre esse tipo de desastre (CPRM, 2022).

MATERIAL E MÉTODO

Área de estudo

A microrregião de Marabá está inserida na mesorregião do sudeste paraense, e é formada por 5 (cinco) municípios (Figura 1): Brejo Grande do Araguaia, Marabá, Palestina do Pará, São Domingos do Araguaia e São João do Araguaia. Essa região apresenta um dos maiores adensamentos populacionais e urbano do sudeste paraense, com população estimada em de 343 mil habitantes, densidade demográfica de 18,34 hab/km² e um território tem 18.680,79 Km² (IBGE, 2022). O clima local é equatorial úmido, com acumulados de precipitação anual entre 1.300 e 1.800 mm, com médias anuais de temperatura em torno de 21 °C a 35 °C. A precipitação local, é caracterizada por dois períodos: o chuvoso, que compreende os meses de novembro a maio, com acumulados mensais de até 350mm durante março, e o período menos chuvoso que compreende os meses de junho a setembro, com acumulados mensais de até 6 mm em agosto (MORAES et al, 2005; AMANAJÁS; BRAGA, 2012).

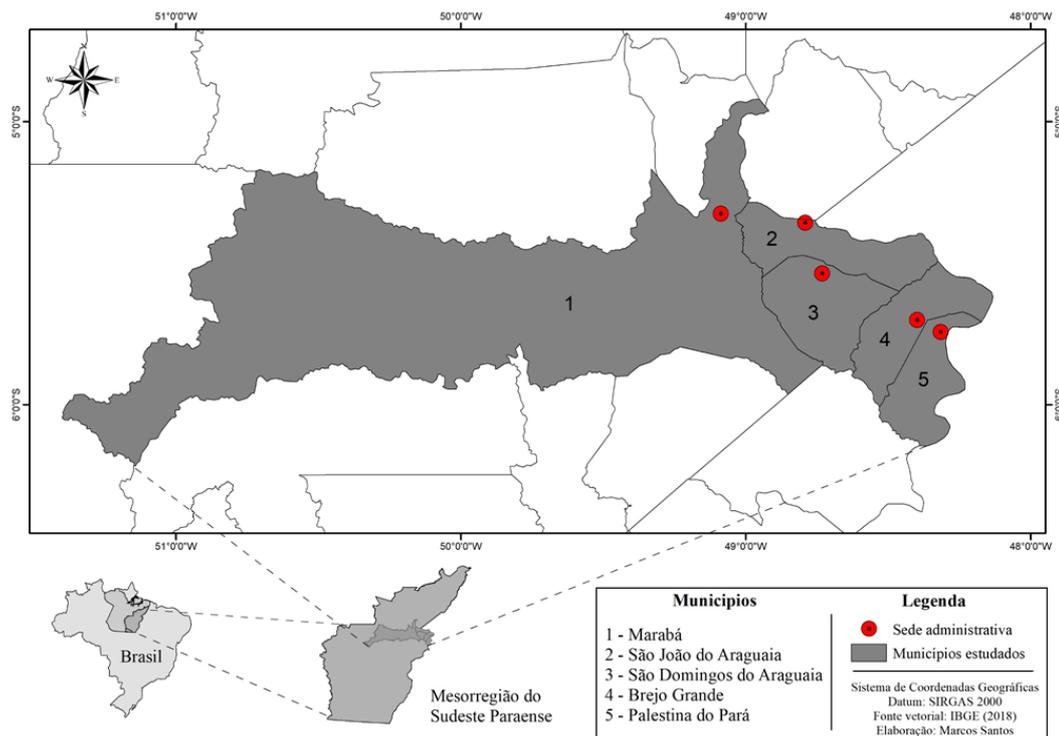


Figura 1 - Mapa de localização da Microrregião de Marabá.

Dados, coleta e metodologia

Os dados utilizados no estudo de caso deste trabalho são provenientes de uma metodologia de estimativa de precipitação por geotecnologia, dados disponibilizados pelo *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations* (CHIRPS). O CHIRPS é uma técnica de sensoriamento remoto criada pelo *Earth Resources Observation and Science* (EROS) da *United States Geological Survey* (USGS), que fornece dados de precipitação a nível global por meio de observações de satélites, estações e pluviômetros fornecendo um conjunto de dados refinados, confiáveis e atualizados, no que tange a variabilidade das chuvas no espaço-tempo (COSTA et al, 2019; PACA et al, 2020)

A coleta dos dados foi feita sob os formatos⁵ Esri Bil, GeoTiff e NetCDF. Os dados obtidos do CHIRPS, foram de resolução em grad espacial de 5 por 5 Km e temporal a cada 1H. As séries temporais de precipitação foram analisadas pela climatologia mensal entre janeiro de 1981 e dezembro de 2020, compreendendo um período de 40 (quarenta) anos de estudo. Comparou-se os dados de sensoriamento remoto com as séries temporais das estações meteorológicas superficiais, que estão presentes na área de estudo, obtidas do Instituto Brasileiro de Meteorologia durante o período estudado, ratificando a técnica presente como ferramenta eficaz para estudos de riscos e desastres ambientais.

A metodologia aplicada no desenvolvimento desta pesquisa, pode ser subdividida em 3 etapas básicas. A primeira deu-se a partir de informações de um levantamento bibliográfico que verificou o atual estado da arte, no que tange aos temas de risco e desastres ambientais e experiências nacionais e internacionais, a fim de relacioná-los teoricamente com a aplicação das geotecnologias para sua minimização. Durante a segunda etapa realizou-se a escolha da área de estudo de caso, com base nos altos números de casos de enxurradas e inundações apontadas pelo Atlas Brasileiro desastres naturais (CEPED, 2013). Após a escolha da área de interesse, utilizou-se códigos de programação em linguagem R, por meio da plataforma do Google Engine para a geração

⁵ <ftp://ftp.chg.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRPS-2.0/>



dos mapas climatológicos, depois foram exportados em formato TIFF e trabalhados em software de geoprocessamento (QGIS 2.18.24).

A terceira etapa, consistiu na análise de precipitação em escala mensal (climatologia) a fim de proporcionar a utilização de dados da variabilidade espaço e temporal da chuva por meio de geotecnologia como ferramenta para a prevenção de risco e desastres socioambientais. A figura 2 exemplifica o modelo metodológico da pesquisa.

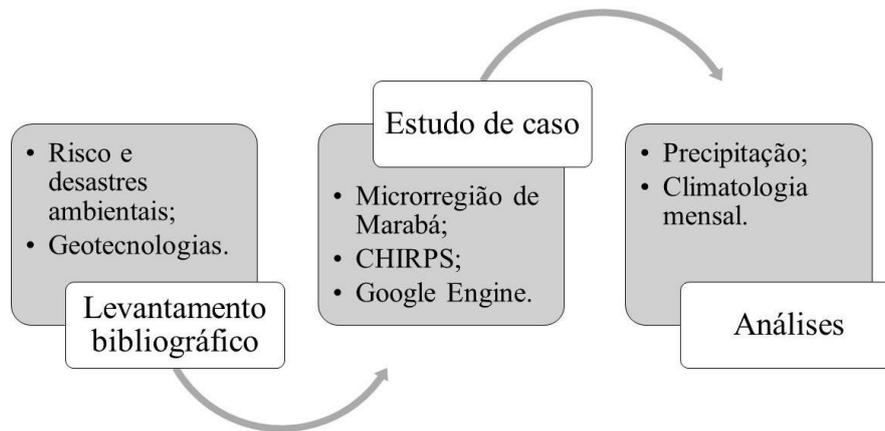


Figura 2 - Esquema metodológico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os valores climatológicos da precipitação mensal para os 40 anos de investigação, delimitados em duas estações: estação chuvosa e estação menos chuvosa, corroborados pela literatura de Moraes et al (2005) e Amanájas e Braga (2012), na distribuição da precipitação para o Estado do Pará. Os acumulados mensais mostraram-se correlatas aos valores de precipitação das estações de chuva e da sazonalidade regional. Os resultados serão apresentados e discutidos elucidando os valores mínimos e máximos da chuva para os municípios, com foco a contribuir para o conhecimento desses dados minimizando os desastres e riscos provocados pela escassez ou redução da chuva.

A Figura 3 mostra a variabilidade da chuva durante o período chuvoso para a microrregião de Marabá, com acumulados mínimos de 68 mm e 0 mm, durante os meses de março e abril, respectivamente. Os menores acumulados durante este período estão concentrados a norte dos municípios de São João do Araguaia, São Domingos do Araguaia, Brejo Grande e Palestina do Pará. Os acumulados máximos ficaram entre os valores de 535mm e 321mm, encontrados durante os meses de dezembro e janeiro, respectivamente (Figura 3). Os maiores quantitativos para esse período foram verificados de forma heterogênea ao longo do município de Marabá e norte do município de São João do Araguaia. Para Da Silva et al (2015) muitas atividades de inundação estão associadas aos altos índices de chuvas e as formas inapropriadas de uso e ocupação da terra.

O período das chuvas inicia-se em novembro (316 mm) e se estende até abril (66mm) a variabilidade dos acumulados variaram entre o máximo de 535mm em dezembro, mês mais chuvoso e, registraram 0mm em abril, mês menos chuvoso do período. Essa grande variabilidade de chuva em pequeno espaço de tempo pode causar diversos tipos de transtornos nas cidades da microrregião de Marabá, para Souza et al (2012) a intensidade de chuva para no intervalo de tempo de 15 min pode chegar em até 114,9mm h em Marabá. A velocidade e quantidade pluviométrica sobre essa área podem sobrecarregar o solo, fazendo com que áreas de vazantes ocorram inundações sazonais. É um típico fenômeno que acontece nas regiões tropicais e que as cidades não estão nem preparadas nem



planejadas para isso. Diante disso, esses fatos favorecem a diversas áreas de vulnerabilidade ambiental nas cidades da microrregião de Marabá, no qual o risco a inundação, a partir de grande volume precipitado, é evidente nas populações próximas aos mananciais.

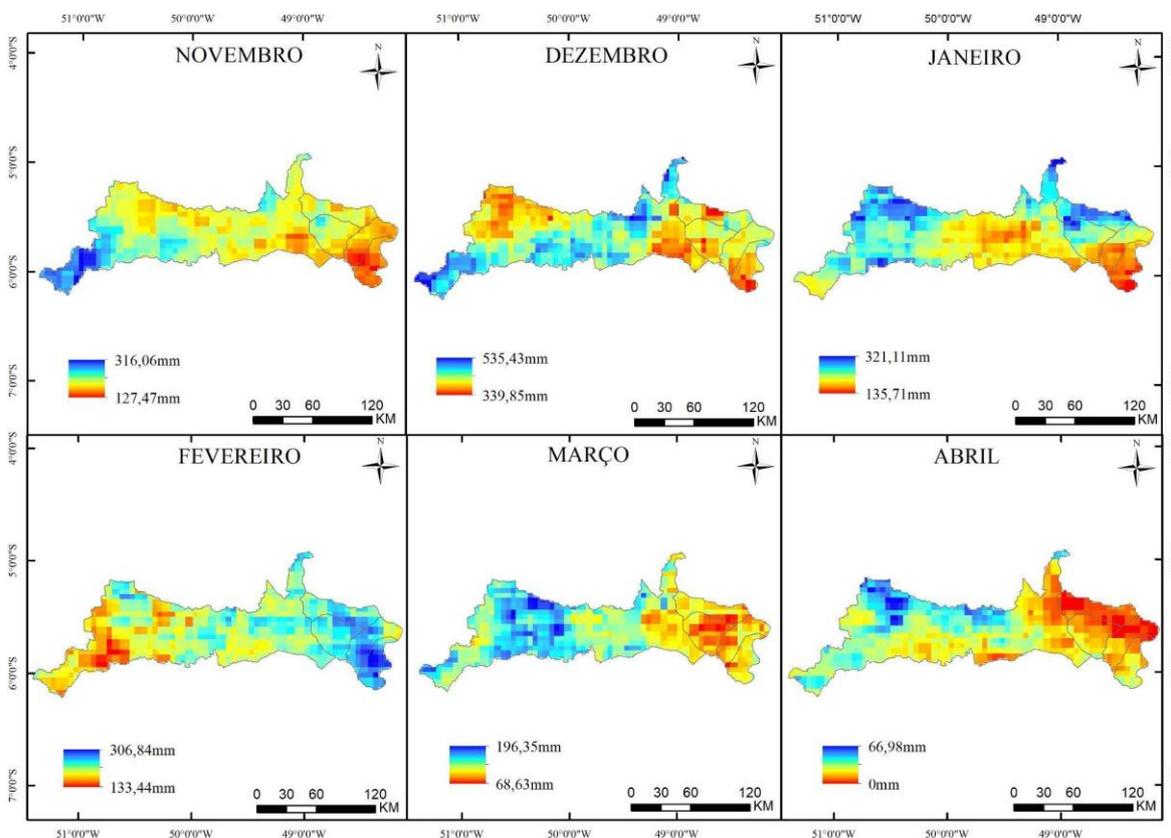


Figura 3 - Mapa climatológico da precipitação para o período chuvoso.

A Figura 4 mostra a distribuição da precipitação durante o período menos chuvoso da microrregião de Marabá, com acumulados mínimos de 139 mm e 0 mm, durante os meses de outubro e junho, respectivamente. Os menores acumulados durante este período estão concentrados na porção central e norte do município de Marabá e a oeste dos municípios de São João e São Domingos do Araguaia. Os acumulados máximos ficaram com valores de 169 mm e 259 mm, encontrados durante os meses de setembro e outubro, respectivamente. Os maiores quantitativos para esse período foram registrados a leste do município de Marabá e nos municípios de São João do Araguaia e São Domingos do Araguaia.

O período de redução de chuvas inicia-se em maio (59mm) e se estende até outubro (259 mm) a variabilidade dos acumulados ficou entre o máximo de 259 mm em outubro mês com maior precipitação do período menos chuvoso e, registraram 0 mm em junho, mês menos chuvoso do período. Mesmo com o período de redução das chuvas, chuvas concentradas em pouco espaço de tempo podem causar riscos às populações ribeirinhas, as quais são mais afetadas em todas as épocas de chuvas.



Diante disso, entende-se que a situação de vulnerabilidade e a suscetibilidade estão intrinsecamente relacionados às questões socioambientais da cidade de Marabá, sendo que essas, constituem-se elementos variáveis que influenciam na maior ou menor condição dos mesmos. Precipitações acima de 100 mm causam um alerta para áreas menos dotadas de infraestrutura. De acordo com Girão et al (2018), é comprovado que a maior exposição aos riscos é diretamente proporcional às condições de fragilidade físico-natural e vulnerabilidade. A relação chuva-cidade tem que se manter harmoniosa a partir de um planejamento que vise a melhor equidade entre áreas e que respeite os fluxos hidrológicos.

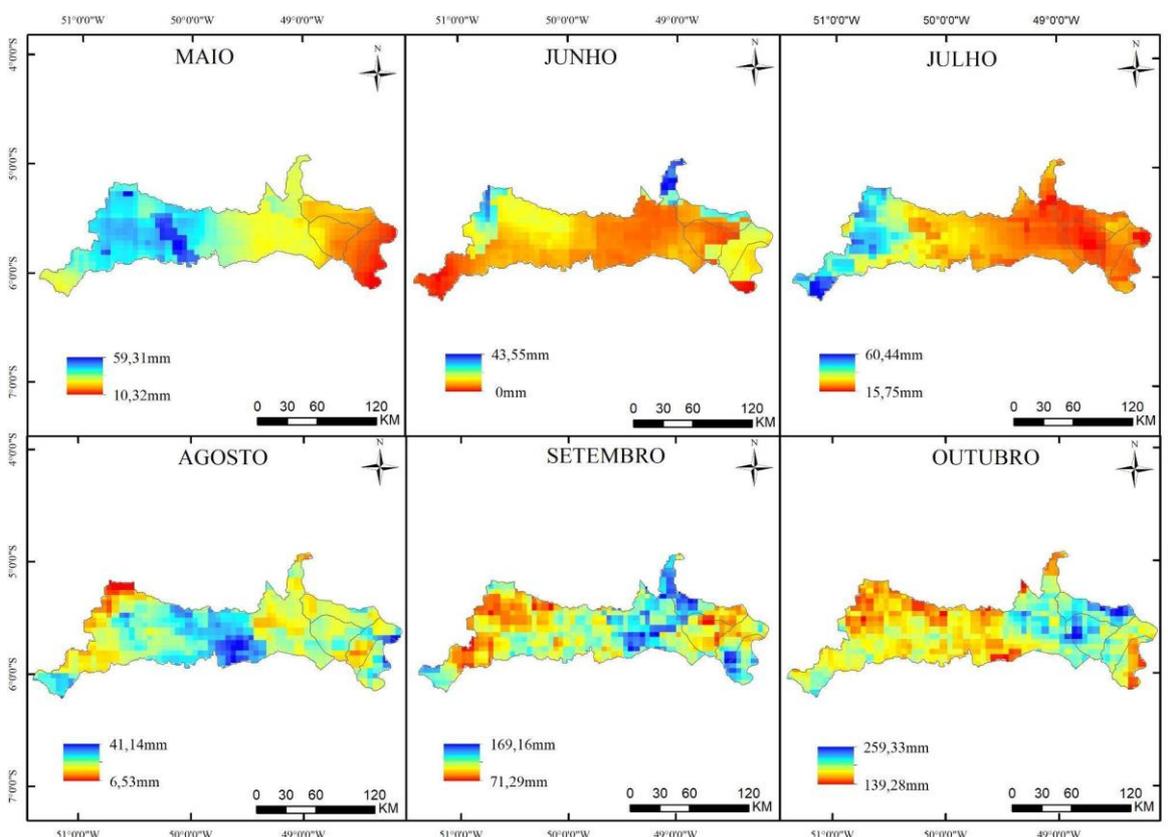


Figura 4 - Mapa climatológico da precipitação para o período menos chuvoso.

As maiores ocorrências de áreas de inundações na região de Marabá se dão justamente por áreas em que a especulação imobiliária é baixa, permitindo, assim, uma expansão muito rápida sem planejamento urbano e sem fiscalização das áreas próximas aos mananciais, cujas áreas são consideradas vulneráveis à ocupação (Figura 5). Contudo, vulnerabilidade, suscetibilidade e riscos são conceitos base para a construção de uma reflexão sobre prevenção de desastres em qualquer cidade (GIRÃO et al, 2018).



Figura 5 - Alagamento decorrente da chuva, em 07.01.22, próximo de manancial na cidade de Marabá. Fonte: Jornal Oliberal.

CONCLUSÕES

Os acumulados e a distribuição espaço temporal das chuvas, elucidadas pela técnica do CHIRPS, elucidaram de forma satisfatória a sazonalidade da microrregião de Marabá, apresentando de forma acurada e significativa os padrões de chuva da região amazônica. Verificou-se que na microrregião de Marabá (Região Sul do Estado) o período chuvoso se inicia mais cedo que o restante do Estado (Região Central e Norte do Estado), apresentando também os menores quantitativos de chuva se comparados a outras porções e municípios do estado.

É de fundamental importância o conhecimento da dinâmica meteorológica da região para fins de planejamento socioambiental. Os exemplos mundiais de combate aos desastres naturais vêm crescendo e precisamos mais do que nunca, incorporar as geotecnologias como ferramenta de prevenção aos riscos que a sociedade pode se deparar.

O cenário contemporâneo vem mostrando indícios de eventos extremos cada vez mais frequentes. As geotecnologias vêm se apresentando como uma ótima opção para as instituições vinculadas à defesa civil, permitindo aquisição e manipulação de dados de áreas de risco.

REFERÊNCIAS

ALVES BARBOSA, H. Serviços de hidrometeorologia e emergenciais aplicados a gestão e redução de desastres no Brasil: o sistema EUMETCAST. In: *Sensoriamento remoto para desastres*, p. 40-44, 2015a.

ALVES BARBOSA, H. Serviços de meteorologia e emergenciais aplicados a gestão e redução de desastres suportados em plataformas espaciais satélites de nova geração no Brasil. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 27, 2015, João Pessoa - PB. *Anais ...* João Pessoa: SBSR, 2015b.

AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 27, n. 4, p. 323-338, 2012.



- ANTOINE, R.; LOPEZ, T.; TANGUY, M.; LISSAK, C.; GAILLER, L.; LABAZUY, P.; FAUCHARD, C. Geoscientists in the sky: unmanned aerial vehicles responding to geohazards. *Surv. Geophys.*, v. 41, p. 1285-1321, 2020. doi.org/10.1007/s10712-020-09611-7
- BRAVO, R. Z. B.; LEIRAS, A. Literature review of the applications of UAVS in humanitarian relief. In: Encontro Nac. Eng. Produção, 35, 2015, Fortaleza - CE. *Anais ... Fortaleza: ABEPRO*, p. 1-15, 2015.
- CEPED. *Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012*. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres, Florianópolis: CEPED UFSC, 2013, 114 p.
- CGEE. *Documento Síntese do Estado da Arte dos Sistemas de Monitoramento de Impacto das Mudanças Climáticas em Países Selecionados*. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2013, 114p. (Produto 1).
- COSTA, J.; PEREIRA, G.; SIQUEIRA, M. E.; CARDOZO, F.; DA SILVA, V. V. Validação dos dados de precipitação estimados pelo CHIRPS para o Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, v 24, p. 228-243, 2019.
- DA SILVA COSTA, A.; LAMEIRA, O. A. O uso do NDVI derivado das imagens Pléiades na análise na estrutura da vegetação em dois fragmentos florestais. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 1, 2022.
- DA SILVA, L. X.; DA SILVA REIS, F. R.; JOSÉ DO CARMO, D. I. A. S.; FIRMINO, F. A. B.; DA SILVA, G. Inundações urbanas: os impactos do uso e ocupação da terra na micro bacia hidrográfica da gruta criminosa. *Boletim Amazônico de Geografia*, v. 2, n. 4, p. 45-52, 2015.
- DE FREITAS, M. I. C. Socio-Environmental Vulnerability and Geotechnologies as Contributions for Risks Cartography. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 5, n. 1, p. 15-31, 2013.
- GIORDAN, D.; ADAMS, M.S.; AICARDI, I.; ALICANDRO, M.; ALLASIA, P.; BALDO, M.; BERARDINIS, P.; DOMINICI, D.; GODONE, D.; HOBBS, P.; LECHNER, V.; NIEDZIELSKI, V.; PIRAS, M.; ROTILIO, M.; SALVINI, R.; SEGOR, V.; SOTIER, B.; TROILO, F. The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for engineering geology applications. *Bull. Eng. Geol. Environ.*, v. 79, p. 3437-3481, 2020. doi.org/10.1007/s10064-020-01766-2
- GIORDAN, D.; HAYAKAWA, Y.S.; NEX, F.; REMONDINO, F.; TAROLLI, P. Review article: the use of remotely piloted aircraft systems (RPASs) for natural hazards monitoring and management. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, v. 18, p. 1079-1096, 2018. doi.org/10.5194/nhess-18-1079-2018, 2018.
- GIRÃO, Í. R. F.; RABELO, D. R.; ZANELLA, M. E. Análise teórica dos conceitos: Riscos Socioambientais, Vulnerabilidade e Suscetibilidade. *Revista de Geociências do Nordeste*, v. 4, p. 71-83, 2018.
- GOMEZ, C.; PURDIE, H. UAV-based photogrammetry and Geocomputing for hazards and disaster risk monitoring - A review. *Geoenviron. Disast.*, v. 3, p. 1-11, 2016. doi.org/10.1186/s40677-016-0060-y
- GUHA-SAPIR, D.; HOYOIS, P.; WALLEMACQ, P.; BELOW, R. *Annual disaster statistical review 2016: the numbers and trends* Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. Brussels, Belgium: Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), Institute of Health and Society (IRSS), Université Catholique de Louvain, 2016, 91p.
- LEONTIEV, A.; ROSTKIER-EDELSTEIN, D.; REUVENI, Y. On the Potential of Improving WRF Model Forecasts by Assimilation of High-Resolution GPS-Derived Water-Vapor Maps Augmented with METEOSAT-11 Data. *Remote Sensing*, v. 13, n. 1, p. 96, 2020. doi.org/10.3390/rs13010096



MAPA. *Programa 2050 Mudança do Clima*. Brasília - DF: Ministério da Agricultura e Pecuária, 2020, 8p.

MARENCO, J. A.; SCARANO, F. R. Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Rio de Janeiro - RJ: PBMC, COPPE/UFRJ, 2016, 184 p.

MORAES, B. C. D.; COSTA, J. M. N. D.; COSTA, A. C. L. D.; COSTA, M. H. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. *Acta amazônica*, v. 35, p. 207-214, 2005.

PACA, V. H. D. M.; ESPINOZA-DÁVALOS, G. E.; MOREIRA, D. M.; COMAIR, G. Variability of trends in precipitation across the Amazon River Basin Determined from the CHIRPS Precipitation Product and from Station Records. *Water*, v. 12, n. 5, p. 1244, 2020. doi.org/10.3390/w12051244

RÜTHRICH, F.; JOHN, V. O.; ROEBELING, R. A.; QUAST, R.; GOVAERTS, Y.; WOOLLIAMS, E. R.; SCHULZ, J. Climate Data Records from Meteosat First Generation Part III: Recalibration and Uncertainty Tracing of the Visible Channel on Meteosat-2-7 Using Reconstructed, Spectrally Changing Response Functions. *Remote Sensing*, v. 11, n. 10, p. 1165, 2019. doi.org/10.3390/rs11101165

SAMHSA. *Disaster technical assistance center supplemental research bulletin*. Substance Abuse and Mental Health Services Administration. Behavioral health conditions in children and youth exposed to natural disasters, 2018, 20p.

SÁNCHEZ, L. E. *Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos*. Oficina de textos, 2020.

SCCOTI, A. A. V.; MENEZES, D. J. Mapeamento da suscetibilidade e perigo de inundação em Rosário do Sul-RS. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 26, 2014, Gramado - RS. *Anais ...* Gramado: SBC, p. 1-7, 2014.

SOUZA, R. O. D. M., SCARAMUSSA, P. H., DO AMARAL, M. A., PEREIRA NETO, J. A., PANTOJA, A. V., SADECK, L. W. Equações de chuvas intensas para o estado do Pará. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, p. 999-1005, 2012.

VOIGT, A.; BIASUTTI, M.; SCHEFF, J.; BADER, J.; BORDONI, S.; CODRON, F.; DIXON, R. D.; JONAS, J.; KANG, S. M.; KLINGAMAN, N. P.; LEUNG, R.; LU, J.; MAPES, B.; MAROON, E. A.; MCDERMID, S.; PARK, J.-Y.; ROEHRIG, R.; ROSE, B. E. J.; RUSSELL, G. L.; SEO, J.; TONIAZZO, T.; WEI, H.-H.; YOSHIMORI, M.; ZEPPELLO, L. R. V. The tropical rain belts with an annual cycle and a continent model intercomparison project: TRACMIP. *J. Adv. Model. Earth Syst.*, v. 8, n. 4, p. 1868-1891, 2016. doi.org/10.1002/2016MS000748

Bases digitais consultadas

CPRM. *Prevenção de Desastres*. Serviço Geológico do Brasil. Disponível em www.geoportal.cprm.gov.br/desastres/. 2022.

CRED EM-DAT. *The International Disasters Database*. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) Emergency Events Database (EM-DAT). Disponível em www.emdat.be/index.php. 2022.

EMBRAPA. METEOSAT: Meteorological Satellite. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/meteosat. 2022.

IBGE. *Estimativa da população*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html. 2022.



IPCC. *Mudança do Clima 2021*. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Disponível em www.ipcc.ch. 2022.

LOW, P.; RAUCH, ERNST. Natural Disasters of 2019 in Figures: Tropical Cyclones Cause Highest Losses. MUNICH RE, 2020. Disponível em www.munichre.com/en/company/media-relations/media-information-and-corporate-news/media-information/2020/causing-billions-in-losses-dominate-nat-cat-picture-2019.html

ODS-Brasil. Indicadores Brasileiros para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS Brasil). Disponível em www.odsbrasil.gov.br/. 2022.

WMO. Satellite: Meteosat-11. World Meteorological Organization. Disponível em www.space.oscar.wmo.int/satellites/view/meteosat_11. 2021a.

WMO. *Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water Extremes (1970-2019)*. World Meteorological Organization. Disponível em www.library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10989. 2021b.



Foto de Celso dos Santos Piquet Júnior.

“O risco e a percepção de risco são resultados de construções sociais, tendo uma dimensão física, subjetiva e multidimensional. Enquanto processo, se mantêm imbricado a ele atitudes, valores, crenças, motivações, sentimentos e normas, influenciando na forma de entender o risco ou a fonte de risco provável, seja ela tecnológica, ambiental ou social”¹.

¹FURTADO, Janaina Rocha. Gestão de riscos de desastres. Florianópolis: CEPED UFSC, 2012, 14 p.



ALTERAÇÕES HIDROCLIMÁTICAS E IMPACTOS NA VEGETAÇÃO NO MUNICÍPIO DE ALTAMIRA - PA: ênfase às queimadas

Aureliano da Silva Guedes II¹ e Gilmar Wanzeller Siqueira²

Resumo

O Brasil é um país com grande diversidade de biomas, e nele está presente a maior parte da Floresta Amazônica. Diversos desastres acometem o país, sendo uma das maiores preocupações as queimadas e as secas, fatores que estão muitas vezes relacionados. A região de Altamira, no estado do Pará, é uma região que apresenta como base socioeconômica a atividade agropecuária e extrativista, de pequena e grande escala. Para o preparo da terra para as atividades agropecuárias, as queimadas são práticas muito utilizadas na região, que levam às diversas mudanças climáticas e acentuação de fenômenos de variabilidade climática. Diversas grandezas, como a temperatura, apresentam alterações na região e impactam o ecossistema nos meios físico, químico e biológico da região, o que tem alteração direta na vegetação da região, portanto, também possuindo consequências socioeconômicas para as atividades desenvolvidas na região. O presente artigo objetiva a análise das alterações hidroclimáticas e seu impacto biológico sobre os vegetais na região de Altamira - PA, e como objetivos específicos a análise dos fatores hidroclimáticos e antrópicos responsáveis pela variabilidade e mudanças hidroclimáticas na região, bem como os impactos que podem ser de consequências naturais e antrópicas na vegetação da região, com ênfase às queimadas.

Palavras-chave: Mudanças e variabilidades hidroclimáticas, queimadas, impactos ambientais.

¹ Programa de Pós Graduação em Gestão de Risco e Desastre Naturais na Amazônia (PPGGRD/IG/UFPA), aurelianoguedesii@hotmail.com.

² Programa de Pós Graduação em Gestão de Risco e Desastre Naturais na Amazônia (PPGGRD/IG/UFPA), gilmar@ufpa.br.



INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, houve um aumento considerável nos relatos de desastres naturais em todos os continentes. Diversos fatores contribuem para tal aumento, que inclui variabilidades climáticas, ações antrópicas, aumento demográfico e ocupação territorial desordenada. Diferenças socioculturais também se caracteriza como um fator importante a se destacar pois é a partir dela que haverá a ocupação de áreas de risco. Terada (2006) destaca que os principais fatores que desencadeiam desastres em ambientes urbanos são "a impermeabilização do solo, o adensamento das construções, a conservação de calor e a poluição do ar; enquanto que nas áreas rurais, destaca-se a compactação dos solos, o assoreamento dos rios, os desmatamentos e as queimadas".

O Brasil no ano de 2003 foi classificado como o país do continente americano com o maior número de pessoas afetadas por desastres naturais (TERADA, 2006). Devido ao Brasil ser um país continente, existem diversos padrões hidroclimatológicos, que levam a variados tipos de desastres no país.

Mudanças hidroclimáticas, variabilidade hidroclimática e ações antrópicas são fatores que alteram as características de uma determinada região, com diversas consequências socioambientais. Observa-se, que os fatores antrópicos e naturais funcionam como um conjunto, e que um fator pode desencadear o outro, e aumentar os danos socioambientais. Esses fatores variam desde a variabilidade hidroclimática com eventos periódicos como o El Niño, até ações antrópicas que incluem o desmatamento, queimadas, aumento da emissão de carbono na atmosfera terrestre, dentre outros. As queimadas representam parte deste risco, com diversos impactos sobre o meio ambiente, com impactos físico, químicos e biológicos, também podendo se correlacionar com outros riscos ao ambiente, como seus efeitos aumentados pela estiagem, ou mesmo a geração a geração de estiagem prolongada. Além disto, Redin et al (2011) destacam as influências que o meio ambiente também possui sobre a queimada como a temperatura e intensidade da queima, que estão relacionadas ao clima da região e época do ano em que ocorrem, bem como a natureza química da vegetação queimada, que alteram a composição química do produto formado, possuindo consequência físico, químicas e biológicas sobre uma determinada região.

A região de Altamira situa-se no oeste do estado brasileiro do Pará, na região sudeste da Floresta Amazônica, é uma região que tem como principal sustento a economia agropecuária, que varia desde a economia de subsistência até grandes exportadores de animais e vegetais e derivados destes, bem como o comércio de madeira. De acordo com os autores Carvalho, Magalhães e Domingues (2016) o município de Altamira está entre as regiões que apresentam a maior taxa de desmatamento, com 61% de área desmatada em relação ao percentual de áreas ocupadas para atividades agropecuárias.

A queima é amplamente utilizada na região amazônica para o preparo da terra para atividades agropecuárias, chamadas de queimas controladas. O Decreto nº 2661/98 (BRASIL, 1998) em seu capítulo II art. 2º define as queimas controladas como o emprego do fogo como meio de produção e manejo em atividades agropastoris, dentre outras, em áreas com limites físicos definidos em seu capítulo I. No capítulo II art. 3º deste decreto (BRASIL, 1998), a queima controlada fica definida e limitada por "emprego do fogo mediante Queima Controlada depende de prévia autorização, a ser obtida pelo interessado junto ao órgão do Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA, com atuação na área onde se realizará a operação", e neste contexto, este artigo define que todo o material utilizado, mão-de-obra, local, conteúdo a ser queimado, dentre outros fatores, devem ser analisados e considerados antes de executar a queima.

Apesar da legalização das queimadas controladas, observados os fatores pré-estabelecidos pela lei, para tratamento do solo para o desenvolvimento de atividades agropecuárias, a lei nem sempre é executada, e mesmo nas queimas controladas, ainda há impactos físicos, químicos e biológicos decorrentes desta.



O presente artigo tem como objetivo a análise das alterações hidroclimáticas e seu impacto biológico e ambiental sobre os vegetais na região de Altamira - PA, e como objetivos específicos à análise dos fatores hidroclimáticos e antrópicos responsáveis pela variabilidade e mudanças hidroclimáticas na região, bem como os impactos que podem ser de consequências naturais e antrópicas na vegetação da região, com ênfase às queimadas.

METODOLOGIA

Trata-se de uma pesquisa exploratória-explicativa com dados qualitativos e quantitativos, utilizando de artigos científicos e livros técnicos e bancos de dados para formulação de gráficos. Foram utilizadas as plataformas Google Scholar e SciELO, assim como visitas aos acervos de bibliotecas universitárias, com os descritores Queimadas /+/ Amazônia, Mudanças Climáticas /+/ Amazônia, Variabilidade Hidroclimática /+/ Amazônia, Desmatamento /+/ Amazônia, Fisiologia /+/ Botânica, Altamira /+/ Desmatamento, Variabilidade Hidroclimática /+/ Altamira, com resultados em período aberto, obtidos nas línguas portuguesa e inglesa.

Para os cálculos e formulação dos gráficos foram utilizados dados obtidos do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no período de 1980 a 2019.

ALTERAÇÕES HIDROCLIMÁTICAS E IMPACTOS AMBIENTAIS NO MUNICÍPIO DE ALTAMIRA - PA

Mudanças Climáticas e Variabilidade Climática na região de Altamira

De acordo com dados do *Emergency Disaster Database* (EM-DAT) de 2009 obtidos pela pesquisa de Tasca et al (2010) a estiagem é um dos desastres que mais acomete o país, classificando-se em terceiro lugar com 8,40% dos relatos de desastres (Figura 1). Deve-se também chamar atenção às queimadas, que representam 1,70% dos desastres, e são ambos os fatores que por vezes estão correlacionados.

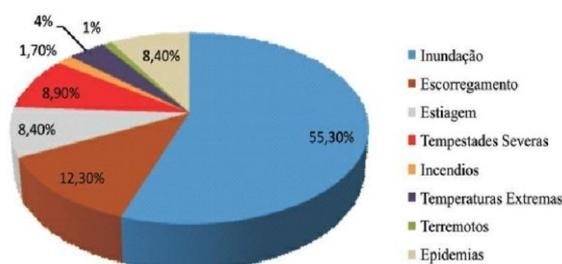


Figura 1 - Estatística dos desastres no Brasil com dados do EM-DAT - 2009 (TASCA et al, 2010).

A floresta amazônica é um importante componente hidroclimático na América do Sul. A floresta interage com a atmosfera para regular a umidade no interior da bacia. A umidade é transportada para a região amazônica através dos ventos alísios oriundos do Atlântico tropical. Após a precipitação, a floresta tropical produz evaporação intensa e reciclagem da umidade e grande parte dessa evaporação retorna à região amazônica na forma de chuva. As ações antrópicas alteram diversos aspectos do funcionamento fundamental do bioma amazônico e do planeta. Alterações incluem o balanço de radiação, e de carbono, disponibilidade hídrica, biodiversidade e o transporte de umidade para outras regiões do continente, e a composição da atmosfera (MARENGO; SOUZA JÚNIOR, 2018)



Durante o período seco de Junho a Outubro de 2005, de acordo com Costa *et al.*, (2019), estima-se que $0,92^{\circ}\text{C}$ da temperatura da superfície média do mar no oceano atlântico norte tropical apresentava-se um valor acima da média esperada para os anos 1901 a 1970, e calcula-se que aproximadamente a metade desse valor era provocado pelo aquecimento global e o restante sendo natural dos 60 anos anteriores ($<0,1^{\circ}\text{C}$) e a temperatura medida no ano anterior do El Niño foi de $0,2^{\circ}\text{C}$, sendo o mesmo valor calculado para os fenômenos ocorridos ano a ano devido à variabilidade climática. Caracterizando-se como uma mudança climática na região, esta atinge a atividade florestal devido ao desequilíbrio ecológico causado no ecossistema, com consequências que afetam a economia.

Franco *et al* (2018) relatam que em um período de 44 anos (1969 - 2012), o Rio Xingu que banha a região de Altamira, no estado do Pará, apresentou oito eventos de seca, do qual o mais severo foi no ano de 1998, quando a cota fluviométrica esteve abaixo de 500 cm (Figura 2).

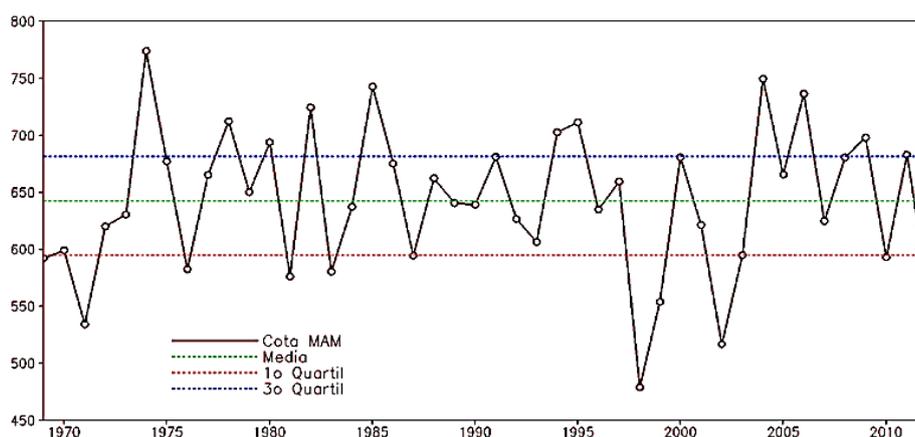


Figura 2 - Variabilidade interanual da cota de cheia sazonal (MAM) do rio Xingu em Altamira durante o período de 44 anos (1969 a 2012). O eixo na vertical refere-se a cota em cm e o eixo na horizontal o ano (FRANCO *et al*, 2018).

Os efeitos da seca no Rio Xingu pode ser consequência de variabilidade climática de fenômenos naturais, no entanto, também pode estar relacionada a causas antrópicas como o uso do solo na região, o desmatamento, as queimadas, dentre outros fatores, que atuam em conjunto, portanto alterando a homeostase do ecossistema. De acordo com resultados calculados a partir de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2021), a cidade de Altamira apresenta mudanças hidroclimáticas quando analisados os dados das décadas da década de 1980 à década de 2010 referentes ao período de baixa precipitação da região, compreendido do mês de Junho a Novembro.

Uma das principais mudanças climáticas que se apresentam na região de Altamira é a temperatura. Quando comparados às médias dos dados de 1980 a 2017, no período seco, referentes à temperatura máxima, temperatura média compensada e temperatura mínima (Figura 3), observa-se um padrão de aumento da temperatura na região, de maneira progressiva, portanto representando uma mudança climática na região. Os fatores que levam a este fato, bem como as consequências deste, que alteram o ecossistema local em conjunto são diversos.

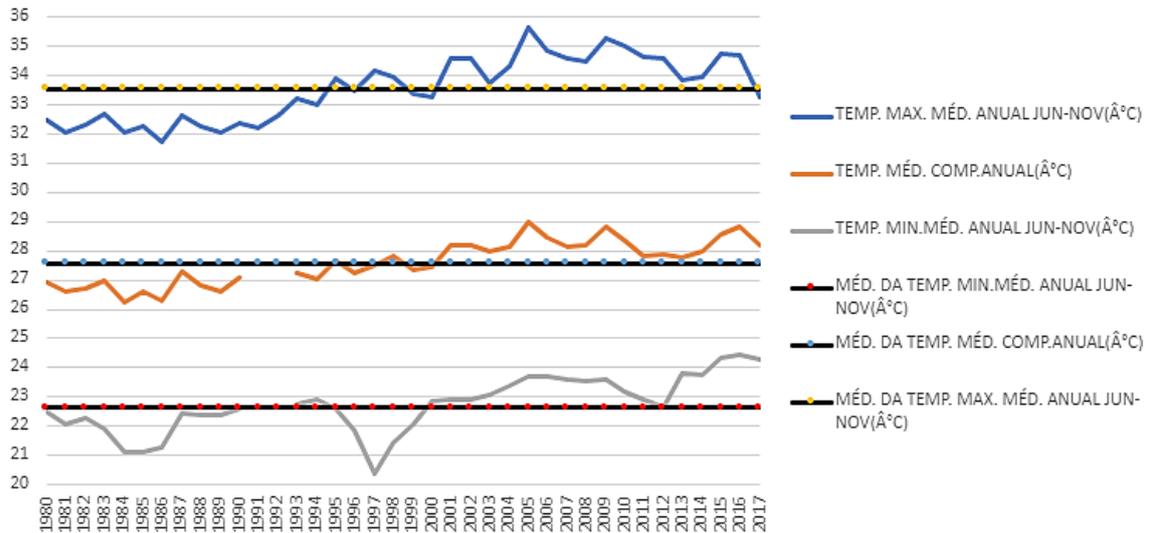


Figura 3 - Comparação das temperaturas máxima, média compensada e mínima ao longo do período de 1980 a 2017, nos meses de estiagem em Altamira.

Impactos Ambientais Decorrentes de Mudanças e Variabilidade Climática

A composição química atmosférica da região amazônica sofre grandes mudanças no período de estiagem, dentre diversos fatores ressalta-se gases traço e partículas de aerossóis provenientes de queimadas de pastagens e floresta, com consequências locais, regionais e global. As florestas e cerrados brasileiros são regiões onde historicamente ocorrem queima de biomassa devido à necessidade de uso do solo pela economia agropecuária, bem como uso de madeira como combustível. No entanto, o número de queimadas tem aumentado nos últimos anos. Áreas de plumas de queimadas de 5 a 8 milhões de km² tornam-se comuns durante os meses de agosto, setembro e outubro. Diversos estudos do *Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia* (LBA) demonstram que no Brasil há uma grande variação sazonal da profundidade óptica dos aerossóis, decorrente do aumento de queimadas nas estações secas, principalmente nos meses de agosto e setembro. Devido às propriedades ópticas, as partículas durante as queimadas podem atenuar em até 70% da radiação incidente e afetar o funcionamento do ecossistema amazônico (ARTAXO et al, 2006).

Na Amazônia, incêndios florestais possuem um causa quase exclusivamente antrópica, pois as ocorrências de incêndios florestais de causa natural são eventos raros, devido aos altos níveis do índice pluviométrico, mesmo durante o período seco. A queima como modo de preparação para a terra ser utilizada em atividades agropecuárias são frequentes durante o período seco, após o desflorestamento prévio de uma determinada área, ou a conversão de uma área de plantio em pasto. Considerando que mesmo no período seco o índice pluviométrico amazônico continua relativamente alto, isto dificulta a queima da floresta, e quando os fazendeiros desejam utilizar a queima como método para limpar a área da vegetação, cortam as árvores ainda no fim do período chuvoso entre Maio e Junho, deixando a madeira ou lenha secarem naturalmente, quando finalmente durante o período seco, em setembro, essas serão queimadas para a obtenção de área para práticas agropecuárias (ARTAXO et al, 2013).

Apesar do decreto nº 2661/98 estruturar os métodos para a queima controlada, o decreto está em contrapartida com a situação socioeconômica da região amazônica, que possui considerável parte de suas atividades agropecuárias realizadas por pequenos produtores, e esta situação socioeconômica também possui relação direta com o uso de queimadas, muitas vezes, sem o controle previsto no decreto. Conforme Pinto et al (2020)



o bioma amazônico apresenta 2.269 assentamentos rurais em 33,1 milhões de hectares com 460.312 famílias de pequenos produtores, e nestas regiões perderam-se 40% de sua vegetação original até 2018. Quanto ao desmatamento total do bioma dentro do território brasileiro, foi de 18% até 2018. Esses assentamentos possuem 2,4 bilhões de toneladas de carbono estocadas nas florestas remanescentes. No Brasil, a carência de assistência técnica, serviços básicos, dificuldades de acesso a tecnologias, políticas públicas, transferência de conhecimento e melhores condições logísticas deixam o agricultor familiar da Amazônia à com poucos recursos no processo de desenvolvimento da região. Segundo Castro e Pereira *apud* Pinto et al (2020) existe negligência quanto aos agricultores familiares pelo governo no processo de modernização da agricultura brasileira. Esse fator leva a necessidade de derrubada constante de áreas florestadas para o estabelecimento de atividades produtivas como a agricultura de corte e queima e a pecuária extensiva de baixa produtividade.

As florestas possuem um papel muito importante aplicado ao ciclo do carbono global, algo que está diretamente relacionado à própria fisiologia botânica. Para Ajithadoss et al (2006), a fotossíntese significa "síntese da luz" pelo qual as plantas convertem luz em energia. Portanto, a fotossíntese é considerada como o maior dos processos biológicos e abiológicos. Trata-se das reações bioquímicas pelas quais as plantas sintetizam compostos orgânicos no cloroplasto a partir de dióxido de carbono e água com a ajuda da luz solar. Uma reação de oxirredução entre água e dióxido de carbono. A formulação química da fotossíntese dá-se como $\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \text{-----} > (\text{CH}_2\text{O})^2 + \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$.

A transpiração é a perda de água das plantas por meio da evaporação (processo de difusão). Depende das condições físicas do vapor (umidade, temperatura e movimento do ar), abastecimento de água, espécie de plantas e estágio ontogenético. A taxa de transpiração (quantidade de água liberada por uma parte definida de uma planta em uma unidade de tempo) varia na anatomia das plantas (folhas em várias posições, radiação, idade) e por tipo de superfície da planta (MARTINKOVÁ, 2014).

No contexto da fitopatologia, o clima e o acometimento patológico de plantas estão diretamente relacionados. Desequilíbrio entre os fatores de hospedeiro suscetível, virulência do patógeno e o ambiente favorável, pode facilitar a propagação de doenças fitopatológicas. A temperatura possui grande importância nesta susceptibilidade, apresentando impactos no crescimento, fisiologia e reprodução. Dentre as consequências, têm-se alterações nas relações ecológicas do ambiente, como a interação com microrganismos simbiotes, insetos, competição com plantas invasoras e a resistência à fitopatógenos. Os patossistemas possuem respostas diferenciadas quanto ao aumento de temperatura, e, para grande quantidade de patógenos, a temperatura pode determinar a rapidez e extensão da infecção. O aumento de temperatura também possui impacto sobre a distribuição geográfica do fitopatógeno, no entanto, geralmente a distribuição geográfica das culturas será similar a distribuição geográfica do patógeno (ANGELOTTI et al, 2017)

A região de Altamira possui diversos recursos liminológicos, em especial destacando-se o Rio Xingu. O aumento da temperatura leva ao aumento da evaporação de água que pode ser correlacionado com a maior quantidade de precipitação, umidade relativa do ar e evapotranspiração, como observados nos gráficos (Figuras 4, 5 e 6), também possuindo relação com a quantidade de água absorvida por vegetais. Conforme Maciel (2017) quando a umidade se apresenta em excesso em matérias-primas vegetais, esta leva ao comprometimento físico, químico e microbiológico, com a ação de enzimas, que podem iniciar a degradação de constituintes químicos, bem como possibilitar o desenvolvimento de fungos e bactérias. A umidade é um determinante para a vida vegetal e uma das medidas mais importantes e utilizadas na análise de alimentos, estando relacionada com a estabilidade, qualidade e composição de um produto.

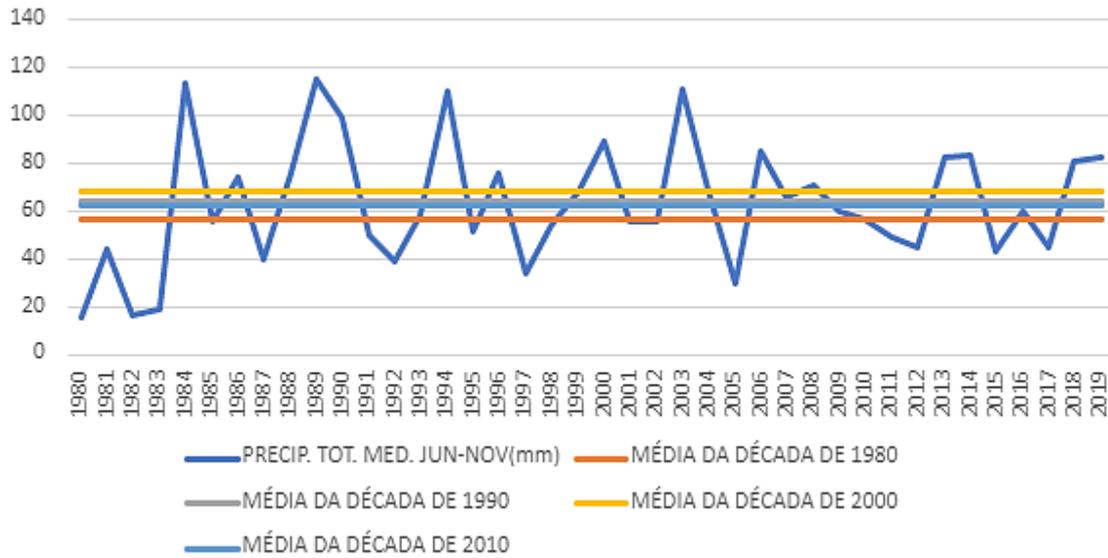


Figura 4 - Médias de precipitação anual nas décadas de 1980 a década de 2010, no período anual de Junho a Novembro.

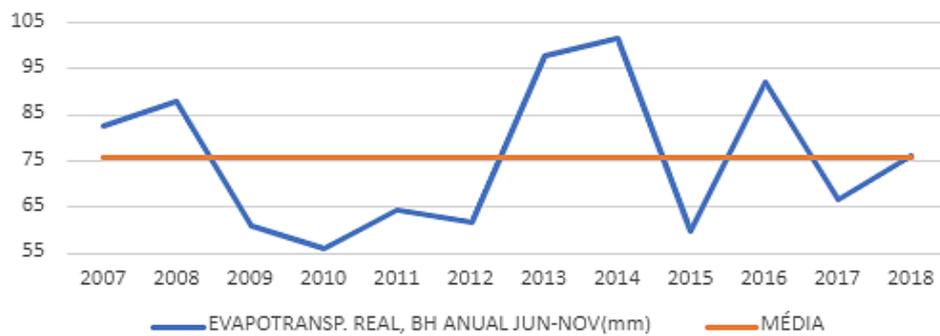


Figura 5 - Médias de evapotranspiração anual (Jun - Nov) no período de 2007 - 2018.

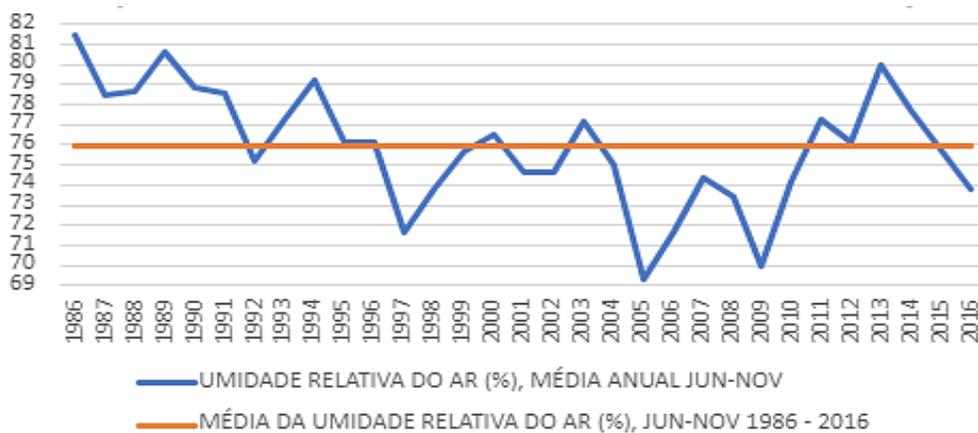


Figura 6 - Média da umidade relativa no período de Junho a Novembro dos anos 1986 a 2016.



A seca do solo resulta em piora na absorção de água pelas raízes, bem como limitação da transpiração e de assimilação (portanto, diminuição do resfriamento das folhas e fornecimento de nutrientes fotossintetizados das raízes para as folhas. Além disso, resulta no efluxo de nutrientes nas raízes finas e no contato limitado das raízes com a rizosfera, podendo resultar na morte das raízes. A seca do solo junto com condições atmosféricas desfavoráveis como baixa umidade relativa, alta temperatura ou vento; geralmente aqueles que levam a um aumento da evaporação, podem causar um dano às vias condutoras do xilema por alta pressão negativa. Isso pode causar o rompimento das colunas de água e a consequente osmose de ar ou células (do parênquima vizinho) para os vasos (GEBAUER, 2014). A prática da queima também possui relação com a seca e impactos no solo e consequentemente nos vegetais.

Para Redin et al (2011) existem variadas consequências da queima, que incluem as modificações na taxa de infiltração e evapotranspiração da água do solo, na porosidade e no aumento do grau de suscetibilidade dos solos à erosão hídrica e eólica, e com o solo apresentando-se desprotegido, alteração do pH, aumento da fonte de carbono (C) e da oxidação da matéria orgânica do solo, há maior probabilidade de lixiviação e percolação de nutrientes.

O vento também é um importante fator relacionado com as mudanças e variabilidades climáticas, o qual tem relação com o transporte de aerossóis e gases que influenciam no efeito estufa, tal como o CO₂, provenientes da queima de biomassa, bem como a capacidade de aumentar o raio de um incêndio, com risco à desastres. Segundo Paixão (2015), O vento é uma grandeza vetorial com as componentes x, y e z, e a partir de sua resultante pode-se determinar a direção deste no tempo-espaço referenciado a fonte, direção inicial na qual os poluentes originados por fontes emissoras serão transportados e a concentração destes poluentes na atmosfera. Dentre todos os componentes do vento, a vertical z é a responsável pela sua turbulência, enquanto que as outras duas (x e y) determinam, o transporte horizontal e a diluição das plumas de poluição, determinando o movimento horizontal dos agentes poluentes emitidos. O vento também possui interação com outros parâmetros atmosféricos e é alterado pela rugosidade da superfície, dada a partir do uso e ocupação do solo, apresentando um perfil vertical de velocidade do vento crescente em relação à altitude.

O uso de queimadas pela economia agropecuária é algo comum na região Amazônica, na qual se inclui a cidade de Altamira. Além dos efeitos locais, os aerossóis emitidos podem ser transportados da região de Altamira para outras, portanto possui potenciais consequências regionais e globais. No entanto, outra situação possível é o transporte da queima de biomassa de outras regiões serem transportadas através do vento, aumentando os impactos hidroclimáticos da região de Altamira. A direção e velocidade do vento são fatores a serem analisados nesse contexto. Quando observados os dados de velocidade do vento (Figura 7) do INMET (2021) nas décadas de 1980, 2000 e 2010 (Excluso os anos 1990 por ausência de dados) observa-se poucas alterações na velocidade média anual do vento, e na velocidade máxima média anual do vento, há poucas variações, destacando-se os anos 2001 - 2003 como fora de um padrão, portanto trata-se de uma variabilidade hidroclimatológica desta constante.

No entanto, ainda que a velocidade do vento possa ter um certo padrão na região, os efeitos de um fenômeno hidroclimatológicos sobre o vento, quando associados a queima, podem representar um grande risco a um desastre, portanto, mesmo seguindo os padrões do Decreto nº 2661/98 art. 4º §VII (BRASIL, 2021), cujo ressalta que a queima controlada deve ser realizada "em dia e horário apropriados, evitando-se os períodos de temperatura mais elevada e respeitando-se as condições dos ventos predominantes no momento da operação", deve-se observar a presença de possíveis fenômenos hidroclimatológicos presentes no período que será realizada a queima.

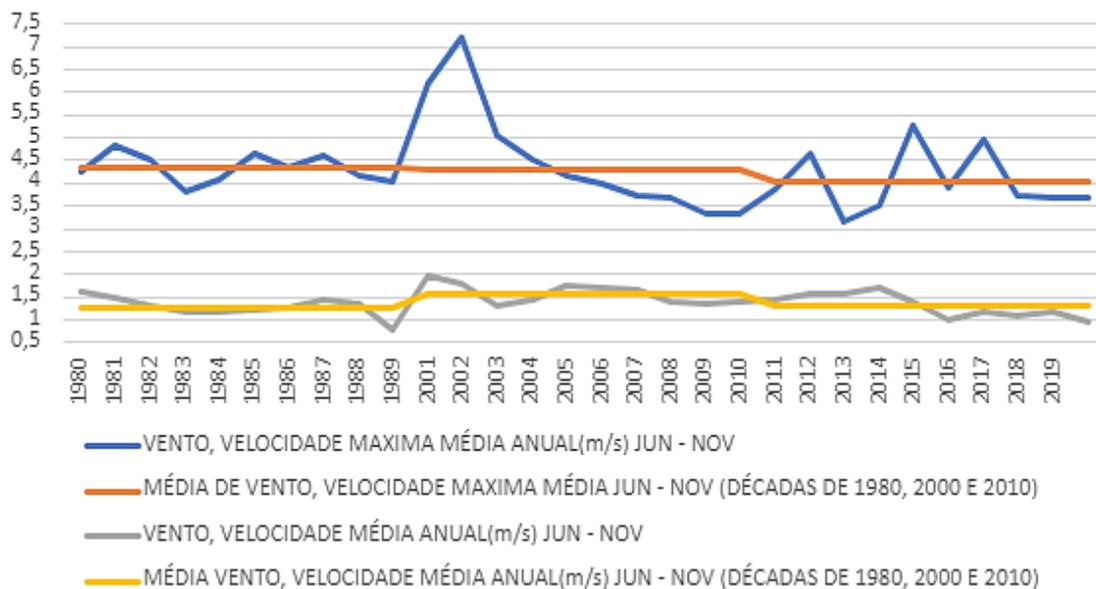


Figura 7 - Velocidades máxima e média compensada do vento nas décadas de 1980, 2000 e 2010.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A região do município de Altamira, assim como grande parte das regiões Amazônicas, utiliza o método de queima para o preparo da terra para atividades agropecuárias, necessárias para o desenvolvimento socioeconômico da região. A queima controlada está prevista pela constituição brasileira, com diversos critérios necessários para a realização desta, visando diminuir os impactos ambientais, bem como sociais, da queima feita de maneira irregular. No entanto, ressalta-se que nem todos contemplam a lei de queima controlada, especialmente comunidades locais, mais afastadas e com característica de agricultura familiar e de subsistência.

Ainda que a lei diminua os impactos da queima, esta ainda tem grandes efeitos hidroclimatológicos sobre a região. Observa-se diversas mudanças climáticas bem como variabilidade climática na região, e o desmatamento e uso da queima para uso da terra para atividades agropecuárias são fatores correlacionados, com diversos impactos físicos, químicos, biológicos e socioeconômicos. Dentre as variadas consequências, tais fatores tornam-se comprometedores à vegetação primária local, bem como podem gerar impactos diretos na própria economia agrária de Altamira, não limitando-se apenas à região, podendo estender-se a outras regiões através de fatores como o vento.

É importante o entendimento dos diversos fatores de alteração hidroclimatológica de origem natural e antrópica e como esses interagem em conjunto quando alterada a homeostase do ecossistema, pois estas alterações possuem impactos diretos nos vegetais, comprometendo o ecossistema, bem como o desenvolvimento das atividades agropecuárias da própria região, ressaltando-se que as alterações originadas em Altamira podem levar ao comprometimento de outros ecossistemas.

A reestruturação socioeconômica da região também possui relevante importância, para transformá-la em uma economia mais sustentável. A educação ambiental pode ser um grande suporte para o entendimento de sustentabilidade das populações da região, pois o entendimento desta e o suporte governamental podem aumentar a aplicabilidade do decreto relativo a queimas controladas, bem como utilizar ou desenvolver métodos mais sustentáveis para a preparação do uso da terra.



REFERÊNCIAS

- AJITHADOSS, K.; EDWIN, R.; SEKAR, T.; SANKAR, P.; MUNUSAMI, S. *Biology: Botany*. Tamil Nadu Textbooks Corporation: Mahindra - India, 2006, p. 128-181.
- ANGELOTTI, F.; GHINI, R.; BETTIOL, W. Como o aumento da temperatura interfere nas doenças de plantas. In: BETTIOL, W.; ANGELOTTI, F.; HAMADA, E.; AUAD, A.M.; GHINI, R. *Aquecimento Global e Problemas Fitossanitários*. Brasília: Embrapa, 2017, p. 116-143.
- ARTAXO, P.; OLIVEIRA, P. H.; LARA, L. L.; PAULIQUEVIS, T. M.; RIZZO, L. V.; PIRES JUNIOR, C.; PAIXÃO, M. A.; LONGO, K. M.; FREITAS, S.; CORREIA, A. L. Efeitos climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 21, n. 3a, p. 168-189, 2006.
- ARTAXO, P.; RIZZO, L. V.; BRITO, J. I.; BARBOSA, H.; ARANA, A.; SENA, E.; CIRINO, G.; BASTOS, W.; MARTIN, S.; ANDREAE, M. Atmospheric aerosols in Amazonia and land use change: From natural biogenic to biomass burning conditions. *Faraday Discussions*, v. 165, p. 203-35, 2013. doi.org/10.1039/c3fd00052d.
- BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. *Decreto n. 2661 de 08 de julho de 1998*. Capítulo II. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2661.htm.
- CARVALHO, T. S.; MAGALHÃES, A. S.; DOMINGUES, E. P. O desmatamento e a contribuição econômica da floresta na Amazônia. *Estudos Econômicos*, v. 46, n. 2, p. 499-531, 2016. doi.org/10.1590/0101-416146288tae.
- COSTA, G. I. B.; PEREIRA, W. S.; LIMA, M. B.; SAMPAIO, J. S.; MACAMBIRA, A. C. S.; MATIAS, L. V. S.; SILVA, D. T. C.; ALMADA, N. B.; CRUZ, R. F.; SILVA, J. A. G. Climatologia da região oeste do Pará - centro da Amazônia - e impacto dos três últimos eventos de secas severas na temperatura do ar e precipitação. In: SANTOS, C. C. (Org). *Estudos Interdisciplinares nas Ciências Exatas e da Terra e Engenharias 3*. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019, p. 141-152.
- FRANCO, V. D. S.; SOUZA, E. B.; LIMA, A. M. M. D.; SOUSA, A. M. L. D.; PINHEIRO, A. N.; DIAS, T. S.; AZEVEDO, F. M. D. Climatologia e previsão hidrológica de cheia sazonal do Rio Xingu, Altamira-PA. *Revista Brasileira de Climatologia*, Ano 14, v. 22, p. 01-19, 2018.
- GEBAUER, R. Roots. In: MARTINKOVÁ, M.; ČERMÁK, M.; GEBAUER, R.; ŠPINLEROVÁ, Z. *Plant Botany: An introduction to plant anatomy, morphology and physiology*. Brno: Mendel University in Brno, 2014, p. 30-42.
- MACIEL, P. F. *Determinação de Umidade em Amostras de Chás de Cymbopogon citratus S., Matricaria recutita L., Mentha spp. e Pimpinella anisum L. através de métodos gravimétricos e termogravimétrico*. 2017. 29 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Farmácia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.
- MARENCO, J. A.; SOUZA JÚNIOR, C. *Mudanças Climáticas: impactos e cenários para a Amazônia*. São Paulo: Programa de Pós Graduação em Ciência Ambiental Universidade de São Paulo, 2018, 33p.
- MARTINKOVÁ, M. Respiration. Basics of woody plant physiology. In: MARTINKOVÁ, M.; ČERMÁK, M.; GEBAUER, R.; ŠPINLEROVÁ, Z. *Plant Botany: An introduction to plant anatomy, morphology and physiology*. Brno: Mendel University in Brno, 2014, p. 71-96.
- PAIXÃO, L. C. *Utilização do CATT-BRAMS para análise do transporte e dispersão de material particulado e monóxido de carbono proveniente da queima da biomassa vegetal e da atividade industrial no estado do Pará*. 2015. 160 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.



PINTO, E. P. P.; SOUZA, M. L. L.; CARDOSO, A. M.; CARVALHO, E. S.; NASCIMENTO, D. R. MOUTINHO, P. R. S.; MARQUES, C. B.; PIONTEKOWSKI, V. J. *Assentamentos Sustentáveis na Amazônia: o desafio da produção familiar em uma economia de baixo carbono. Investimentos transformadores para um estilo de desenvolvimento sustentável: Estudos de casos de grande impulso (Big Push) para a sustentabilidade no Brasil*. Brasília: CEPAL, 2020, p. 89-102.

REDIN, M.; SANTOS, G. F.; MIGUEL, P.; DENECA, G. L.; LUPATINI, M.; DONEDA, A.; SOUZA, E. L. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. *Ciência Florestal*, v. 21, n. 2, p. 381-392, 2011.

TASCA, F. A.; GOERL, R. F.; KOBAYAMA, M. Prevenção de desastres naturais através da educação ambiental com ênfase na ciência hidrológica. In: Simpósio de Engenharia Sanitária e Meio Ambiente da Zona da Mata Mineira - SESMAZ, 1, 2010, Juiz de Fora. *Anais ... Juiz de Fora: SESMAZ*, 2010.

TERADA, T. Introdução. In: KOBAYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I P. V. O; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F.; RUDORFF, F. M. *Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos*. Curitiba: Editora Organic Trading, 2006, p. 01-05.

Bases digitais consultadas

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. *Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa - BDMEP*. Brasília, 2021. Disponível em <https://bdmep.inmet.gov.br>.



PRESSÕES E IMPACTOS AMBIENTAIS NA BACIA DO CAETÉ: um perfil socioambiental

*Milena de Nazaré Santos Quaresma¹, Aline Maria Meiguins de Lima², Marcos
Ronielly da Silva Santos³*

Resumo:

O artigo apresenta as principais pressões e impactos ambientais encontrados na bacia do rio Caeté, e o cenário atual das condições ambientais traçado a partir do levantamento do perfil socioambiental dos moradores locais situados na Reserva Extrativista Marinha Caeté-Taperaçu. A pesquisa apresenta um elo por meio da análise de diferentes unidades territoriais: Unidades de Conservação (UC) e Bacia Hidrográfica (BH) que na maioria das vezes não coincidem, e torna dificultosa a interpretação dos cenários. Neste contexto, foram visitados diversos pontos ao longo do curso principal do Rio Caeté e nas vilas que estão inseridas no território da UC, estabelecendo relação direta com o rio em virtude as atividades cotidianas estabelecidas. Com base na visita de campo foram realizadas 154 entrevistas, com questões abertas sobre indicadores socioambientais. Os entrevistados têm uma faixa etária de 13 a 75 anos, com média de 38 anos, e a maioria não completou o ensino fundamental. O tempo de residência é predominantemente superior a 10 anos, sendo 85% já residentes no local antes da criação da RESEX. A maioria dos entrevistados trabalha na agricultura ou na exploração de recursos naturais, como catadoras de caranguejo e pescadores. A poluição dos rios e o desmatamento foram os principais problemas ambientais citados, contudo de acordo com os moradores, a criação da Resex contribuiu significativamente com a conservação dos recursos naturais e hídricos existentes.

Palavras-chaves: Áreas protegidas, comunidades, bacia hidrográfica.

¹Universidade Federal do Pará, milenasquaresma@gmail.com. ²ameiguins@ufpa.br.
³mronielly.mr@gmail.com



INTRODUÇÃO

As intervenções humanas possuem grande responsabilidade no equilíbrio do ambiente natural, caracterizando-se como processo conciliador para as mudanças e transformações da conservação do ecossistema, sobretudo dos recursos hídricos. De acordo com Miserendino et al (2011), ao interferir no meio natural, o homem acaba alterando os processos do ciclo hidrológico. Nunes et al (2015) corroboram que os impactos antrópicos possuem influência direta na qualidade ambiental dos recursos hídricos.

O recurso hídrico é resultante da drenagem de sua bacia, onde as características biológicas, ecológicas, físicas e químicas encontram-se diretamente atreladas a ações de uso e ocupação do corpo hídrico. Logo, é necessária uma avaliação constante das transformações que resultam da evolução natural da paisagem, e principalmente do processo de dinâmica e interação entre sociedade e natureza (OLIVEIRA et al, 2008).

Neste contexto, Oliveira Filho (2015) conceitua o impacto ambiental como resultado do efeito de uma ação antrópica sobre um componente ambiental, quer seja ele biótico ou abiótico. Já para Santos (2004) toda alteração perceptível no meio natural com a capacidade de comprometer o equilíbrio dos sistemas naturais ou antropizados, pode se caracterizar como impacto e afetar a ordem ecológica, cultural, social e estética do meio. De acordo com Nardini et al (2015) as alterações oriundas de fenômenos naturais são processadas lentamente, considerando escalas temporais, já as consequências de ordem antrópica tendem ocorrer em períodos mais curtos, todavia, são responsáveis por impactos de grande magnitude.

Considerando a pressão sobre os recursos naturais, e voltadas aos recursos hídricos, para Oliveira et al (2008) tal ação implica na perda da biodiversidade e sociodiversidade local, tornando a população local um agente receptor das distintas ações causadas pelos demais agentes externos; onde os perfis socioambientais podem imprimir e/ou identificar uma nova valorização da paisagem, com a substituição de hábitos e comportamentos e novas formas de apropriação da natureza em decorrência as suas necessidades.

Desde a década de 90, estudos e pesquisas associados ao perfil socioambiental têm obtido relevância frente as políticas públicas e a implantação de ações, principalmente quando se refere à problemas relacionados ao meio ambiente, mudanças de atitudes e transformações nas condutas das comunidades (COSTA LIMA, 2003). De acordo com Vasco e Zakrzewski (2010) os estudos da percepção ambiental, trazem um perfil socioeconômico e ambiental dos entrevistados, onde são de vital importância para compreensão das interrelações entre sociedade e o ambiente.

Busato et al (2015) argumentam que o perfil das pessoas que residem no entorno de uma Unidade de Conservação serve como embasamento para o planejamento e o gerenciamento de efetivos programas de Educação Ambiental nessas áreas. Os diferentes estudos e pesquisas acerca das interpretações, visões, significados e usos que uma determinada população propõe para Unidade de Conservação, permite viabilizar e planejar atividades que devem ser desenvolvidas para aumentar a consciência de preservação sobre esses espaços.

A pesquisa visa identificar os principais impactos e pressões ambientais provocadas na Bacia do Caeté, e relacionar as diferentes formas de uso deste recurso hídrico com o perfil socioambiental dos moradores da Reserva Extrativista Marinha Caeté-Taperaçu, que estão situados na foz do rio.



METODOLOGIA

Área de Estudo

Na Figura 1, tem-se a Bacia Hidrográfica do Caeté com uma área de 2.235,14 km², desde a nascente até a foz, e a extensão do rio principal correspondente a 150,4 km, desaguando na baía Caeté-Urumajó (COSTA et al, 2017). O curso do rio perpassa no território de sete municípios localizados no nordeste do Pará. Apenas as sedes municipais de Santa Luzia do Pará (médio curso) com 19.424 habitantes e Bragança (baixo curso) com 113.227 habitantes (IBGE, 2017) são banhadas pela drenagem direita.

Na foz do rio Caeté, encontra-se a Resex Marinha Caeté-Taperaçu (Figura 1) criada, pelo Decreto do Ministério de Meio Ambiente em 20 de maio de 2005 e ocupando uma área de 42.489,17 hectares em um bioma de transição terrestre-marinho. A unidade de conservação tem a predominância de ecossistemas costeiros, com particularidade de manguezal e restinga (MMA, 2017). De acordo com Abdala et al (2012) a Resex Caeté Taperaçu é representada por 8 pólos, cuja representação política é formada de extrativistas moradores e líderes das comunidades geograficamente próximas a unidade de conservação.

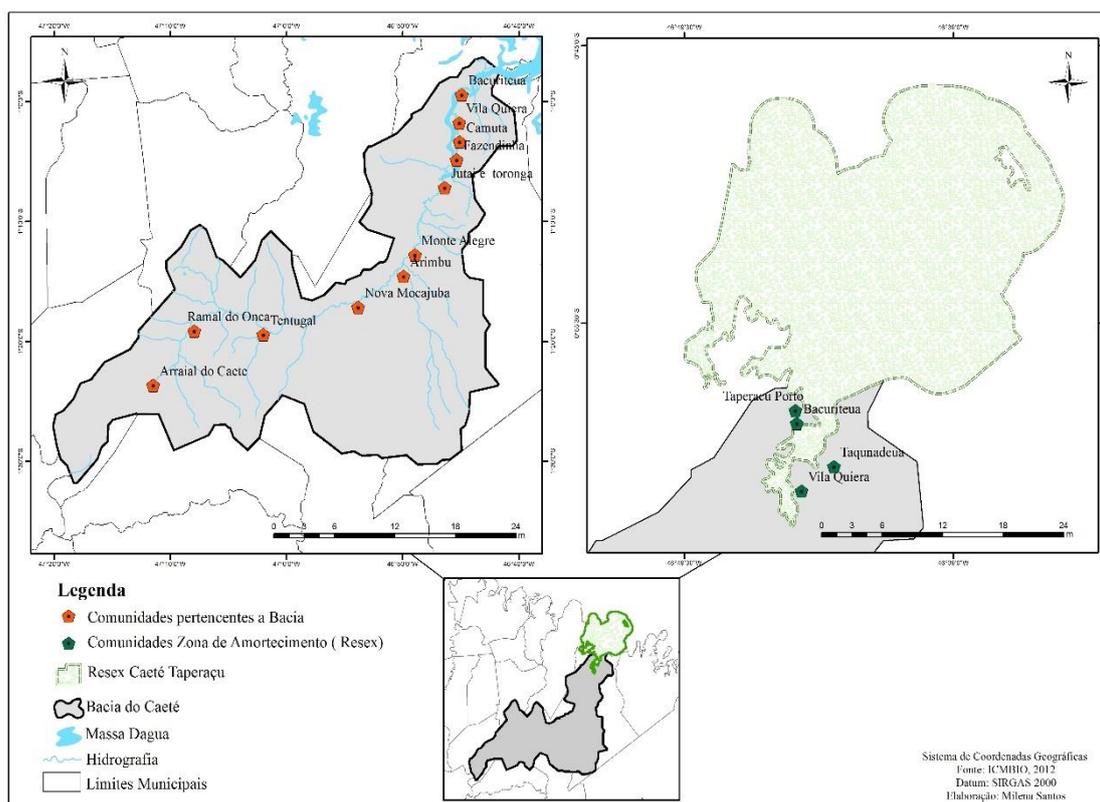


Figura 1 – Mapa de localização da bacia do rio Caeté e da Resex Marinha Caeté-Taperaçu

A região destaca-se pela grande diversidade de paisagens naturais, com a presença de ambientes e ecossistemas costeiros, como áreas de estuários, dunas, praias, planícies de inundação, florestas tropicais (FERNANDES, 2016). Outra característica de destaque baseia-se na inserção da área de estudo na região denominada zona costeira amazônica, e segundo Souza Filho (2005) apresenta uma das maiores faixas contínuas de manguezal do mundo.



Coleta e Análise de Dados

A metodologia foi dividida em duas partes, ambas atreladas a visita in loco. No primeiro momento, obteve-se a caracterização das principais comunidades pertencentes a Resex Caeté Taperaçu e a identificação de quais delas possuíam relação direta com o Rio Caeté (Objeto de estudo). Posteriormente foram visitadas quatro vilas: Vila Quiera, Vila Taquandeuca, Vila do Taperaçu-Porto e Vila da Pontinha em Bacuriteua e realizou-se a aplicação de questionários abertos e fechados sobre percepção ambiental junto aos moradores, no intuito de analisar os principais usos dos recursos naturais existentes na Resex.

A pesquisa de sobre o perfil socioambiental é categorizado como um estudo descritivo que segue uma quantidade aproximada. A coleta de dados foi realizada através de um questionário estruturado, que foi adaptado de Gorayeb et al (2011). O questionário foi composto de questões que identificaram características do entrevistado e de perguntas específicas sobre o tema abordado. Em cada comunidade foram distribuídos questionários com abordagens diferenciadas para moradores e líderes (grau de perguntas distintas), contabilizando uma margem de 38 a 39 questionários aplicados com os residentes do local. Para melhor entendimento a Tabela 1 ilustra o panorama da amostragem, processo pelo qual se obtém informação sobre a população amostral da pesquisa.

Tabela 1. Tabela com a informação dos percentuais de amostra por vila.

	Vila Quiera	Taquandeuca	Taperaçu porto	Pontinha Bacuriteua	Total
População	226	400	383	200	1209
Amostra	38	39	39	38	154
Percentual	17%	10%	10%	19%	13%

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Usos e Pressões Antrópicas na Bacia do Caeté

Ao considerar as comunidades pertencentes ao limite territorial da Bacia do Caeté tem-se, duas comunidades localizadas no setor superior (Arraial do Caeté, no município de Ourém e São João do Caeté/Ramal da Onça em Santa Luzia do Pará) e oito comunidades no setor médio (São João do Caeté/Vila do Caeté, e Tentugal em Santa Luzia do Pará; Nova Mocajuba, Arimbú, Jutai, Toronga, Monte Alegre, e Fazendinha em Bragança). Nas margens do rio Caeté estão localizadas dezoito comunidades tradicionais (GORAYEB et al, 2009). Segundo Guimarães et al (2011), a população que habita as comunidades rurais nas margens deste rio, nos setores superior e médio, estima-se em um pouco mais de 3.000 habitantes.

De acordo com Gorayeb et al (2009) na nascente do rio, situada no município de bonito, bem como na sequência do médio curso desenvolve-se os cultivos como a plantação de açaí, arroz, coco-dendê, cupuaçu feijão e mandioca, além da criação extensiva de gado. Portanto, as principais atividades econômicas locais estão relacionadas ao desenvolvimento da agricultura e da pecuária.

Com base nos dados dispostos no censo oficial de 2010 (IBGE, 2017) a população residente ao longo do médio curso do rio, com suas sedes municipais está estimada em aproximadamente 63.639 habitantes. Os estudos de Gorayeb et al (2011) já apontam múltiplos problemas, de ordem ambiental, relacionados diretamente e com a extração ilegal de madeira, a implantação de indústrias de pequeno porte, captação de água sem planejamento prévio para abastecimento de cidade, citando exemplo da cidade de



Capanema. Ainda de acordo com Guimarães et al (2011) tais práticas desordenadas e exploratórias vêm proporcionando mudanças nas paisagens, contaminação dos recursos hídricos, e fertilização do solo, fatores que alteram a ordem ecológica, biológica e social da região.

Em relação as interferências analisadas no baixo curso do rio caeté, cabe destacar que oito comunidades rurais, dentre elas: Camutá, Vila Quiera, Caratateua, Bacuriteua, Acarajó, Vila dos Pescadores e Ponta do Urumajó, encontram-se inseridas nessa porção do corpo hídrico, além da cidade de Bragança. A reserva extrativista Marinha Caeté-Taperaçu, área de estudo desta pesquisa também está inserida neste setor, onde a população vive basicamente da pesca e exploração dos recursos naturais. É na área pertencente a reserva extrativista que vários grupos de catadores, marisqueiros e, pescadores buscam pela subsistência de suas famílias a procura de alimentação e fontes de renda.

Neste contexto, uma atividade produto da dependência dos recursos naturais, e realizada sob as áreas de manguezais locais é representada pela extração ilegal de madeira, um impacto ambiental que se baseia na retirada da madeira dos manguezais, com o intuito de comercialização para fornos de padarias, construção de currais de pescado, e outros fins de atividades.

Apesar disso, os principais problemas ambientais são decorrentes do setor urbano, em decorrência dos múltiplos usos e cenários econômicos desenvolvidos na cidade, dentre eles: a pesca, e o comércio local. O centro da cidade de Bragança está localizado à margem direita do leito principal, e a ocorrência de impactos afeta diretamente a qualidade de vida da população. Pesquisas já realizadas na área como Guimarães et al (2009), Pereira et al (2010) e Monteiro et al (2012) caracterizam a presença de fábricas de gelo, portos pesqueiros, o comércio local, residências, entre outros estabelecimentos econômicos que marcam as atividades humanas associadas ao município.

Bragança destaca-se como uma cidade polo de pescados no Estado do Pará, tanto que a cidade aporta em seu território urbano e rural diversas fábricas e empresas de filamento de peixes, para comercialização dos pescados in natura, servindo para o atendimento de exportação e atendimento de demanda local do município. Conforme mencionado por Silva et al (2013) o estuário do caeté atua como rota para várias embarcações de pesca industrial com destino a comércios regionais, locais e globais. Em virtude das intensas atividades pesqueiras surgem problemáticas como despejo de óleo, poluição das águas, proveniente dos descartes de resíduos, além de contribuir para uma diminuição das espécies marinhas que necessitam de um ambiente preservado.

A Figura 2 apresenta as pressões e impactos ambientais evidenciados na bacia, neste sentido torna-se crucial averiguar os múltiplos usos associados aos recursos hídricos, com vista à amenização do quadro de degradação no Caeté. No decorrer da visita de campo observou-se a ligação e proximidade das comunidades servidas pela água do Caeté, assim com a busca pela conservação das funções vitais das propriedades ecológicas da região, em vista a realidade de degradação proveniente das atividades exploratórias somadas à má gestão da esfera pública.

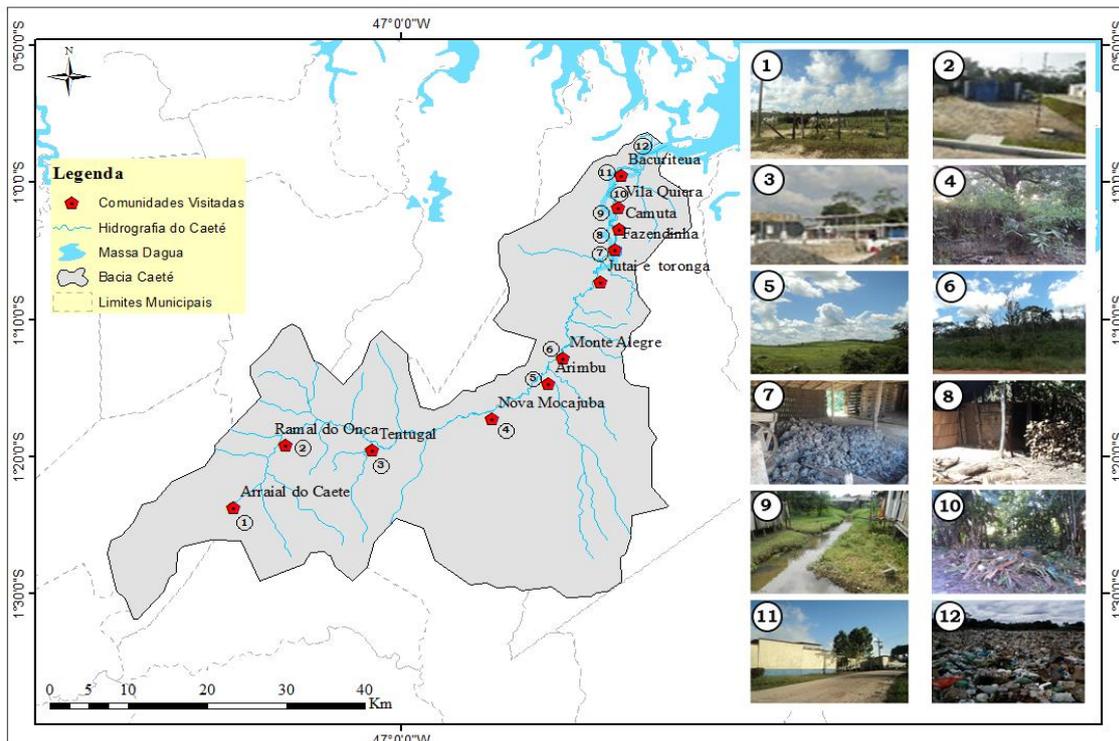


Figura 2 – Mapa de identificação dos impactos e pressão da bacia do rio Caeté

O desenvolvimento de atividades voltadas às práticas da criação de gado e dessedentação de animais ocasionam significativas alterações no uso do solo da bacia. Pesquisas associadas a análise de recursos hídricos no nordeste paraense elucidam que a presença de gado nestas áreas ocasiona a compactação do solo por meio do pisoteio animal, tornando dificultosa a regeneração natural (MONTEIRO et al, 2012). No desenvolvimento da dessedentação de animais, as fezes acabam se direcionando para os corpos hídricos e modificando as condições da qualidade da água que é utilizada pela comunidade.

O abastecimento de água é categorizado como uso consultivo, haja vista a utilização efetiva do manancial hídrico para múltiplos fins, todavia o retorno a fonte provedora é menor. Nascimento e Castro (2016) discorrem acerca do uso crucial da água para garantia da vida, que não só se relaciona com a necessidade de beber água, mas também da efetivação de atividades humanas diárias: lavagem de roupas, higiene básico, irrigação de jardins. Contudo para ao pleno desenvolvimento desses usos é essencial a manutenção da qualidade da água na bacia.

A extração de sedimentos como seixo e argila do rio para confecção de artesanatos e materiais de construção são outras práticas degradantes, em função da grande quantidade de depósitos aluviais e a extração nos leitos fluviais. A extração realizada na fábrica e seixos consiste na dragagem dos sedimentos por meio de bombas de sucção, as quais transportam o material coletado para as peneiras. De acordo com Nascimento e Castro (2016) são consequências visíveis dessa atividade: alteração da calha fluvial, a mudança na velocidade do escoamento, aumento na turbidez, solapamento das margens, dentre outras alterações.

Processos de erosão em áreas adjacentes no rio Caeté também foram visualizadas, geralmente associados ao desmatamento das encostas e o uso intensivo do solo. Para Vale e Bordallo (2016) os sedimentos provenientes de processos erosivos são



transportados para o interior dos afluentes, diminuindo o carregamento de sedimentos recebidos e a profundidade dos mesmos. Neste cenário a retirada da mata original para área de cultivo e o desmatamento foram atividades pontuais ao longo da bacia, no entanto a conservação da vegetação nativa é importante para a manutenção das propriedades físico-químicas dos corpos d'água.

Outro fator de interferência antrópica marcante é presença do lixão de Bragança próximo a um afluente do Caeté, o despejo de esgotos habitacionais e a visualização de depósitos de lixo são fatores agravantes na realidade da bacia próxima aos centros urbanos, através do escoamento do chorume proveniente da matéria orgânica. Sousa e Cunha (2013) elucidam que para áreas destinadas ao depósito de lixo algumas características devem ser observadas, tais como: aspectos físicos do local, declividade, proximidade com nascentes, entre outras que manifestam local próprio ou impróprio para uso.

O perfil socioambiental dos moradores locais: cenário atual da Reserva Extrativista Marinha

Sabe-se que em decorrências das pressões sofridas pelas populações tradicionais, desde 2005, iniciou-se o processo de criação de unidades de conservação no litoral paraense. Dentre estas destaca-se a Reserva Extrativista Marinha Caeté Taperaçu, com o intuito de conservar e proteger as extensas áreas de manguezais, pertencentes no município de Bragança. Entretanto, observa-se a permanência de comunidades que já viviam de forma extrativista, e utilizavam-se da atividade pesqueira para sobrevivência, mesmo antes da criação da Resex.

Segundo o gestor da Assuremacata (Associação dos Moradores da Reserva extrativista Marinha Caeté-Taperaçu) todos os moradores, inseridos nas comunidades pertencentes à Resex, foram beneficiados com programas de auxílio a moradia. De acordo com o mesmo gestor os problemas de desmatamento afetavam principalmente a espécie *Avicennia schaueriana* (Siriúba), também conhecido por mangue preto, muito utilizada para a construção de currais e cercados. Outro uso intenso era o cultivo de arroz, considerado pelo presidente e moradores como “a praga do Caeté”. A plantação de arroz de várzea contribuiu significativamente com o assoreamento e poluição do Rio Caeté e seus afluentes.

Diante do cenário devastado, pertinente aos diversos usos, tanto no rio Caeté, quanto na porção territorial pertencente a bacia, infere-se que a incorporação da associação dos extrativistas e líderes locais da Resex, atuou com significativas intervenções políticas e socioambientais. A inserção da Resex favoreceu a recomposição de antigas áreas desmatadas, auxiliando na recuperação ambiental da área, frente aos processos de uso e ocupação.

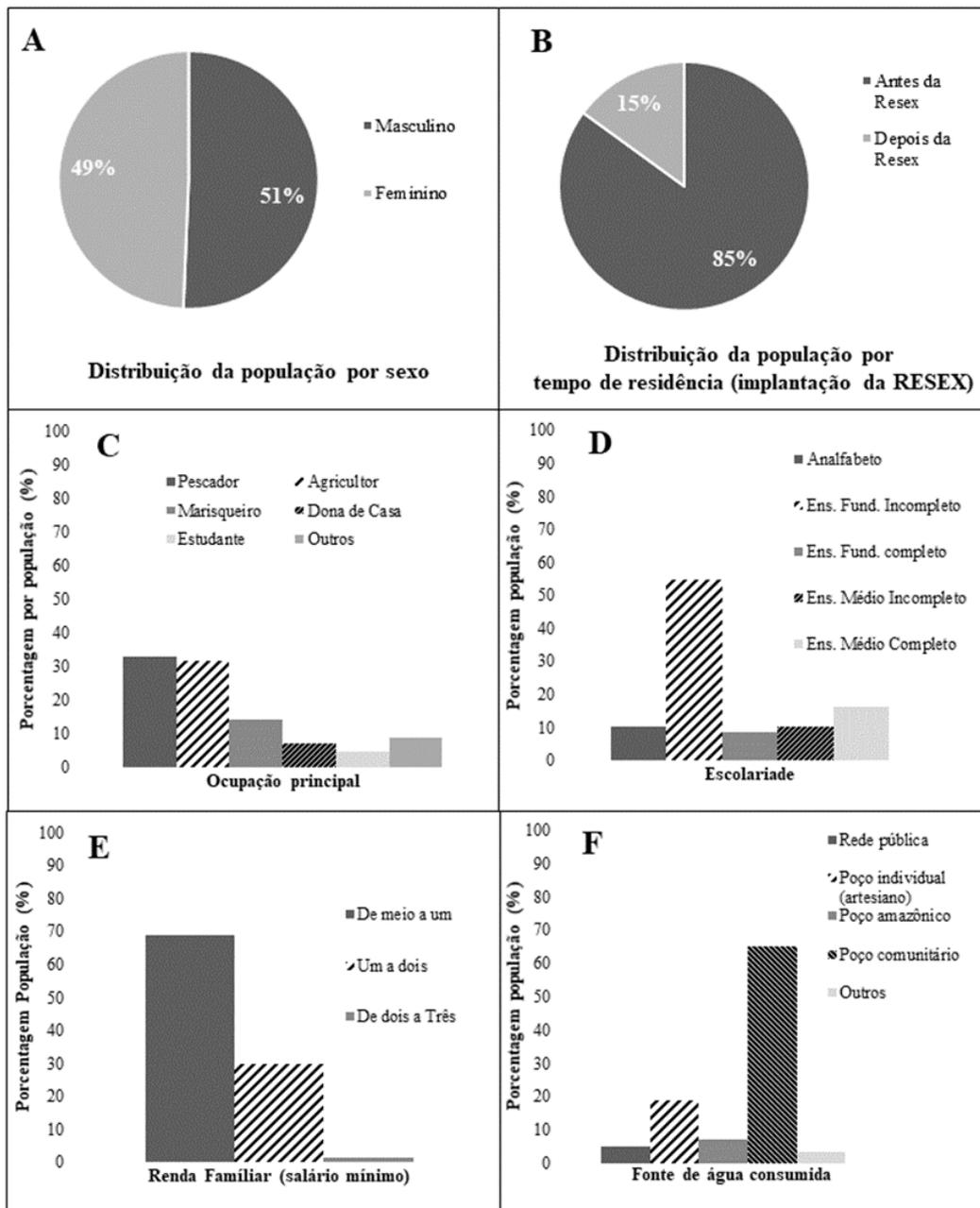


Figura 3 – Mapa de perfil, correspondente: (A) Distribuição dos moradores por sexo. (B) Tempo de residência. (C) Ocupação principal. (D) Escolaridade. (E) Renda Familiar. (F) Fonte de água.

A distribuição por sexo indica o percentual de 51% do sexo masculino, e 49% do sexo feminino (Figura 3A). O tempo de residência é predominantemente superior a 10 anos (Figura 3B), dos quais 85% são residentes do local antes da criação da RESEX. Ressalta-se que a identidade dos informantes foi preservada, tendo em vista as opiniões diversas em relação à implantação da Reserva Extrativista e sua execução.

Os entrevistados eram da faixa etária de 13 a 75 anos, com média de 37,7 anos. O grau de escolaridade alcançado é muito baixo (Figura 3D), pois 55% não concluíram o ensino fundamental, e 10% se consideram analfabetos (65%, que corresponde a 100 pessoas). Do percentual total entrevistado, apenas 16% apresentam nível médio completo. Os dados revelam que a educação, assim como em grande parte do Brasil, necessita de



mais atenção do poder público, 55% não concluíram o ensino fundamental, e 10% se consideram analfabetos.

Segundo Almeida et al (2017) existem muitas fragilidades na maioria das escolas brasileiras que descaracterizam o meio ambiente. É urgente a prática de educação sobre as contribuições efetivas para a conscientização das pessoas sobre questões socioambientais. O fator educacional implica fortemente na formação das reflexões críticas e cotidianas. Com relação a renda (Figura 3E), 69% da população economicamente ativa sobrevive com meio a um salário mínimo mensais, 30% com um a dois, e 1% com ganhos dois a três salários.

Sobre a profissão dos informantes (Figura 3C), 33% se identificaram como pescadores (incluindo a coleta de mariscos: *Ucides cordatus* - Caranguejo, *Mytella* sp - Mexilhão, *Callinectes* sp - Siri, *Teredo* sp - Turu), 32% como agricultores, 7% se identificaram como donas de casa e aposentadas. No entanto, houve controvérsia, nestas últimas, porque elas diziam que ajudavam seus maridos na pesca, mas não se identificavam como pescadoras, isso demonstra que as mulheres estão cada vez mais atuantes em diversas profissões. Os 14% somaram as demais profissões existentes nas comunidades, dentre comerciantes, funcionários públicos municipais e pedreiro.

A maioria dos entrevistados faz outros usos da agricultura e da exploração de recursos naturais como coletores e catadoras de caranguejo e pescadores. Percebeu-se um significativo número de mulheres atuando em atividades de pesca, ou associada com catação de mariscos.

CONCLUSÃO

Percebeu-se que as pressões e os impactos causados pelas atividades humanas sobre os corpos de água na bacia do rio Caeté, demonstram importantes modificações na composição de espécies da ictiofauna local, e na disponibilidade hídrica local refletida sobre as áreas de influência da Unidade de Conservação.

A aplicação de questionários para conhecer o perfil socioambiental torna possível a compressão da relação entre as pessoas e o meio natural, além de identificar e quantificar os diferentes olhares inseridos no meio, também fornecem informações relevantes e satisfatórias acerca do entendimento das transformações sociais, políticas e ambientais na região.

Outro fator importante na pesquisa, vincula-se aos problemas ambientais exercidos nas áreas da Reserva Extrativista Caeté Taperaçu, os quais, logicamente moderam-se após a implantação da Unidade de Conservação, no entanto, muito ainda precisa ser realizado a nível de gestão e participação comunitária.

É fundamental a elaboração de um plano de gestão territorial com propostas de fiscalizações e intervenções junto a população local e os órgãos públicos municipais, que visem a minimização dos impactos ambientais, bem como seus efeitos negativos sobre a ambiente natural e seus respectivos recursos. Medidas como o desenvolvimento de um monitoramento ambiental, voltado a bacia hidrográfica do Caeté e seus afluentes, e principalmente a inserção de atividades de educação ambiental, com a distribuição de cartilhas, palestras informativas sobre a preservação/conservação dos recursos naturais, e a importância da manutenção de áreas para gerações futuras.



REFERÊNCIAS

- ABDALA, G.; SARAIVA, N.; WESLEY, F. *Plano de Manejo da Reserva Extrativista Marinha Caeté-Taperaçu*. Volume I. Diagnóstico da Unidade de Conservação. Brasília ICMBio, p- 109. 2012.
- ALMEIDA, R.; SCATENA, L. M.; LUZ, M. S. DA. Environmental perception and public policies – dichotomy and challenges to the development of a sustainability culture. *Ambiente & Sociedade*, v. XX, n. 1, p. 43-64, 2017. doi.org/10.1590/1809-4422ASOC20150004R1V2012017
- BUSATO, M. A.; FERRAZ L.; FRANK, N. L. P. Reflexões sobre a relação saúde e ambiente: A percepção de uma comunidade. *HOLOS*, v. 6, p. 460-471, 2015.
- COSTA LIMA, G. O discurso da sustentabilidade e suas implicações para a educação. *Ambiente & Sociedade*, v. 6, n. 2, p.99-106, 2003.
- COSTA, F. E. V.; DOS SANTOS, N. S. L.; RODRIGUES, J. I. M. Apropriação da natureza para fins econômicos e problemáticas ambientais da bacia do rio Peixe-Boi na cidade de Peixe-Boi (PA.). *Revista do Instituto Histórico e Geográfico do Pará*, v. 2, n. 02, p. 22-33, 2017.
- FERNANDES, M. E. B. *Os Manguezais da costa norte brasileira*. Vol. 3, Laboratório de Ecologia de Manguezal-LAMA, 2016.
- GORAYEB, A.; LOMBARDO, M. A.; PEREIRA, L. C. C. Condições Ambientais em áreas urbanas da bacia hidrográfica do rio Caeté, Amazônia Oriental, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, v. 9, n. 2 p.59-70, 2009.
- GORAYEB, A.; LOMBARDO, M. A.; PEREIRA, L. C. C. Natural conditions and environmental impacts in a coastal hydrographic basin in the Brazilian Amazon. *Journal of Coastal Research*, n. 64, p. 1340-1344, 2011.
- GUIMARÃES, D. O.; PEREIRA, L. C. C.; MONTEIRO, M. C.; DA COSTA, R. M. Aspectos Socioeconômicos e Ambientais das Comunidades Rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Caeté (Pará-Brasil). *Revista da Gestão Costeira Integrada*, v. 9, n. 2, p. 71-84, 2009.
- GUIMARÃES, D. O; PEREIRA, L. C. C.; GORAYEB, A; COSTA, R. M. Exploitation and management of natural resources by rural communities in the Caeté River Basin in Northern Brazil. *Journal of Coastal Research*, n. 64, p. 1228-1232, 2011.
- MISERENDINO, M. L.; CASAUX, R.; ARCHANGELSKY, M.; PRINZIO, C. Y. di, BRAND, C.; KUTSCHKER, A. M. Assessing land-use effects on water quality, in stream habitat, riparian ecosystems and biodiversity in Patagonian northwest streams. *Science of the Total Environment*, v. 409, n. 3, p. 612-624, 2011. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.10.034
- MONTEIRO, M. C.; PEREIRA, L. C. C.; GUIMARÃES, D. O.; COSTA, R. M.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; VIEIRA, S. R.; JIMÉNEZ, J. A. Influence of natural and anthropogenic conditions on the water quality of the Caeté river estuary (North Brazil). *Journal of Coastal Research*, n 64, p. 1535-1539, 2012.
- NARDINI, R. C.; CAMPOS, S.; RIBEIRO, F. L.; GOMES, L. N.; FELIPE, A. C.; CAMPOS, M. D. Avaliação das áreas de conflito de uso em APP na microbacia do ribeirão Morro Grande. *Caminhos de Geografia*, v. 16, n. 55, p. 104-113, 2015.
- NASCIMENTO, F. R.; CASTRO, A. O. *Conflitos pelos usos múltiplos das águas no Trópico úmido Brasil*. In: Planejamento, conflitos e desenvolvimento sustentável em bacias hidrográficas: experiências e ações. Belém: GAPTA/UFPA, p. 277-354, 2016.
- NUNES, E. J. D. S.; SILVA, E. P. D.; SOUZA, E. D.; ROCHA FILHO, J. A. D.; SILVA, D. S. N. D. Geotecnologias no diagnóstico de conflitos de uso do solo de uma microbacia do município de Alta Floresta-MT. *Ciência Florestal*, v. 25, n. 3, p. 689-697, 2015.
- OLIVEIRA FILHO, G. R. Uma breve reflexão sobre o conceito de impacto ambiental. *CES Revista*, v. 27, n. 1, p. 15-28, 2015.
- OLIVEIRA, P. C. A; RODRIGUES, G. S. S. C; RODRIGUES, S. C. Fragilidade ambiental e uso do solo da Bacia Hidrológica do Córrego Pindaíba, Uberlândia, MG, Brasil. *Revista Ambiente & Água*, v. 3, n. 1, p. 54-67, 2008.



- PEREIRA, L. C. C.; MONTEIRO, M. C.; GUIMARÃES, D. O.; MATOS, J. B.; COSTA, R. M. Seasonal effects of wastewater to the water quality of the Caeté river estuary, Brazilian Amazon. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 82, n. 2, p. 467-478, 2010.
- SANTOS, M. R. S.; JÚNIOR, C. N. S. *Caracterização ambiental dos recursos hídricos no município de Bragança, Pará*. In: Ciências Ambientais e o Desenvolvimento Sustentável na Amazônia. Curitiba: Atena, p. 1-5, 2017.
- SANTOS, R. F. Planejamento ambiental: teoria e prática. In: *Planejamento ambiental: Teoria e prática*, p. 184-184. 2004.
- SILVA, I. R.; PEREIRA, L. C. C.; TRINDADE, W. N.; MAGALHÃES, A.; COSTA, R. M. Natural and anthropogenic processes on the recreational activities in urban Amazon beaches. *Ocean & Coastal Management*, v. 73, p. 75-84, 2013. doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.12.016
- SOUSA, T. B.; CUNHA, E. B. Valoração econômica ambiental: uma estimativa do valor de uso e valor de não uso do rio Amazonas no litoral da Capital Amapaense. *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade*, v. 4, n. 2, p. 264-286, 2013.
- SOUZA FILHO, P. W. M. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 23, n. 4, p. 427-435, 2005.
- VALE, J. R. B.; BORDALO, C. A. L.; DA FONSECA, L. C. N. Análise do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Apeú, Nordeste Paraense, entre os anos de 1999 e 2014. *Revista do Instituto Histórico e Geográfico do Pará*, v. 2, n. 02, p. 76-83, 2016.
- VASCO, A.P.; ZAKRZEWSKI, S.B.B. O estado da arte das pesquisas sobre percepção ambiental no Brasil. *Perspectiva*, v.34, n.125, p.17-28, 2010.

Bases digitais consultadas

- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Bragança-Pará*. Censo 2010. Disponível em www.ibge.gov.br/cidadesat/xtras/perfil.php?codmun=150170&search=para%5Bbraganca.
- MMA. Ministério de Meio Ambiente. *Unidades de Conservação*. Disponível em www.mma.gov.br/areas-protegidas/unidades-de-conservacao/.



**VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL E EXPOSIÇÃO AO RISCO AMBIENTAL:
Um estudo de caso da comunidade Newton Miranda, bairro da Água Boa, Distrito
Administrativo de Outeiro, Belém-Pará**

Reginaldo Rocha Rodrigues¹ e Márcia Aparecida da Silva Pimentel²

Resumo

O presente artigo propõe a elaboração de um diagnóstico de vulnerabilidade socioambiental na comunidade Newton Miranda, localizada no distrito administrativo de Outeiro, pertencente ao município de Belém, Pará, com a pretensão de identificar os problemas socioambientais que afetam a qualidade de vida dos moradores e os impactos ambientais decorrentes das intervenções realizadas sobre o terreno. O estudo consistiu na realização de trabalho de campo com pesquisa aos moradores e levantamento foto descritivo como ferramenta para a identificação dos problemas socioambientais e a constatação dos riscos sociais e ambientais que empregam a condição de vulnerabilidade a comunidade, levantamento bibliográfico de dados primários e secundários sobre a vulnerabilidade socioambiental e o contexto de formação da comunidade; consulta em acervo do programa *Google Earth* para mensurar a mudança na paisagem da área de estudo no decorrer do processo de formação. Após identificação dos riscos e das vulnerabilidades há a discussão sobre os conceitos de vulnerabilidade social, ambiental e socioambiental e dos riscos que caracterizam esta condição e a relação que tais riscos possuem com os problemas socioambientais enfrentados pela comunidade. Por fim, o diagnóstico pretende demonstrar a importância da percepção do morador como meio de identificação das problemáticas, e assim, confirmar o importante papel do morador enquanto agente passivo e ativo diante das mazelas presentes em seu cotidiano. O estudo gerou como resultado um croqui das zonas de vulnerabilidades identificadas a partir dos problemas socioambientais apontados pelos moradores, e outro croqui que exemplificou o perfil topográfico do terreno a partir de informações coletadas em campo.

Palavras-chave: Vulnerabilidade socioambiental, risco social, risco ambiental.

¹ Faculdade de Geografia e Cartografia (IFCH/UFGA), reginaldoem@gmail.com. ²mapimentel@ufpa.br



INTRODUÇÃO

A ocupação Newton Miranda surgiu no contexto da demanda por moradias, que vem ganhando cada vez mais evidência na região metropolitana de Belém. Essa demanda é justificada pelo processo de metropolização, que consiste na modernização e valorização de áreas mais centrais da cidade e, conseqüentemente, especulação imobiliária e altos custos de serviços locais. Esse contexto, leva as famílias de baixa renda, a procurarem outros espaços mais baratos. O movimento de ocupação que contribuiu para o surgimento da comunidade, envolveu tanto os moradores da ilha de Caratateua, como de outros bairros de Belém. A ocupação do terreno teve início no mês de junho de 2011, em forma de mutirão, composto por diversas famílias que demarcaram seus lotes com madeiras, lonas e faixas que delimitavam a área.

Para o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), esse tipo de ocupação é conceituado como um Aglomerado Subnormal localizado, em geral, em locais insalubres com precárias condições de habitabilidade e de infraestrutura urbana: “é o conjunto constituído por 51 ou mais unidades habitacionais caracterizadas por ausência de título de propriedade, irregularidade das vias de circulação e do tamanho e formas dos lotes e/ou carência de serviços públicos essenciais” (BRASIL, 2018).

Assim, na área de estudo, observou-se que o processo de ocupação aconteceu de maneira desordenada e irregular, sendo intensificado por problemas ambientais relacionados ao uso do solo e dos recursos hídricos. Toda essa condição, associada ao baixo poder aquisitivo da população e a ausência ou ineficiência do poder público, aumentaram as condições de vulnerabilidade social e expuseram essa população aos riscos ambientais, como enchentes, alagamentos e doenças de veiculação hídrica.

A pesquisa objetivou identificar os principais riscos socioambientais que surgiram com a ocupação da área e que afetam diretamente o bem estar dos moradores. A metodologia utilizada foi o estudo de caso com levantamentos de campo e questionário aplicado aos moradores. O artigo está dividido em três seções, a primeira apresenta conceitos e procedimentos metodológicos, incluindo a apresentação da área de estudo; em seguida apresenta-se os indicadores de risco ambiental, e a terceira seção trata do zoneamento ambiental e a identificação de risco socioambiental na comunidade.

A VULNERABILIDADE SOCIAL DA COMUNIDADE NEWTON MIRANDA E OS INDICADORES DE RISCO AMBIENTAL

A comunidade Newton Miranda está localizada no bairro da Água Boa, no Distrito Administrativo de Outeiro, município de Belém, estado do Pará (Figura1). Segundo Zanella et al (2013), as condições demográficas, culturais, políticas e econômicas influenciam as pessoas, ou territórios contendo grupos de pessoas, a estarem na situação de maior ou menor vulnerabilidade, isto é, refletem a capacidade de enfrentar os riscos e aproveitar as oportunidades visando melhorar a situação de bem-estar, ou impedir a sua deterioração. Nessa comunidade, o levantamento de campo, acompanhado de registros fotográficos e dos questionários aplicados aos novos e antigos moradores e visitantes, permitiram observar as condições sociais e de infraestrutura urbana local.

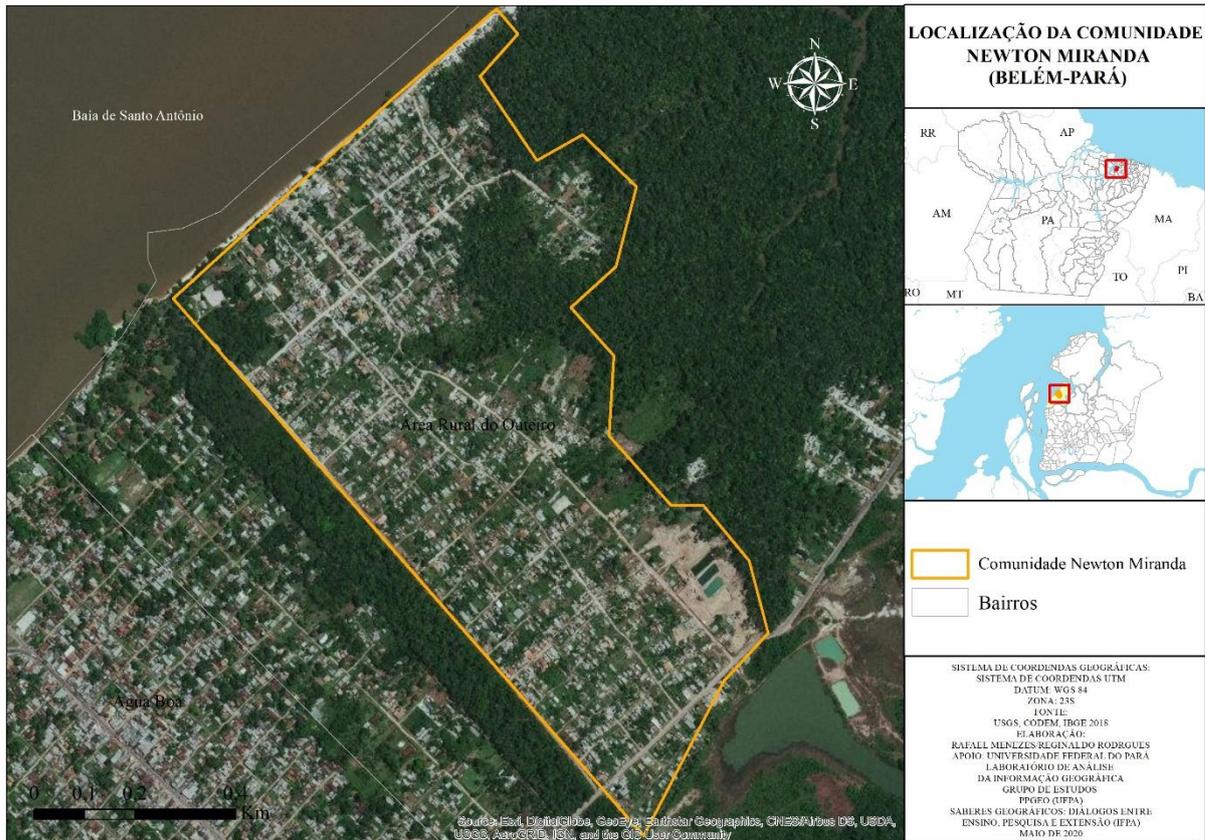


Figura 1 - Mapa de localização da Comunidade Newton Miranda.
Fonte: USGS, CODEM, IBGE (2018),

Infere-se que a carência de políticas públicas nas áreas essenciais como saúde, segurança, saneamento, transporte e incentivo ao lazer, acentua os problemas sociais e ambientais na comunidade. A precariedade do saneamento básico, expõe os moradores ao risco às doenças de veiculação hídrica e outras endemias relacionadas à propagação de vetores relacionados ao acúmulo de lixo.

O risco se potencializa pela falta de um sistema de esgoto sanitário, permitindo que os rejeitos gerados nas residências sejam despejados diretamente nas ruas ou na baía de Santo Antônio, ou ainda, no igarapé do Queiral, atingindo também os poços de água subterrânea. Esse conjunto de corpos hídricos, possui uma função indispensável para a comunidade, ora como fonte de captação de água potável, ora como fonte de alimentação e renda, já que muitos moradores vivem da pesca como meio de subsistência e outros do turismo na praia do Belo Paraíso, balneário que surgiu com a formação da ocupação.

Ao relacionar os problemas levantados pela comunidade, ao risco no qual os moradores estão vulneráveis, torna-se possível identificar as zonas de maior ou menor risco ambiental.

De acordo com Medeiros e Souza (2016), os problemas sociais afetam diretamente o bem estar dos grupos de indivíduos que caracterizam a vulnerabilidade social. Deste modo, a vulnerabilidade social é condicionada pela capacidade de defesa ou resposta frente a um evento que constituem riscos.

A vulnerabilidade social para esses autores “refere-se à maior ou menor capacidade de controlar as forças que afetam o bem-estar, isto é, ter a posse ou controle de ativos que constituem os recursos requeridos para o bom uso das oportunidades oferecidas pelo mercado, pelo estado e pela sociedade”. Então, os autores acrescentam que o conceito de vulnerabilidade é “como um risco social caracterizado pela concentração precária (ou falta) de serviços coletivos e de investimentos públicos em infraestrutura, por consequência, provocam a desproteção social das comunidades mais carentes.



Na pesquisa feita com os moradores e visitantes da comunidade Newton Miranda, foram consultados 47 moradores (24 antigos e 23 novos), e 4 visitantes, totalizando 51 pessoas consultadas. A maior problemática apresentada foi a necessidade de asfaltamento e calçamento das ruas, que permitiria o deslocamento dos moradores com segurança. Além disso, como não há um sistema de drenagem de águas pluviais são constantes as situações de alagamentos. Essa situação da infraestrutura viária pode justificar a falta de uma linha de transporte público, necessidades que se somam a outras, como a falta de praças e espaços de lazer; e de escolas e creches que atendam a demanda local.

Em relação a vulnerabilidade ambiental, Souza et al (2000), refere-se aos conjuntos integrados de fatores ecológicos e biológicos que, diante de atividades humanas ocorrentes ou que venham a se manifestar, poderão sofrer alterações que afetam, total ou parcialmente, a estabilidade ecológica de um dado local. Neste contexto, a vulnerabilidade ambiental pode ser compreendida a partir da análise das características ecodinâmicas dos sistemas ambientais, relacionando também a capacidade de resposta do meio físico aos efeitos adversos provocados por ações antrópicas. Assim, cabe salientar que as enchentes e, conseqüentemente, os seus danos são decorrentes da ocupação irregular da área.

Na comunidade foram encontrados outros problemas ambientais como os casos de desabamentos das falésias existentes na praia do Belo Paraíso. Nessa área houve desmatamento e construção de escadarias e valas para escoar efluentes para a praia. Em outros trechos há construções sobre as falésias. A pressão antrópica potencializa a erosão costeira e, por consequência, provoca o desabamento da falésia e do que está sobre ela.

Deschamps (2004), defende o conceito de vulnerabilidade socioambiental, o qual sintetiza a vulnerabilidade ambiental e social de forma simultânea, materializando-se no território e num dado recorte temporal. Acrescenta-se a essa colocação, a noção de vulnerabilidade socioambiental proposta por Cunha et al (2003). Os autores introduzem nesta questão a abordagem socioeconômica (Tabela 1) onde uma série de dados revelam a distribuição desigual dos bens e serviços públicos (coleta de esgoto e resíduos, abastecimento de água encanada, agentes de saúde) e as desigualdades socioespaciais, materializadas na ocupação diferenciada do território.

Tabela 1 - Perfil socioeconômico dos moradores entrevistados, comunidade Newton Miranda.

Perfil socioeconômico moradores da Newton Miranda		
Gênero		
Feminino	20	43%
Masculino	27	57%
Estado civil		
Solteiro	15	32%
União estável	16	34%
Casado	16	34%
Moradia		
Madeira	18	38%
Alvenaria	21	45%
Mista	8	17%
Salário		
Sem renda	20	42%
Até 1 salário mínimo	22	47%
Mais de 1 salário mínimo	5	11%
Escolaridade		
Sem escolaridade	10	22%
Ens. Fundamental	16	34%
Ens. Médio	18	38%
Ens. Superior	3	6%



Considerando os riscos aos quais os moradores estão expostos, nota-se uma correlação entre o meio físico e sua dinâmica, com a capacidade de reação e proteção desses indivíduos (vulnerabilidade social) e suas condições de vida (SANTOS, 2015).

Ao analisar o perfil socioeconômico dos entrevistados, concluiu-se que a maioria de famílias vivem de algum programa de renda mínima do Estado, como Bolsa Família e o Benefício de Prestação Continuada - BPC. Outros conseguem algum trabalho realizando pequenos serviços como autônomos. A pesquisa demonstrou também há número considerável de pessoas que não possui qualquer tipo de vínculo empregatício.

Cunha et al (2003), em seus estudos sobre vulnerabilidade, propuseram um zoneamento da vulnerabilidade e do risco, o que contribuiria para identificar carências e vantagens diferenciadas que, mais além das disponibilidades materiais, possam dar maior poder de resposta ao conjunto de dificuldades que o espaço desigual impõe aos habitantes.

Seguido esse caminho, foi identificado na área de estudo, as zonas de risco considerando as vulnerabilidades sociais e ambientais, na comunidade Newton Miranda.

A percepção ambiental construída coletivamente, pode representar um importante ponto de partida para a compreensão dos riscos que os moradores estão vulneráveis e o entendimento sobre o seu papel enquanto cidadão que tem a responsabilidade de conservar, preservar e cobrar ações do Estado para o meio ambiente. Este seria o ponto de partida para reverter ou controlar os riscos. Nesse caso, a percepção dos moradores sobre a comunidade foi essencial para essa cartografia.

O processo de autoconhecimento e a participação coletiva, influenciam para que o morador, ao perceber os riscos, possa agir sobre eles e reduzir sua vulnerabilidade diante do problema.

INDICADORES DE RISCO

O levantamento de campo permitiu o registro de indicadores de vulnerabilidade socioambiental dos moradores e visitantes, além de possibilitar a identificação de risco social e ambiental aos quais estão expostos.

Para Castro et al (2005), o conceito de risco social é resultante de carências sociais que contribuem para uma degradação das condições de vida da sociedade, como exemplo, o acesso aos serviços básicos de saneamento, água potável e coleta de lixo, podendo incorporar as condições de emprego e renda etc. Dagnino e Carpi Junior (2007), os riscos sociais estão diretamente relacionados ao produto das sociedades e as formas políticas e administrativas adotadas, como crescimento urbano, a formação de povoamento etc.

A partir dos registros fotográficos, foram elencados os seguintes indicadores de risco:

- a) Indicadores de risco à saúde - contaminação dos recursos hídricos:
- A ausência de um sistema regular de abastecimento de água e disposição inadequada de resíduos sólidos que contribui para proliferação de vetores de transmissão de endemias. A contaminação da água chega aos poços que são o principal meio de captação de água para consumo doméstico, uma vez que estes, na maioria, são instalados de maneira inadequada, com pouca profundidade e em locais indevidos (Figura 2 a, b).
 - A coleta irregular de resíduos domésticos resulta na ocorrência de doenças ligadas a poluição e contaminação dos recursos hídricos, sobretudo pelo chorume que se infiltra no solo e atinge a água dos poços utilizados pela comunidade (Figura 3a).
 - O despejo de lixo doméstico em lugar inadequado acarreta no aparecimento de animais (ratos, mosquitos, lesmas) transmissores de doenças como dengue, leptospirose, leishmaniose entre outras (Figura 3, de b a e).
 - O despejo de esgoto na baía de Santo Antônio e no igarapé do Queiral polui os cursos d'água que são utilizados por moradores e banhistas, para atividades de lazer e meio de subsistência (Figura 4).



(a)



(b)

Figura 2 - Sistema de captação de água por poço tradicional próximo a terreno com despejo irregular de lixo (2a) e poço artesiano na área da praia (2b).



(a)



(d)



(b)



(c)



(e)

Figura 3 - Despejo irregular de lixo na entrada da comunidade (3a), em terrenos baldios (3b), na estrada de acesso a comunidade (3c), nas encruzilhadas (3d) na praia (3e), destaque para a queima do lixo como alternativa para a ausência de coleta regular.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 4 - Despejo de esgoto doméstico no igarapé do Queiral (4 a, b), despejo direto na praia Belo Paraíso (4 c, d, e) e diretamente nas ruas, como resposta à falta de infraestrutura.



- Falta de infraestrutura para sistema de esgoto (Figura 5). Cabe ressaltar, nesse exemplo, o direito ao acesso a água potável está sendo negligenciado, contrariando a resolução da ONU - Organização das nações unidas nº 26/292, de setembro de 2010, que declara ser fundamental para o ser humano a garantia a qualidade de vida e, por isso, deve ser garantido o direito ao acesso a água limpa e segura com saneamento (CORREA, 2013). O cumprimento da resolução, garantiria a justiça social em relação ao acesso a água potável e ao saneamento básico adequado a população.
 - Ruas sem pavimentação, sem as condições de trafegabilidade, sem calçamento, expondo os moradores ao risco de acidentes. (Figura 5b);
 - Ausência de linha de transporte coletivo que atendam às necessidades de locomoção da comunidade;
- Deficiência de escolas e postos de saúde para atenção básica às famílias.

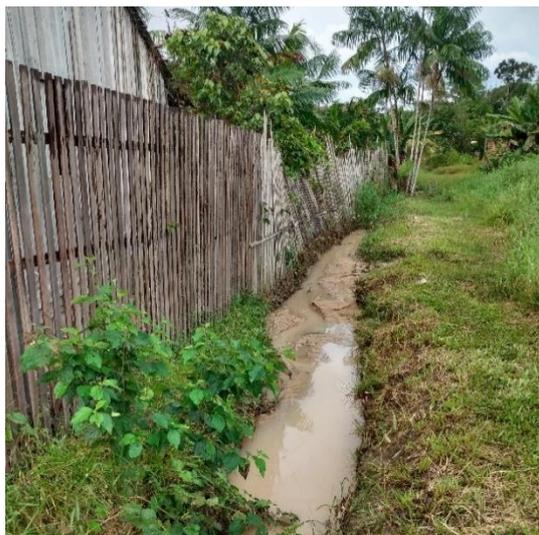


Figura 5 - Ruas esburacadas (a), sem asfaltamento e calçamento, implicando em baixas condições de trafegabilidade (b).

A Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA) não implantou, na comunidade, a rede de água tratada e, além dos problemas já mencionados anteriormente, acrescenta-se a falta de segurança pública (criminalidade violenta impera, milícias, tráfico de entorpecentes, poderes paralelos).

b) Indicadores de risco aos desastres ambientais - áreas inapropriadas para habitação em função da erosão desabamento das falésias:

- Áreas de alagamento e de enxurradas derivadas do período de chuvas intensas e áreas com influência das marés. (Figura 6)
- Desabamento das falésias, as intervenções realizadas no meio físico, tais como, a retirada da cobertura vegetal, abertura de acessos, construções de escadarias, abertura de valões para escoamento de água e esgoto, e construções de moradias aceleram o processo de erosão, conseqüentemente causando o desabamento das construções feitas nessa área (Figura 7).



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 6 - Áreas sujeitas a enchentes por estarem próximas ao igarapé (6a), área sujeita a enxurradas localizada em acentuada declividade (6 b, c), área ocupada na linha de costa que sofre diretamente os efeitos das marés (6d).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 7 - Áreas com elevado grau de vulnerabilidade ao risco de erosão acentuada e aos desabamentos das falésias. Falésias com elevado nível de erosão, população tentando medidas paliativas para conter (7 a, b, c, d) e falésias que desabaram levando junto construções irregulares (7 e), e árvore de grande porte (7 f).



Os riscos ambientais que os moradores da comunidade Newton Miranda estão vulneráveis, são intimamente ligados às intervenções que os moradores efetuaram no meio físico (área ocupada). Para Castro et al (2005), os riscos ambientais estão intrinsecamente ligados ao uso dos recursos naturais e das transformações dos sítios pela sociedade. Dentre estas, cabe destacar as várias modificações realizadas na paisagem, tais como, abertura de arruamento, construção de casa e bares sobre a praia e nas falésias, ocupação da região de várzea; como consequência gerou a drástica diminuição da cobertura vegetal, influenciando no aumento da erosão das falésias, entre outras formas de impacto que afetou a comunidade de diferentes maneiras.

Estes impactos para Dagnino e Carpi Júnior (2007), incluem “efeitos e transformações provocadas pelas ações humanas nos aspectos de meio ambiente físico e que se refletem, por interação, nas condições ambientais que envolvem a vida humana”. Tais impactos ou efeitos observados, no estudo da comunidade Newton Miranda, relacionam-se diretamente à ação humana nas condições do meio natural, caracterizado como impactos antropogênicos – resultantes das intervenções humana no meio natural.

Uma vez identificado estes impactos, faz-se necessário a atuação tanto do Estado, quanto da sociedade para amenizar os danos causados ao ambiente que venham a afetar a comunidade futuramente (risco social).

Dessa forma, mesmo sendo conceitos diferenciados, a ocorrência de “impactos” ambientais em um local deve ser elemento indicativo na identificação e localização de riscos em outros locais ou épocas, em virtude da possibilidade de repetição, no espaço e no tempo, daqueles eventos em situações similares.

A inclusão do morador na identificação dos impactos através da percepção sobre estes, foi fator preponderante na pesquisa deste trabalho. Além de ser um exercício da participação para reconhecer o problema, fornece ferramentas que permitam buscar os responsáveis por tal risco. Deste modo, o estudo tem a pretensão de promover o entendimento da capacidade que os grupos têm para se informar e se conscientizar sobre os riscos que os ameaçam.

As imagens do programa *Google Earth* demonstram três momentos distintos em que a área de ocupação avançou sobre a cobertura vegetal, cabe destaque para a modificação na paisagem, marcada pela abertura do arruamento. As ruas vão avançando de sul para norte na área da comunidade, em direção a área de influência da maré e em direção à área banhada pelas águas do igarapé do Queiral (nordeste), e pela baía de Santo Antônio (Figura 8).

Na imagem de janeiro de 2010, o terreno ainda estava sobre a tutela de um grupo empresarial de Belém, segundo relatos obtidos nas entrevistas, que tinha a intenção de criar uma sede campestre de uma importante associação no terreno. Nota-se que já havia um arruamento surgindo, evidenciando a intenção de se lotear o terreno para uma futura construção. Há um importante acesso da Avenida 16 de novembro (estrada do Fama), para uma pequena habitação que fica as margens da baía de Santo Antônio, que funcionava como casa de praia dos antigos donos do terreno. Neste momento inicial as ruas ainda não possuíam nomes (Figura 9).

Na imagem de dezembro de 2012, nota-se um grande avanço do arruamento e das construções sobre a vegetação. Fica evidente a diminuição da cobertura vegetal, novos acessos vão surgindo em todo o terreno como arruamentos que facilitaram o processo de loteamento do terreno, principalmente na área mais a oeste da comunidade. O prolongamento se dá na orientação oeste x leste, o acesso que já existia antes do processo de ocupação do terreno recebe o nome de Rua 25 de Setembro, em alusão ao início da comunidade.



Figura 8 - Cobertura vegetal da área onde está localizada, atualmente, a comunidade Newton Miranda, anos de 2010 - anterior ao movimento de ocupação.



Figura 9 - A redução da cobertura vegetal na área da comunidade nos anos de 2012 - início da ocupação do terreno. Fonte: Google Earth (2020).

Os acessos ao passo que vão sendo prolongados tornam-se importantes ruas, que vão adentrando nas porções da cobertura vegetal ainda existente. Dentre esses acessos podemos destacar a passagem Mãe Rainha, que se torna um importante acesso para a praia do Belo Paraíso, e a consolidação da Avenida Beira-mar, que passa a concentrar os bares e restaurantes para atender os frequentadores da praia. Esta é, por sua vez, a área



mais valorizada comercialmente e onde ocorre a especulação imobiliária dado o potencial turístico (Figura 10).

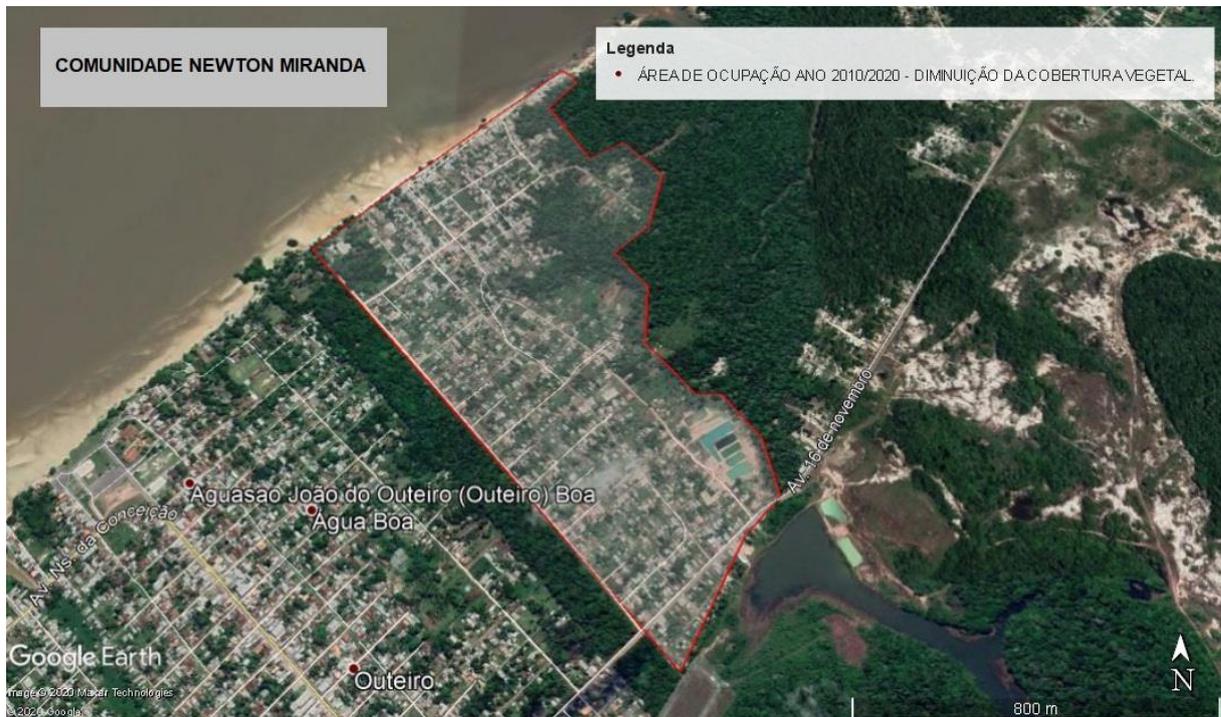


Figura 10 - Cobertura vegetal na área da comunidade no ano de 2020. Fonte: Google Earth (2020).

Na imagem do ano de 2020, nota-se o grande avanço que as moradias e o arruamento tiveram sobre a cobertura vegetal. O vetor de ocupação de orientação oeste x nordeste, passa a intensificar ainda mais com o surgimento da Rua da Piçarreira, o principal acesso mais a nordeste que surgiu - sai da estrada do Fama (Avenida 16 de novembro), até a praia, tornando-se o segundo acesso diretamente a praia. Um fator importante a destacar sobre essa via é que ela está no limite entre a área do terreno mais consolidada da comunidade e a área de várzea do igarapé do Queiral, logo, a partir dela, todas as ruas e moradias que surgiram, ficaram em área sujeitas a alagamentos, seja pelo escoamento da água da chuva, seja pela dinâmica das marés.

Dentre as passagens que surgiram, a partir da Rua da Piçarreira, cabe destacar: a passagem do Igarapé, as passagens Nova Esperança I e II, e passagem 3 de maio, todas estas passagens sofrem com os constantes alagamentos, dado a baixa topografia do terreno em que foram abertas.

Neste sentido, foram elencados os problemas socioambientais que mais afetam a vida dos moradores da área estudada, problemáticas estas derivadas do modelo desordenado de ocupação, uma vez que “são estados desordenados de um meio ambiente, que afetam os seres humanos e a sociedade em vários aspectos e dimensões” (GONCALVES; BRASIL, 2016). Sendo eles: à diminuição acentuada da cobertura vegetal para construção de moradias, a poluição/contaminação das áreas de várzea, córregos e igarapés, bem como seu assoreamento, compactação do solo, diminuição da infiltração de água no solo, aumento do escoamento superficial, surgimento de ravinas e voçorocas, aumento da erosão do solo; poluição do solo por metais pesados encontrados em produtos alimentícios e de limpeza, acarretados pelo descarte irregular do lixo em terrenos baldios, em locais inapropriados; e a poluição dos recursos hídricos, dos lenções freáticos, da baía de Santo Antônio e do igarapé do Queiral pelo despejo de esgoto doméstico diretamente nas ruas, e no curso d’água.



Esses indicativos demonstram o quanto vulneráveis aos riscos sociais, ambientais e socioambientais os moradores da comunidade Newton Miranda estão, pois apresentam intensa desigualdade econômica e a garantia da qualidade de vida já se encontra em elevado nível de vulnerabilidade.

ZONEAMENTO DAS VULNERABILIDADES E INDICADORES DE RISCOS NA COMUNIDADE

A pesquisa considerou a percepção dos moradores sobre os problemas socioambientais da comunidade. A Tabela 2 apresenta os dados coletados nas pesquisas, e o número de vezes em que os problemas foram citados. Associando essas informações aos locais em que eles são identificados, traçou-se um croqui representativo, sem escala, para zoneamento da área, de acordo com o tipo de risco ao qual os moradores estão expostos (Figura 11).

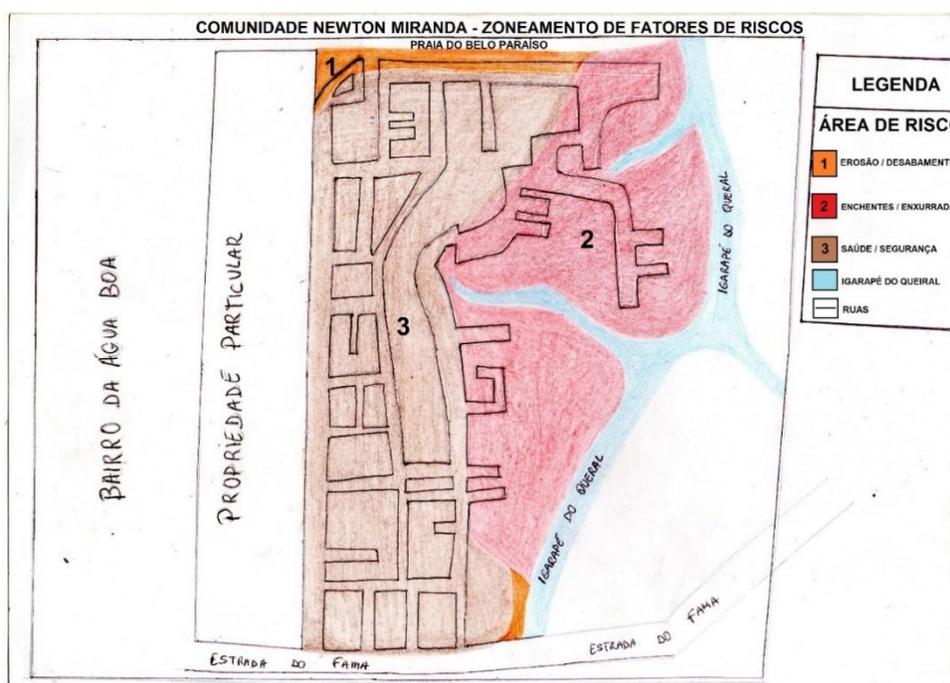


Figura 11- Croqui: Zoneamento de fatores de risco na comunidade Newton Miranda.

Tabela 2 - Problemas socioambientais identificados por moradores e visitantes da Comunidade Newton Miranda.

Problemas socioambientais apontados na pesquisa (geral)		
Problemática	Nº de vezes citada	%
Ausência de infraestrutura urbana	37	71%
Ausência de sistema de água e esgoto	36	70%
Poliuição dos recursos hídricos	32	66%
Ausência de coleta de lixo	26	51%
Dificuldade de acesso	23	45%
Insegurança	21	41%
Enchentes	17	33%
Alagamentos	15	29%
Enxurradas	6	12%
Desabamento das falésias	5	10%
Ausência de espaço de lazer	3	6%
Retirada da cobertura vegetal	2	4%
Consumo de água imprópria	1	2%



De acordo com o levantamento e análise das informações, foi possível a divisão da área da comunidade em três zonas:

1. Zona de risco de erosão e desabamento de falésias, relacionada à declividade do terreno;
2. Zona de risco a enchentes, alagamentos e enxurradas, localizada próximo ao igarapé e a praia.
3. Zona de risco à saúde e segurança à mobilidade, área com problemas relacionados à falta de infraestrutura e saneamento básico.

Zona (1): Risco à erosão e desabamento de falésias, porção mais noroeste do terreno da comunidade

Nesta área, observou-se que os eventos de risco estão ligados ao desabamento do terreno. Foram 7 moradores que confirmaram os efeitos da erosão sobre as falésias que chegam a atingir 14 metros de altura, na Praia do Belo Paraíso. Sobre ela se estendem diversas construções, como estabelecimentos comerciais e residências que potencializam o desabamento. Para essa zona ainda foram identificados outros problemas socioambientais, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 - Dados problemáticas socioambientais na Zona 1.

Problemáticas socioambientais (Zona 1)		
Problemática	Nº vezes citada	%
Ausência de infraestrutura urbana	06	86%
Ausência de sistema de água e esgoto	06	86%
Desabamentos das falésias	05	71%
Poluição dos recursos hídricos	04	57%
Ausência de coleta de lixo	03	43%
Enchentes	03	43%
Alagamento	02	29%
Dificuldade de acesso	02	29%
Insegurança	01	14%

Zona (2): Risco à enchente, alagamentos e enxurradas, porção situada a leste no terreno da comunidade

Nessa área, observou-se que a ocupação é recente e se deu por famílias que vieram em busca de moradias, mas que só conseguiram seus lotes na parte mais baixa do terreno, notadamente na área de várzea do igarapé do Queiral (Figura 12). Em decorrência da baixa topografia do terreno e da ausência de infraestrutura urbana, como rede de escoamento de água e tratamento do esgoto, essas famílias sofrem com constantes alagamentos, durante as fortes chuvas. A Tabela 4 apresenta os problemas informados na pesquisa de campo.

Tabela 4 - Dados das entrevistas na Zona 2.

Problemáticas socioambientais (Zona 2)		
Problemática	Nº vezes citada	%
Alagamentos	12	80%
Enchentes	11	73%
Ausência de sistema de água e esgoto	11	73%
Ausência de infraestrutura urbana	10	67%
Poluição dos recursos hídricos	07	47%
Dificuldade de acesso	07	47%
Insegurança	06	40%
Enxurrada	05	33%
Ausência de coleta de lixo	03	20%

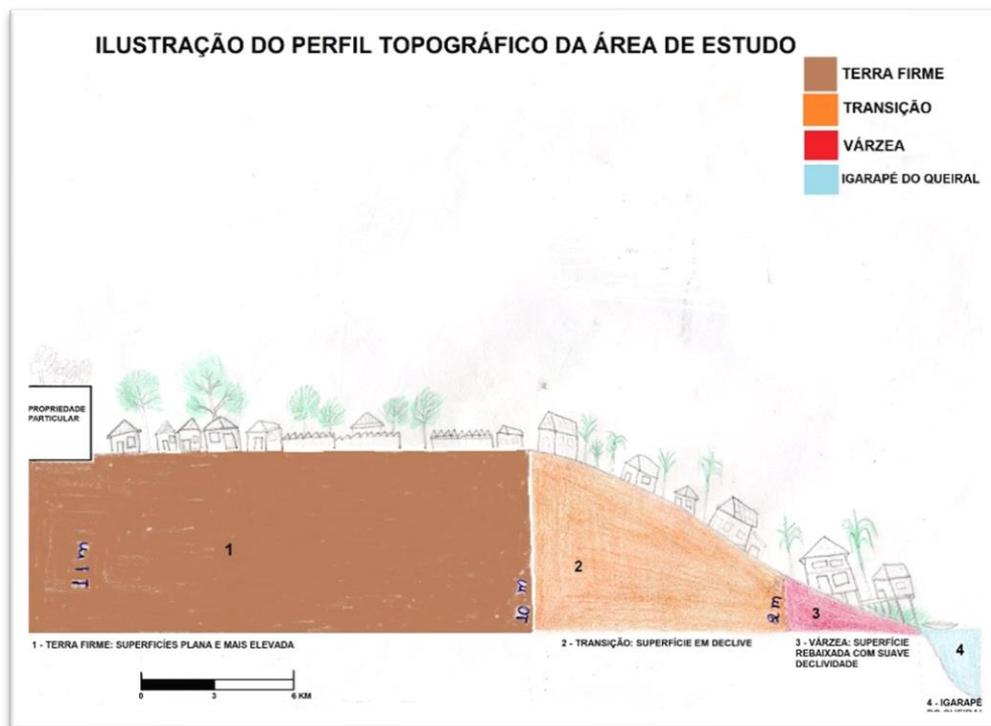


Figura 12 - Perfil topográfico da Comunidade Newton Miranda.



Figura 13 - Perfil de elevação, Google Earth, 2021.

Zona (3): Risco à saúde e segurança à mobilidade, área que comporta a porção oeste da comunidade

Nesta área foram entrevistadas 25 pessoas, entre novos e antigos moradores. Esta ocupação se faz em terreno de terra firme, com altitude variando entre 10 a 25 metros, conforme perfil de elevação do terreno da comunidade gerado pelo *Google Earth* (Figura 4). É onde se concentra o maior número de habitações, em lotes proporcionalmente maiores que os anteriores, onde foram construídas casas de alvenaria.

Contudo, com o maior número de moradores, os problemas socioambientais tornam-se mais evidentes. Novamente, foi citada a falta de infraestrutura, como rede de esgoto e coleta de resíduos, os quais são despejados diretamente nas vias públicas. Considera-se uma zona de risco às endemias, onde os vetores de transmissão encontram ambiente



favorável para sua dispersão. Além disso, a ausência de calçamento e vias esburacadas, levaram a incluir o risco de segurança à mobilidade.

As observações feitas no trabalho de campo e o perfil topográfico demonstrar e descrever em quais topografias as moradias estão sendo construídas, relacionando o fator socioeconômico ao tipo de moradia e local da construção.

Tabela 5 - Dados das entrevistas sobre problemas socioambientais, com moradores zona 3, comunidade Newton Miranda.

Problemáticas socioambientais (Zona 3)		
Problemática	Nº vezes citada	%
Ausência de infraestrutura urbana	20	80%
Ausência de sistema de água e esgoto	20	80%
Poluição dos recursos hídricos	19	76%
Ausência de coleta de lixo	16	64%
Dificuldade de acesso	15	60%
Insegurança	15	60%
Ausência de espaços de lazer	3	12%
Diminuição da cobertura vegetal	2	8%
Consumo de água imprópria	1	4%

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa buscou mensurar quais os problemas socioambientais enfrentados pelos moradores da comunidade Newton Miranda, e identificar as vulnerabilidades pelas quais estão suscetíveis, logo, fizeram-se necessários apontar os indicativos de riscos socioambientais presentes no cotidiano da comunidade.

A pesquisa também procurou ratificar a importância da percepção do cidadão dentro do processo de identificação dos riscos que estão susceptíveis, uma vez que, ao participar desse processo, o indivíduo torna-se parte integrante da construção do conhecimento. Foi constatado a íntima ligação entre as intervenções realizadas no terreno da ocupação aos riscos que tornam os moradores vulneráveis, ou seja, a situação de vulnerabilidade socioambiental que os moradores estão susceptíveis é resultante do surgimento da comunidade, somado a ausência de uma intervenção do Estado para sanar tais problemáticas.

A realização do questionário com a comunidade foi um importante instrumento de conhecimento sobre a realidade vivida, e um importante elo de troca entre os conceitos encontrados nas bibliografias consultadas e o conhecimento acadêmico, com a prática cotidiana dos moradores que participaram da pesquisa e vivem na pele essas problemáticas.

Os registros fotográficos tiveram a função de base real, para a identificação dos riscos, as ferramentas gráficas, as referências bibliográficas trouxeram um excelente leque de conhecimento sobre o tema proposto, sobre o contexto histórico da formação da cidade de Belém e do local de estudo.

O estudo das vulnerabilidades e dos riscos requer uma atuação in loco do pesquisador, ouvir e vivenciar as situações cotidianas dos indivíduos ou grupos sociais que estão diretamente vulneráveis é essencial para o sucesso do estudo.

Os riscos pelos quais os moradores da comunidade Newton Miranda estão vulneráveis, ratificam o estado de abandono de políticas públicas que a comunidade enfrenta e a extrema necessidade de uma atuação do Estado para auxiliar os moradores nas soluções dos problemas enfrentados e garantir bem-estar e dignidades aos cidadãos que ali residem.



REFERÊNCIAS

- CARPI JÚNIOR, S. *Processos erosivos, risco ambientais e recursos hídricos na Bacia do Rio Mogi-Guaçu*. 2001. 188 f. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.
- CASTRO, C. M.; PEIXOTO, N. M. N.; RIO, A. G. Riscos Ambientais e Geografia: Conceituações, Abordagens e Escalas. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 28-2, p. 11-30, 2005.
- CORREIA, F. *Experiências Internacionais de Universalização do Acesso à Água*. Brasília, 2013.
- CUNHA, J. M.; JAKOB, A.; HOGAN, D.; CARMO, R. A vulnerabilidade social no contexto metropolitano: o caso de Campinas. In: Encontro Anual da ANPOCS, 27, 2003, Caxambu. *Anais...* Caxambu: ANPOCS, 2003.
- DAGMINO, R.; CARPI JÚNIOR, S. Risco ambiental: conceitos e aplicações. *CLIMEP Climatologia e Estudo da Paisagem*, v. 2, n. 2, p. 70, 2007.
- DESCHAMPS, M. V. *Vulnerabilidade Socioambiental na Região Metropolitana de Curitiba*. 2004. 192 f. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento, UFPR, Curitiba, 2004.
- GONÇALVES, D. L.; BRASIL, D. S. B. Problemas ambientais e sustentabilidade nas várzeas da Amazônia Tocantina: um estudo no Projeto de Assentamento Agroextrativista São João Batista II, Abaetetuba, Estado do Pará, Brasil. *Revista Pan-Amaz. Saúde*, v. 7, n. 4, p. 89-99, 2016.
- MANOSSO, F. C. Integração vertical e horizontal da paisagem, uma aplicação da teoria da paisagem. *Ensaio de Geografia*, v. 2, n. 4, p. 67-86, 2014.
- MEDEIROS, C. N.; SOUZA, M. J.N. Metodologia para mapeamento da vulnerabilidade socioambiental: caso do município de Caucaia, estado do Ceará. *REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA*, v. 10, n. 1, p. 54-73, 2016.
- SANTOS, J. O. Relações entre fragilidade ambiental e vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos. *Revista Mercator*, v. 14, n. 2, p. 75-90, 2015.
- SOUZA, M. J. N. Bases Naturais e Esboço do Zoneamento Geoambiental do Estado do Ceará. In: LIMA, L. C; SOUZA, M. J. N; MORAES, J. O. *Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará*. Fortaleza: FUNECE, 2000.
- ZANELLA, M. E.; OLÍMPIO, J. L. S.; COSTA, M. C. L.; DANTAS, E. W. C. Vulnerabilidade socioambiental do Baixo curso da Bacia Hidrográfica do Rio Cocó, Fortaleza - CE. *Revista Sociedade e Natureza*, v. 2, n. 25, p. 317-332, 2013.

Bases digitais consultadas

- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Brasil em Síntese* - Belém. Brasília: IBGE, 2018. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/belem/panorama>.



CONTROVÉRSIAS SOBRE AS CONSTRUÇÕES E A SEGURANÇA DE BARRAGENS

Celso dos Santos Piquet Júnior¹; Maria de Fatima Vilhena da Silva²; Hernani José Brazão Rodrigues³; Marcia Aparecida da Silva Pimentel⁴; Alexandre Melo Casseb do Carmo⁵

Resumo:

O tema sobre barragens é muito oportuno quando o foco é dado à questão de segurança. Muito se observa na literatura que essas construções tem trazido benefícios à sociedade, porém muitos prejuízos também lhes são atribuídos, especialmente quando não é devidamente realizado o PAE dentro das condições ideais que permitam a segurança a todos, que participam direta ou indiretamente dos processos relacionados à obra. O presente artigo tem o objetivo de apresentar um quadro histórico sobre condições de segurança às comunidades vizinhas às barragens que devem ser aplicadas em conformidade às legislações vigentes no país e internacionalmente. A construção do texto é uma revisão integrativa sobre barragens baseada na literatura pertinente, encontrada em sites específicos, documentos, livros e periódicos. Os resultados mostram alguns tipos de barragens e usinas, exemplos nacionais e internacionais de desastres causados por barragens e segurança de barragens. Consideramos finalmente que as leis direcionadas às construções de barragens definem a questão de segurança tanto do ponto de vista da qualidade dos materiais utilizados como as tecnologias empregadas. Além disso, existe um arcabouço jurídico que impõe normas, porém, muitas dessas obras ainda precisam de efetiva regulamentação para que haja segurança a todos, sejam às construções ou às pessoas que trabalham ou às populações que necessitam de informações eficazes quanto a conhecer os riscos dos desastres e como se prevenir destes em casos extremos.

Palavras-chave: Usina Hidrelétrica Belo Monte, Plano de Ação Emergencial (PAE), riscos e ameaças.

¹ Corpo de Bombeiros Militar do Pará - Mestre em Gestão de Risco e Desastres Naturais na Amazônia - PPGGRD, piquetjunior@yahoo.com.br.

² Universidade Federal do Pará, Docente do Instituto de Educação Matemática e Científica, e do PPGGRD-UFPA, fvilhena@ufpa.br.

³ Universidade Federal do Pará, Docente do Instituto de Geociências, hernani@ufpa.br.

⁴ Universidade Federal do Pará, Docente do Instituto de Geografia, mapimentel@ufpa.br.

⁵ Universidade Federal do Pará, Docente do Instituto de Geociências, casseb@ufpa.br.



INTRODUÇÃO

Este trabalho é um recorte da dissertação de mestrado intitulada contribuição ao plano de atendimento de emergência para as comunidades a jusante da UHE Belo Monte que traz uma discussão acerca de questões controversas sobre barragens e os riscos socioambientais para comunidades que vivem ao redor ou nas vizinhanças dessas construções que as tornam vulneráveis a sérios riscos caso ocorra o rompimento desses empreendimentos. Em que pese falar sobre as usinas hidrelétricas, essas obras de engenharia utilizam a força hidráulica das águas para a produção de energia elétrica, trazendo um conjunto interligado de tecnologia, ciência e sociedade em que os benefícios e os prejuízos sérios, ao mesmo tempo se confundem.

A exemplo dessas construções apresentamos brevemente um resumo sobre Usina Hidrelétrica de Belo Monte (UH Belo Monte) localizada no Pará, que desde sua primeira abordagem na década de 1970 tem sido palco de grandes discussões pois as comunidades ribeirinhas residentes às margens do rio Xingu, onde se instala a usina em pauta, muito se preocupam com o seu espaço geográfico.

O debate a respeito dessa usina ocorreu em audiências públicas, a exemplo do 1º Encontro de Indígenas do Xingu, sediado em Altamira no ano de 1989. Os estudos do projeto de construção da hidrelétrica de Belo Monte foram condenados por parte dos cientistas, porém estes não lograram êxito. Desta forma, os esforços devidamente chancelados pelo governo brasileiro seguiram rumo à implantação do empreendimento no município de Vitória do Xingu (BERMAM, 2012).

Nesse contexto, é preciso levar em conta que a população ribeirinha, distribuída às margens do rio Xingu tanto a montante quanto a jusante da UHE Belo Monte, tem como forma de sobrevivência precipuamente a pesca artesanal, seguida pela pecuária e pela agricultura, a exemplo da roça de coivara, técnica tradicional em que é realizada a roçagem e o amontoado de galhos, e na vegetação é ateadado fogo para “limpar” o terreno e plantar.

As comunidades a jusante da UHE Belo Monte, tanto em Senador José Porfírio quanto em Vitória do Xingu, são sete e muito similares entre si. As condições de moradia, assistência por parte do poder público, seja de educação, saúde, transporte das comunidades para os centros urbanos, são precárias. Todas têm o rio como elemento de suma importância para a vida de tais comunidades, que, mesmo tendo como alternativas algumas vicinais em determinados períodos do ano, fazem uso frequente do rio para suas atividades rotineiras.

A construção de barragens para acumulação de água com vistas à geração de energia elétrica, ou para acumulação de rejeitos minerais, tem assumido um papel significativo para a vida das pessoas que se avizinham às hidrelétricas uma vez que, tanto a construção civil como empresas construtoras procuram adotar medidas que atendam a segurança das comunidades dentro de normas de órgão fiscalizadores. Para Cestari Júnior (2013), o zoneamento do risco é um fator considerado da máxima importância visto que a classificação dos riscos, e sua magnitude, precisam de um dimensionamento do tempo de alerta, da vulnerabilidade da comunidade por onde passa a onda de cheia. Essas condições servem para a aplicação das medidas de segurança, estimar os danos sociais, econômicos e ambientais e definir o sistema de alerta.



Bayes citado por Pereira (2011, p.13) define que

A probabilidade de dado evento é formulada como o grau de confiança que se tem na ocorrência desse evento. Tal grau de confiança é baseado na experiência e nos conhecimentos sobre o acontecimento em causa. Desta forma são analisadas várias formas e estudos comparando o que já foi construído com o que precisa ser melhorado e mesmo assim não há como se descartar tamanha probabilidade de acontecer um acidente, pois as variáveis são muitas.

Diante dessa definição a probabilidade de ocorrer um acidente, envolve algumas incertezas que, para Henriques (1998) citado por Pereira (2011, p. 14), se constituem em:

- **Incerteza física:** aquela em que o material empregado na estrutura apresenta uma natureza incerta quanto as suas propriedades;
- **Incerteza estatística:** ligada aos erros que podem advir da escolha das variáveis aleatórias;
- **Incerteza do modelo:** oriunda das aproximações que se fazem para o comportamento da estrutura, e;
- **Incerteza humana:** resulta do envolvimento do homem em todas as etapas do processo de construção e utilização da estrutura. Sendo ele, elemento participante em todas as outras, e que tem a capacidade técnica para desdobrar cada uma dessas incertezas e avaliar o que precisa ser feito para evitar um futuro acidente.

Dito isto, o avanço tecnológico por si só não garante isenção de risco de rompimento de qualquer barragem, por maior e melhor tecnologia que a ela seja aplicada, porém é provável que se evite desastres e garanta a segurança dos envolvidos nessas construções se for dada a devida condição de um Plano bem monitorado antes, durante e pós-construção visando a segurança e o bem-estar de quem é trabalhador, da população sujeita a um desastre e o ambiente sócio-natural. Este trabalho tem o objetivo de apresentar um quadro histórico sobre condições de segurança às comunidades vizinhas as barragens que devem ser aplicadas em conformidade às legislações vigentes de seus países e internacionalmente.

BARRAGENS E USINAS

Tipo de Barragens

Na concepção de Oliveira (2012) as barragens podem ser classificadas em quatro tipos a seguir descritas:

a) *Barragens de concreto:* são as que possuem concreto tradicional, concreto ciclópico e concreto compactado a rolo em sua estrutura, e se subdividem em barragens de contraforte, barragens de peso ou gravidade, e barragens em arco.

b) *Barragem de contraforte:* são barragens que se caracterizam por ser constituídas por uma sucessão de contrafortes de perfil triangular e sobre os quais se apoiam uma cortina de retenção formada por placas, simplesmente apoiadas ou contínuas, ou por abóbodas de simples ou dupla curvatura, ou ainda por alargamentos da face de montante do contraforte, segundo o Comitê Brasileiro de Barragens – CBDB. Na figura 1 temos as barragens contraforte com cortina plana

c) *Barragem peso ou gravidade:* são barragens que possuem em sua seção transversal a forma de triângulo com vértice na parte mais alta possível do represamento. De acordo com Gouveia (2019) este tipo de barragem pode ter duas alternativas: Barragem de gravidade aliviada e Barragem de gravidade maciça, definidas da seguinte forma:



i- Barragem de gravidade aliviada: é alternativa à barragem de gravidade maciça. Nesta última, o concreto está mal aproveitado porque as solicitações são muito menores que a resistência do concreto. Na comparação, constata-se que a barragem de gravidade aliviada traz economia no volume e diminuição das áreas sobre as quais pode agir a subpressão e a pressão intersticial (idem, 2019).

ii- Barragem de gravidade maciça: é a mais comum no Brasil, caracterizada por vales muito largos e ombreiras suaves. Pode ser de terra homogênea (construída com apenas um tipo de material), ou de terra zoneada (aquela que, por falta de área de empréstimo com material argiloso suficiente para a construção de todo o aterro, prioriza o núcleo argiloso, no centro). Por ser uma estrutura menos rígida, permite fundações mais deformáveis, transmitindo esforços baixos para as fundações de qualquer tipo de solo ou rocha (idem, 2019).

d) *Barragem em arco*: caracteriza-se pelo fato de as forças e momentos serem transmitidos às encostas do vale.

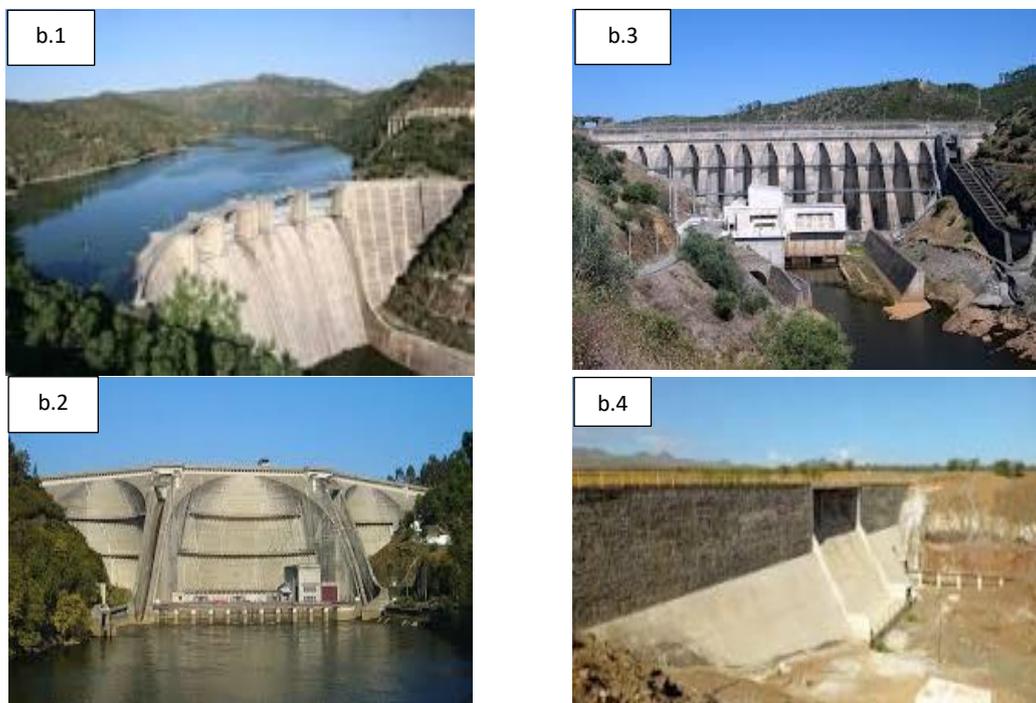


Figura 1 - Tipos de barragem com contraforte: (b.1); contraforte com abóbodas múltiplas (b.2); contraforte de cúpulas múltiplas (b.3), contraforte de cabeça maciça (b.4). Fonte: EngWhere (2018).

Tipos de Usina

De acordo com Pereira (2015), as usinas podem ser classificadas em três tipos em função da operação: usinas a fio d'água, usinas de reservatório de regularização e usinas reversíveis.

O autor define que a usina a fio d'água não se utiliza de reservatórios de regularização, ou seja, o nível operativo de água não varia, e, se varia, é bem pouco. Quanto às usinas de reservatório de regularização, como o próprio nome diz, apresentam reservatório de acumulação/regularização que regula o nível da água conforme a necessidade ao longo do ano e conforme os períodos de enchente e estiagem. Já as usinas reversíveis com mais de um reservatório, são tipos em que a



água é bombeada para reservatórios mais elevados durante horas de menor demanda de energia do sistema, para posterior utilização e geração nas horas de pico.

Quanto à utilização das usinas Pereira (2015, p. 60) define dois tipos:

a) *Usinas de base*: são as que utilizam de forma contínua a energia por ela gerada, dessa forma pode-se entender que as usinas a fio d'água são necessariamente usinas de base.

b) *Usinas de ponta*: são construídas para atender uma necessidade dos horários de pico. Elas dispõem de um reservatório utilizado quando o nível de água desce e a demanda não acompanha o nível, sendo assim o reservatório é acionado para mandar água para um reservatório principal, e esse, por sua vez, supre a demanda necessária.

Como se pode ver, tem-se diferentes classificações para este tipo de construção. E, de acordo com o campo de estudo, outros conceitos surgem em diferentes literaturas. Contudo, a maneira geral aqui abordada no texto mostra um leque de conceitos necessários que leva ao entendimento do histórico de barragens e alguns acidentes registrados. Apesar do histórico ser relevante, muito ainda precisa ser estudado e, principalmente, levado ao conhecimento das populações que estão mais próximas às construções dessas grandes estruturas. O sentido de conhecer é para que possa se antever a qualquer situação anormal e mitigar os danos e prejuízos que os acidentes podem causar nas áreas ambiental, tecnológica e humana.

O levantamento de informações acerca das barragens, seja para geração de energia, seja para armazenamento de rejeitos, demonstra que o número de construções dessa natureza vem aumentando muito no Brasil. De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA), no Relatório de Segurança de Barragens (RSB) de 2016, as barragens foram classificadas por categoria de risco em um número de 3.691 e, por Dano Potencial Associado, em 4.159. Isso indica que houve um crescimento exorbitante no número de construção de barragens, e a fiscalização atinente às obras possivelmente não está acompanhando com as inspeções preventivas e possíveis correções para evitar acidentes.

O resultado dessa inoperância ou falha nas inspeções traz consequências que podem ser irreversíveis ao cenário local e às famílias que tiverem seus entes vitimados por tais acidentes. Além disso, o meio ambiente fica prejudicado e precisará de muito tempo para restabelecer suas características primárias o que implica na ordem da relação natureza-homem-tecnologia.

EXEMPLO DE DESASTRES CAUSADOS POR GRANDES BARRAGENS NO MUNDO

Para ilustrar problemas com a segurança, apresentamos a seguir exemplos de algumas barragens em vários países que tiveram acidentes de grande magnitude.

Barragem de South Fork

Construída no afluente do Mississipi em uma região montanhosa, no estado da Pensilvânia, EUA, a barragem tinha como objetivo o escoamento de produtos de minérios e o aumento das condições de navegação de um canal. De acordo com Pinto (2008), sua construção levou cerca de 13 anos, sendo finalizada no ano de 1853. A troca de titularidade acontece tendo-se o Estado como vendedor e o Sr. Ruff como comprador; assim, há mudança também na forma de exploração da barragem por seu novo proprietário. A barragem deixa de ser de acumulação de minérios para ser um clube de pesca e caça.

Essa mudança levou o comprador a fazer afixação de uma grade metálica e colocação de uma rede na entrada do vertedouro para evitar a fuga de peixes, e também houve a decisão de se baixar a cota do coroamento. Desta feita, permitia a circulação



de veículos, ou seja, modificações na exploração que não eram previstas na construção e tampouco no projeto idealizado originalmente.

Em 1880, os órgãos estatais manifestaram preocupação com a barragem, porém seu proprietário garantiu que tudo estava sob controle e não haveria perigo. Mas, no dia 31 de maio de 1889, com a alta precipitação pluviométrica, o nível do lago começou a subir de forma jamais vista, e o perigo estava instalado.

Houve tentativas de remover as grades metálicas do vertedouro e construção de outro vertedouro à outra margem, no entanto as tentativas foram em vão. Ainda se tentou fazer o alteamento do coroamento de forma a evitar o galgamento, mas isso também não evitou o desastre. Às 11h os responsáveis pela obra reconheceram que a tragédia seria inevitável. Às 3h10min a barragem se rompeu, e em uma hora sua onda de inundação chegou à cidade de Jonhstown, com cerca de 30 mil habitantes, a 20km da construção, levando à morte 2.209 pessoas.

Na avaliação das autoridades sobre o tema, a barragem foi bem construída, porém foi mal explorada, assim como constataram que materiais comprados com vistas à economia e à pouca qualidade ocasionaram o colapso do barramento.

Barragem de Gleno

Durante a Primeira Guerra Mundial (1939-1945), a Itália precisava aumentar sua capacidade energética para prover as fábricas têxteis que surgiam em seu território. A cidade de Triuggio (Milão) passa a sediar um projeto ousado e ambicioso do empresário Virgílio Viganò, a Barragem de Gleno, mesmo sem aprovação finalizada do projeto, o que resultou em um desastre (Figura 2).

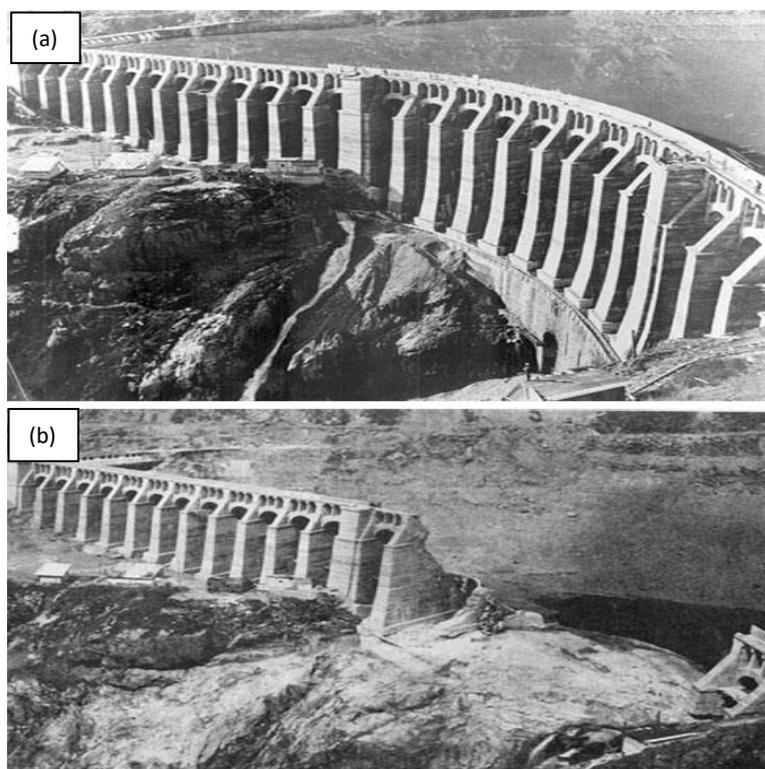


Figura 2 - Barragem de Gleno antes (a) e depois (b) do acidente. Fonte: Pensamento Verde (2016).



Em seis anos, e quase submetendo seus operários a condições desumanas, em tempo recorde e com materiais de baixa qualidade, somados às condições naturais (geologia do terreno e chuvas abundantes), a barragem não suportou a sobrecarga e, no dia 1º de dezembro de 1953, o pilão central da barragem, que já apresentava rachadura, rompeu-se e mais de 6 milhões de metros cúbicos de água percorreram 30 km de distância, devastando cidades inteiras ao longo do trajeto e matando mais de 300 pessoas.

Na avaliação de Alegre (2015), o colapso da barragem de Gleno deveu-se à incapacidade de suportar as pressões hidrostáticas.

Após o referido acidente, a nação italiana passou a adotar novas leis para as barragens como forma de garantir segurança aos seus habitantes, contudo, outro acidente ainda estava por vir uma década depois, na barragem de Vanjont.

Barragem de Malpasset

Localizada no rio Reyran, na Riviera francesa, a barragem de Malpasset teve por objetivos a acumulação de água para abastecimento de água potável para a população, irrigação da agricultura, controle das cheias e servir como manancial para combater os incêndios florestais na região.

A falta de maior investigação na área a ser construída foi um dos fatores para o rompimento da barragem, pois a construção se deu com várias juntas na fundação preenchidas com argila, situações essas que engenheiros ou geólogos deveriam ter apontado no projeto para o potencial perigo na obra.

Segundo Souza (2016), a brecha no paramento da barragem criou uma enorme onda de ruptura e a frente de água, com 40 metros de altura, moveu-se a 70 km/h. Essa onda destruiu duas pequenas aldeias, Malpasset e Bozon, um estaleiro de construção de uma autoestrada, e cerca de 20 minutos depois a ruptura atingiu Fréjus, junto à costa. O resultado desse acidente foi a morte de 423 pessoas devido ao alcance da onda.

Reservatório de Banqiao

Segundo McCully (2001 *apud* ZUFFO, 2005), consta na literatura que o maior desastre mundial relacionado com ruptura de barragens ocorreu na província de Henan, na China, em agosto de 1975.

Muito embora as autoridades chinesas tenham conseguido abafar o caso por quase duas décadas, há indícios de que cerca de 230.000 pessoas tenham perdido suas vidas nesta catástrofe, em decorrência do desastre e de doenças que este causou às populações atingidas. Na avaliação do ocorrido tudo se deu por conta de uma elevação de mais de 2 metros no nível considerado seguro, e por uma obstrução das comportas de descargas por sedimentos não permitiu correta fluidez do volume de água, volume este de cerca de 500 milhões de metros cúbicos que, por consequência, provocou reação em cadeia em mais de 60 barragens a jusante da estrutura.

EXEMPLOS DE DESASTRES NO BRASIL PROVENIENTES DE BARRAGENS

No Brasil possui apenas 1,2% do total de barragens no mundo, de acordo com FERLA (2018, p. 22), mas esse percentual corresponde a, pelo menos, 600 grandes barragens registradas em solo brasileiro e, segundo relatórios do Sistema Nacional de Informações Sobre Segurança de Barragens – SENISB (ANA 2017), o número de barragens cadastradas aproxima-se dos 23.000 nos seus mais variados usos. Tais dados constam de um crescimento significativo nos últimos anos, e são registrados pelo SENISB. Mas, ainda há outras barragens que não estão ainda catalogadas, sendo construídas sem fiscalização e estão em pleno funcionamento.



Todos os eventos desastrosos envolvendo barragens, nos mais diferentes momentos da história, podem facilmente mostrar que esse tipo de construção ainda precisa de muito monitoramento para evitar danos e prejuízos muito altos ou irreparáveis para as pessoas e para o meio ambiente.

O Desastre em Mariana (2015)

Apesar de se tratar de uma barragem de rejeitos em Mariana- MG, ela apresentava potencial poder de destruição muito maior em relação ao rompimento de barragens de acumulação de água. Em 2015, houve deslocamento das águas tão violento na barragem de Mariana que não permitiu que a superfície da região por onde passava a onda de inundação permanecesse a mesma. Esse fato causou transtornos de várias ordens e um alto custo para resposta e reconstrução para os habitantes e órgãos responsáveis. Esse desastre é denominado de desastre socioambiental.

No desastre da Samarco/Vale/BHP foram mais atingidos os ecossistemas e comunidades do alto rio Doce, particularmente aqueles que se localizavam ao longo dos cursos d'água diretamente arrasados pela lama de rejeitos que vazou da barragem de Fundão. Quando a lama atingiu a calha do rio Doce, mesmo depois de grande parte do material ser retido pela barragem da Usina Hidrelétrica Risoleta Neves (Candongá), os impactos foram diretos e violentos sobre os ecossistemas aquático e aluvial, e, em graus diferentes, sobre as espécies dependentes do rio, incluindo as populações humanas ribeirinhas. No geral, ao longo de toda a calha do rio Doce e no mar, as pessoas e todos as espécimes que dependem do rio e das águas costeiras tiveram suas vidas afetadas direta e/ou indiretamente, em distintas intensidades (ESPÍNDOLA; NORDARI; SANTOS, 2019, p. 144-45).

Nos estudos sobre barragens uma das ferramentas imprescindível é plano de emergência centrado na prevenção, utilização e preparação, sem deixar de focar alerta e a comunicação, pois através deste as pessoas podem ter acesso às informações sobre os riscos e também sobre como lidar ou como devem se prevenir de um desastre dessa natureza.

Soriano *et al.* (2016) ressalta a importância de envolver as pessoas como participantes no planejamento e na operação dos sistemas de alerta. A nosso ver, o caso de acidente em Mariana as pessoas não poderiam ser deixadas tecnicamente fora desse plano por ser a parte mais importante desse sistema o qual deve ser orientado a todas as instâncias. Para o autor (*idem*), o empoderamento das comunidades acontece ao se apropriarem de informação úteis, visto que são elas as que mais precisam do plano de atendimento de emergência e sua devida execução no caso de desastres como esse que ocorreu em Mariana e em outros acidentes apontados sobre a insegurança das barragens.

O Plano de Ação Emergencial (PAE) da barragem é baseada no Art. 11 da Lei de Segurança de Barragens (BRASIL, 2010); o PAE deveria ser obrigatório para a barragem que colapsou em Mariana. Dessa forma, a empresa teria obrigação legal de desenvolvê-lo, torná-lo disponível no empreendimento e nas prefeituras envolvidas, e encaminhá-lo às autoridades competentes e organismos de defesa civil. Porém, como relatado pelas vítimas e representantes do município de Mariana, o Plano não existia ou não foi efetivamente aplicado (PORTAL TERRA, 2015). Ainda de acordo com a LSB (Art. 12), o empreendedor da barragem deveria apresentar "estratégia e meio de divulgação e alerta para as comunidades potencialmente afetadas em situação de emergência" (SORIANO *et al.*, 2016).



O Desastre na Barragem de Rejeito do Córrego do Feijão, Brumadinho - MG (2019)

O Estado de Minas Gerais ganhou mais uma triste relevância quanto às barragens de rejeito. Desta vez, o desastre aconteceu em Brumadinho, que dista cerca de 60 km da capital Belo Horizonte, logo no início do ano de 2019, mais precisamente em 25 de janeiro, quando rompeu a Barragem I da Mina de Córrego do Feijão.

A barragem de Brumadinho teve seu PAE apresentado quase 30 anos após o início dos trabalhos naquela região mineira, e somente 13 meses antes do desastre em 2019, conforme afirma Cruz (2019). Esse fato demonstra que não houve cumprimento do previsto em lei; que houve falha na fiscalização quando da execução e verificação junto à comunidade sobre a assimilação dos conteúdos que constituem o PAE.

Muitas especulações se levantam em relação ao ocorrido de Brumadinho, cidade da qual muitos brasileiros sequer haviam ouvido falar, antes desse trágico episódio, mas que ganhou repercussão no mundo depois do rompimento da barragem de rejeito. Um ponto a salientar é quanto à falta do acionamento do plano de atendimento de emergência ou Plano de Ações Emergenciais de Barragem de Mineração – PAEBM. Em outras palavras, houve falha na devida execução do PAE em todas as suas fases.

Em um primeiro momento, a população fixa de trabalhadores estava no local realizando manutenções nas paredes do barramento — poderiam ser jardineiros ou técnicos inspecionando os instrumentos. O fato é que o maciço se rompeu e causou a morte de mais de 200 pessoas sem contar o imenso desastre ecológico, socioambiental e ao patrimônio.

A onda de inundação seguiu ceifando vidas, que não tiveram chance de se proteger da gigante onda de rejeito do desastre no início da tarde de sexta-feira, 25 de janeiro. Os trabalhadores e habitantes não foram alertados de qualquer anormalidade na barragem antes da tragédia, e os funcionários que observaram o desastre e procuraram fugir para locais mais seguros e altos foram os que sobreviveram.

Com relação à construção da barragem de Brumadinho, o restaurante ficava dentro da área de risco, conforme relatos dos sobreviventes e parentes das vítimas que lá trabalhavam. Quanto aos moradores, esses não tiveram chance, pois não foram avisados, e quem não teve percepção da lama de rejeito que rapidamente se aproximava foi fatalmente vitimado. Assim, o tempo para qualquer tentativa de abandono do local seria frustrada, pois não havia nenhum treinamento sobre o que fazer ou para onde ir.

Para Freitas *et al.* (2019), desastres como o de Brumadinho constituem-se em cenários de riscos, o que inclui tanto os intensivos relacionados à segurança na operação das atividades de mineração e suas barragens, como todos os procedimentos de licenciamento, monitoramento e fiscalização, que falharam quanto aos relacionados à saúde e aos riscos ambientais pré-existentes.

As pessoas que estavam no momento do desastre de Brumadinho, segundo a BBC News Brasil (2019), puderam ver de frente a aproximação da lama do rejeito: "Quando caiu a ficha, peguei o rádio transmissor (do veículo) e comecei a gritar desesperada: 'corre, foge, a barragem estourou'. Quem estava naquela faixa (de rádio) me escutou gritando. Depois, fiquei sabendo que teve gente que escapou porque ouviu uma mulher chorar e gritar no rádio. Era eu", diz Ana Paula Silva Mota, motorista de caminhões da Vale.

Narrações como as citadas mostram que o PAE não é simplesmente um documento para atender as fiscalizações dos órgãos voltados para a segurança de barragens, como a Portaria 70.389/2017, do Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM determina, e sim um conjunto de ações que, na impossibilidade de se prevenir o desastre, devem mitigar danos materiais e prejuízos humanos. Entretanto, como não foi acionado o alerta, segundo os trabalhadores entrevistados, não houve como evitar as mortes, que até a presente data ainda não foram totalmente conferidas.



Nada saiu como deveria, pois não houve acionamento, conseqüentemente não havia como se pegar as rotas de fuga e abrigar-se em pontos de encontro, visto que o plano ficou somente no campo da teoria, não atingindo seu objetivo final.

Situações dessa natureza infelizmente têm um preço muito alto, por se tratar de vidas, e, no campo das barragens, muitas delas estão em risco. Mesmo com toda a tecnologia em favor da prevenção, é mais do que necessário pôr em prática os treinamentos e simulações a fim de que a vulnerabilidade das comunidades seja diminuída, bem como não se pode descartar a substituição dos sistemas automatizados por outros unicamente manuais, por motivos claros de possibilidades de falhas do sistema.

A Barragem 1 do Córrego do Feijão possuía 94 piezômetros (equipamento para medir pressões estáticas), sendo 46 automatizados e 41 INA (indicadores de nível d'água), e mesmo havendo seu monitoramento por equipe capacitada, não foi possível agir de maneira satisfatória para informar às pessoas, tanto as que trabalhavam na barragem como as que moravam a jusante da barragem, acerca do desastre (AÇÕES da Vale em Brumadinho, 2019). Eis que a correta execução do PAE e seus registros de simulados necessitam ser postos em prática, aproximando o treino da realidade, e familiarizando todos os envolvidos no possível cenário de desastre.

SEGURANÇA DE BARRAGENS

As barragens representam construções de grande relevância para o bem-estar do homem e imprimem em si os avanços tecnológicos, que, por sua vez, repercutem na convivência do ser humano e o meio ambiente em uma visão de presente e de futuro. As barragens implicam em modificações e adaptação do meio às necessidades do homem, contudo trazem em seu bojo uma carga de riscos associados às possibilidades de desastres desde o início da construção, interferência direta e indireta, interferência nos ecossistemas e na cultura das comunidades afetadas, do ambiente natural, indo até seu devido emprego e pós-conclusão. Essa coexistência tem sido causa de danos e prejuízos a ambos os lados, tanto ao homem quanto à própria natureza.

Por ser uma fonte de produção de energia elétrica renovável, avançada e econômica, as hidrelétricas causam, no entanto, os impactos como o aumento da emissão de dióxido de carbono e metano para a atmosfera, resulta na contribuição do aumento do efeito estufa e o conseqüente o aquecimento global; seus reservatórios retêm grande parte dos materiais que seguiriam seu curso natural nos rios até as zonas costeiras.

De acordo com Fonseca (2018), os processos relacionados às construções e funcionamento de barragens são afetados por: (1) modificação da temperatura e salinidade da água, distribuição e disponibilidade dos nutrientes à biota, com conseqüente comprometimento da qualidade das águas estuarinas e costeiras, e respectiva produção biológica; (2) declínio dos peixes com repercussões negativas nas cadeias alimentares estuarinas e costeiras; (3) incremento da erosão a jusante da barragem, e (4) modificações no nível hidrostático das toalhas freáticas a montante e a jusante. Esse conjunto de elementos que implicam nessas construções, permite-nos entender que existe um leque de variáveis dentro do prisma chamado barragem.

Ao se adentrar no quesito segurança de barragens, no que diz respeito à construção, acompanhamento e destinação, é preciso observar os parâmetros legais em vigência no país para assegurar se todas as exigências estão concorrendo para a segurança de todos, tanto do consórcio construtor quanto das pessoas que residem em áreas afetadas pelo empreendimento. Cabe aos órgãos fiscalizadores das leis, nas esferas municipal, estadual e federal, acompanharem o processo de funcionamento e cumprimento das exigências legalmente em vigor, com força de lei para coibir que



acidentes aconteçam com frequência e gravidade dentro e fora do canteiro de obras e, depois de construída, a barragem propriamente dita.

Fazendo um comparativo com os termos *safety* e *security*, usados na aviação, ambos traduzidos para o português como “segurança”, é importante se dividir para melhor entendimento administrativo das necessidades de abrangência do termo segurança nas grandes construções, assim como para o gerenciamento da segurança operacional.

Para Costa (2013), em geral, o termo *safety* diz respeito a fatores humanos, do meio ou da máquina, no que se refere a erros não intencionais. Distingue-se, portanto, do termo *security*, que designa a prevenção de atos ilícitos, indisciplina em aeroportos e aeronaves e, principalmente, atentados terroristas envolvendo a aviação. Do mesmo modo, em barragens, os termos estão voltados para as condições de segurança, associados ao patrimônio, aos seus colaboradores e usuários.

Dentro da seara das barragens, o termo segurança precisa estar mais do que presente em todas as esferas de trabalho deste tipo de empreendimento, pois a não observância da Lei 12.334/2010, que versa sobre a Política de Segurança de Barragens em sua totalidade, acaba por deixar lacunas quanto aos meios de tornar segura uma barragem antes, durante e depois de sua construção, não somente aos trabalhadores mas também às pessoas que vivem no entorno da barragem, principalmente a jusante, que, em caso de rompimento, serão as mais diretamente atingidas.

Daí a necessidade de ser exigido um trabalho eficiente e eficaz junto às comunidades no que tange aos planos de atendimento de emergência, pois no campo teórico tudo vai bem até o dia em que se precisa aplicar o plano. Contudo, se não houver treinamentos, divulgação, constantes melhoramentos e seriedade quanto às possibilidades de ocorrências de acidentes, ou não for desenvolvida uma cultura de prevenção, certamente vidas poderão ser perdidas, meio ambiente e patrimônio prejudicados por falta ou falha no cumprimento do Plano de Atendimento de Emergência – PAE.

O PAE contempla todas as etapas de atividade das usinas hidrelétricas, mas ainda se encontra como prestação de contas aos órgãos de fiscalização, porém se o plano é postergado ou nunca apresentado à comunidade, que seria a maior interessada nessa ferramenta, como ferramenta de prevenção e posteriormente de sobrevivência em casos mais extremos de acidentes envolvendo barragens, quando a falha na prevenção acontece, as vidas e o ambiente serão prejudicados com possibilidade de levar décadas para restauração ambiental e a convivência com a tristeza pelas perdas das vidas humanas e outras espécies vivas.

Segundo Medeiros (2009) e Silveira (2016), na maioria dos casos de rompimento de barragens as causas de ruptura são atribuídas não apenas a falhas de projeto, mas à falta de fiscalização durante o planejamento, construção e mesmo após essa, pois o dispositivo legal incumbe os órgãos fiscalizadores de atuarem em todas as fases até sua devida desativação, se for o caso. Em um primeiro caso, pode-se afirmar que o projeto não foi executado por profissionais experientes e, em um segundo caso, que a construção não foi executada por empresa devidamente habilitada.

Como foi dito anteriormente a segurança de barragens passa por várias fases, indo da sua idealização à construção, e passando pela constante (re)avaliação (PEREIRA, 2015; SILVEIRA, 2016), para evitar que a qualquer momento possa ocorrer uma ruptura. É fato que a modernização vem colaborar com maior redução de ameaças no que se refere à construção das barragens, contudo a fiscalização durante todas as etapas do processo, desde a gênese até a entrega do empreendimento finalizado, requer cuidados, independentemente da forma como foi construída ou será destinada.

Ressalta-se ainda que, após a entrega, há necessidade de se manter a fiscalização como rotina e o preenchimento de relatórios que atendam às exigências da Agência Nacional da Águas – ANA (2017) em sua Resolução nº 236, de 30 de janeiro



de 2017. É também essencial o acionamento do PAE para as comunidades que compõem a população fixa do empreendimento e os habitantes, principalmente dos vales a jusante da barragem, que receberão os impactos da onda de inundação. Onda essa previamente estudada, identificada e que, ao longo da trajetória a ser percorrida pelo extravasamento súbito da água das barragens, pode causar danos materiais, humanos e ambientais.

Consoante à Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), em sua lei 12.334/10 (BRASIL, 2010), no inciso IV, Art. 12 preconiza: “O PAE estabelece as ações a serem executadas pelo empreendedor da barragem em caso de situação de emergência, bem como identificará os agentes a serem notificados dessa ocorrência”. Todavia para alcançar seus objetivos é definido em lei que sejam realizadas “Estratégias e meios de divulgação e alerta para as comunidades potencialmente afetadas em situação de emergência”. Sendo assim, Agência Nacional de Águas – ANA (2017) e a Política nacional de Segurança de Barragens defendem em conjunto as medidas necessárias para evitar ou minimizar acidentes ou desastres com barragens quer provocado por problemas na construção ou por inobservância da segurança.

Sobre a análise de rupturas ocorridas com barragens de peso verificou-se que essas rupturas ocorreram ao longo das fissuras horizontais do próprio barramento ou no contato com a fundação, como constatado nas clássicas rupturas das barragens de Bouzey na França, de St. Francis na Califórnia, EUA, e de Gleno, na Itália (ZNAMENSKY, 2007). Já as barragens de gravidade são tidas como estáveis, e mesmo assim, ao apresentarem falhas, são levadas ao colapso. Alguns exemplos deste tipo são as barragens de arco que entram em colapso quando suas fundações falham, e as barragens de contrafortes que podem se desintegrar quando suas vigas ou arcos apresentem falhas e desprendem-se da estrutura total como vários compartimentos.

Para obter maior prevenção às condições de ameaças às barragens quanto à integridade física da estrutura, desde a má qualidade de materiais até a má execução dos serviços, foi estabelecida pela *United States Bureau of Reclamation* — USBR (1987) sete parâmetros ora em vigência nos Estados Unidos da América para uma observação da obra em seu estágio inicial: Materiais de construção; Condições gerais que evitem perigo; Deficiências de operação e manutenção; Evidências de deficiências em barragens de material solto; Evidências em vertedouros; Evidências de deficiências nas saídas d’água; Condições adversas no entorno do reservatório.

Segundo Peck (1984), provavelmente nove (9) entre dez (10) rupturas recentes ocorrem não por deficiências do “estado da arte”, mas por causa de negligências que poderiam ter sido evitadas: ou por falta de comunicação entre pessoal envolvido no projeto e na construção, ou por interpretações excessivamente otimistas das condições geológicas. Ou seja, o ator que vai acompanhar todas as fases de maneira passiva ou ativa é o ser humano.

O capital humano tem influência direta na operação, observação, fiscalização e controle de elementos que podem causar acidentes por barragens, e mesmo com tecnologia avançada ainda é preciso trabalhar continuamente junto aos funcionários quanto à sua capacitação e ao monitoramento das atividades desenvolvidas por cada elemento participante de um empreendimento. A inobservância destes parâmetros pode ser uma ameaça total para os envolvidos direta e indiretamente na operação, pois o acidente pode vitimar funcionários da barragem nas respostas aos desastres.

Assim sendo, as barragens, independentemente do uso a que são destinadas, precisam de autorização para sua construção e uso, bem como inspeções rotineiras, por pessoas capacitadas para identificar o andamento das normas em vigência no país e evitar desastres, caso não sejam corrigidas as possíveis falhas na operação e na estrutura.

Em média, ocorrem dez rompimentos significativos de barragens em algum lugar do mundo a cada década, adicionando-se ainda os “quase rompimentos”. As falhas mais



comuns que podem ocorrer em barragens são devidas a enchentes extremas, incertezas geológicas no local escolhido para implantação, perdas de água através de fundações e aterros, defeitos de construção e projeto e sismicidade. No século XX houve 200 casos notáveis de falhas em reservatórios ao redor do mundo e mais de 250.000 pessoas perderam suas vidas em desastres deste tipo (MCCULLY, 2001 *apud* ZUFFO, 2005).

Para evitar os desastres provenientes de barragens, as práticas de avaliação de risco estão sendo integradas no Programa de Segurança de Barragens para ajudar a entender quanto ao desempenho seguro de barragens existentes e os seus impactos no risco (MENESCAL, 2005) e as muitas incertezas (física, estatística, modelo, humana) associadas apontadas por Henriques (1998) citado por Pereira (2011, p. 14).

A avaliação de risco deve ser uma ferramenta adicional que conduza a decisões melhores, ajudando a alcançar os seguintes objetivos: Reconhecer que todas as barragens tem algum risco de ruptura; Considerar todos os fatores que contribuem para o risco; Identificar os fatores mais significantes que influenciam no risco e incerteza, que facilitam a identificação eficiente de dados adicionais e análises; Identificar uma gama ampla de alternativas para administrar o risco, incluindo monitoramento e outros métodos não estruturais; Direcionar fundos e recursos para ações de redução do risco que alcançam risco equilibrado entre barragens e entre modos de ruptura em barragens individuais; Estabelecer credibilidade aos tomadores de decisão e devida diligência para ações de redução do risco. (MENESCAL, 2005). Os objetivos elencados por Menescal indicam a preocupação com os riscos que deve haver para todo tipo de barramento.

Os objetivos expostos para ações de redução e risco se alinham à Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), em sua lei 12.334/10 (BRASIL, 2010), a qual preconiza a segurança de barragens de acumulação de água para quaisquer usos, sobre a disposição final ou temporária de rejeitos e a acumulação de resíduos industriais e a garantia da redução dos acidentes e suas consequências, com obediência aos padrões de segurança em vigência no país. A PNSB também regulamenta todo o processo de construção da barragem, desde o planejamento até sua desativação, e o que poderá ser feito futuramente com as barragens; devendo assegurar e promover o monitoramento e melhorar a fiscalização nas barragens pelo poder público e responsáveis de barragens, trazendo assim uma maior interação de informações quanto às ações de segurança, bem como fomentar a cultura da gestão de riscos.

Ainda na lei 12.334/10, a fiscalização é o principal elemento para melhor garantia da segurança; o planejamento e execução não de ser acompanhados sob a óptica dos órgãos que guardam as leis e colaboram para o bom andamento das atividades que serão realizadas nas barragens, bem como os passos a serem seguidos para se evitar quaisquer tipos de acidentes dentro e fora do empreendimento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Existem muitas normas e leis que se voltam para a questão de segurança de barragens seja no Brasil ou no mundo internacional, há, porém, ainda uma lacuna que precisa ser abordada. São as exigências de segurança ao trabalhador envolvido ou responsável pela construção da barragem, como também a segurança quanto aos habitantes afetados pela obra e sua instalação, visto que estes são deslocados de seus rincões para dar lugar ao espaço que sediará o empreendimento.

O arcabouço jurídico de responsabilização ao cumprimento de leis deve ser mais amplo tanto para prevenir os acidentes, identificar os legalmente responsáveis por danos e prejuízos que possam surgir na falha da prevenção quanto aos prejuízos ao ambiente.

Contudo, há de se convir que quaisquer estudos prévios acerca dos impactos ambientais com a construção de barragem trazem mudanças no cenário tanto a



montante quanto a jusante. É o caso da construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte, no Estado do Pará em que toda a comunidade ribeirinha sofreu e sofre interferência no seu modo de vida e, logicamente, está sujeita a danos caso venha ocorrer elevações abruptas do nível das águas do Rio Xingu; também os casos de desastres de Mariana e de Brumadinho que tantos transtornos ocasionaram e perduram-se os problemas para as pessoas atingidas e para o ambiente natural.

Vimos que os procedimentos de segurança para a realização de construções de barragens possuem direcionamentos bem definidos e aplicados, sob forte penalidade em situação de descumprimento das normas. Porém, ainda falta maior rigor quanto à adequação e assimilação da cultura prevencionista. Em se tratando do empregado, já se tem muito debatido e solucionado para evitar acidentes nos canteiros de obra e dependências das barragens. Entretanto, maior atenção precisa ser dada aos arredores das construções, àqueles que geralmente possuem pouca escolaridade ou pouco recebem informação sobre o empreendimento e desconhecem os riscos a desastres aos quais estão sujeitos.

Diante desses fatos e fenômenos fica claro que a avaliação de o risco em qualquer construção desta natureza e para este fim, deve observar todas as possibilidades que giram em torno dele. Um estudo da percepção dos fatores de risco e a construção do PAE, são fundamentais como estratégia para eliminar as ameaças ou atenuar perigos e ameaças. Também, a fiscalização quanto aos materiais utilizados, a tecnologia empregada, o monitoramento de todos os pontos-chaves da obra são fatores indispensáveis para o direcionamento da segurança na construção de obras tão grandiosas; fatores que sempre estarão direcionados aos objetivos de garantir o máximo de segurança para as pessoas, para o ambiente e para a estrutura da barragem.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DA ÁGUAS. *Resolução n. 236, de 30 de janeiro de 2017*. Sistema Nacional de Informações Sobre Segurança de Barragens - SENISB. Brasília: ANA, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Relatório de Segurança de Barragens (RSB)*. Brasília: ANA, 2016.

ALEGRE, A. F. M. *Análise do comportamento sísmico da barragem de Luzzone: desenvolvimento de um programa de EF3D utilizando uma formulação em deslocamentos e pressões*. 2015. 251 f. Dissertação (Mestrado), Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2015.

BERMAM, C. O projeto da usina hidrelétrica Belo Monte: a autocracia energética como paradigma. *Novos Cadernos NAEA*, v. 15, n. 1, p. 5-23, 2012.

BRASIL. Lei n. 12.334, de 20 de setembro de 2010. Regulamenta a Lei de Segurança de Barragens. Brasília, DF, 2010.

BRASIL. *Plano de Ação Emergencial (PAE) da barragem*. Lei de Segurança de Barragens, Brasília, DF, 2010.

BRASIL. *Portaria n. 70.389/2017*. Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração. Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM. D.O.U. Publicado em 19/05/2017, Edição n. 95, Seção n. 1, 68 p.

COSTA, A. F. C. *Sociedade, saúde e inovação*. Número 1. Aparecida de Goiânia: Editora Faculdade Alfredo Nasser, 2013.

ESPÍNDOLA, H. S.; NORDARI, E. S.; SANTOS, M. A. Rio Doce: riscos e incertezas a partir do desastre de Mariana (MG). *Revista Brasileira de História*, v. 39, n. 81, p. 141-162, 2019.



- FONSECA, M. N. E. *Análise dos modos de falha e efeitos (FMEA) para avaliação de um acidente em barragens de rejeito: um evento de mineração no Brasil*. 2018. 81 p. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.
- FREITAS, C. M. Da Samarco em Mariana à Vale em Brumadinho: desastres em barragens de mineração e saúde coletiva. *Saúde Pública*, v. 35, n. 5, e00052519, 2019. doi.org/10.1590/0102-311X00052519.
- MEDEIROS, J. A. D. M.; RODRIGUES, C. L. P. *A existência de riscos na indústria da construção civil e sua relação com o saber operário*. Paraíba: PGP/UEPB, 2009.
- MENESCAL, R. A.; MIRANDA, A. N.; PITOMBEIRA, E. S.; PERINI, D. S. Prevenção de acidentes envolvendo barragens: Projeto de diagnóstico da segurança de barragens no Brasil. *In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 16, 2005, João Pessoa - PB.
- OLIVEIRA, P. H. A. *Problemas hidrogeológicos em barragens envolvendo o mecanismo de retroerosão tubular*. 2012. 74 f. Monografia (Conclusão de Curso), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- PECK, R. B. *Judgement in Geotechnical Engineering: The Professional Legacy of Ralph B. Peck*. New York: John Wiley & Sons, 1984.
- PEREIRA, G. M. *Projetos de usinas hidrelétricas: passo a passo*. São Paulo: Saraiva, 2015.
- PEREIRA, R. M. R. *Análise probabilística da segurança ao deslizamento de barragens gravidade de Betão*. 2011. 207 f. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.
- PINTO, A. V. Gestão de riscos e segurança de barragens. *In: Simpósio de Segurança de Barragens e Riscos Associados*, 3, 2008, Lisboa.
- SILVEIRA, M. *A implantação de hidrelétricas na Amazônia brasileira, impactos socioambientais e à saúde com as transformações no território: o caso da UHE de Belo Monte*. 2016. 211 f. Tese (Doutorado), Instituto de Ciências Humanas, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- SORIANO, E.; HOFFMANN, W. A. M.; LONDE, L. R.; SANTOS, L. B. L.; SOMOZA, R. C. D. Rompimento de barragens em Mariana (MG): o processo de comunicação de risco de acordo com dados da mídia. *Revista Comunicare*, v. 16, n. 1, p. 52-62, 2016.
- SOUZA, D. H. C. *Análise probabilística e de sensibilidade dos parâmetros de um estudo de rompimento hipotético: barragem de terra*. 2016. 91 f. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.
- UNISDR/ONU. *Campanha "Construindo Cidades Resilientes"*. Escritório das Nações Unidas para a Redução do Risco de Desastres, Ministério do Desenvolvimento Regional, 2010.
- ZNAMENSKY, D. Lições aprendidas de acidentes e incidentes com barragens. *In: Seminário Nacional de Grandes Barragens*, 31, 2017, Belo Horizonte, 2017.
- ZUFFO, M. S. R. *Metodologia para avaliação da segurança de barragens*. 2005. 207 f. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.



Bases digitais consultadas

BBC News Brasil. *Brumadinho, a história de uma tragédia que poderia ter sido evitada*. Disponível em www.bbc.com/portuguese/brasil-47399659. 28 de fevereiro de 2019.

CRUZ, C. Com mais de 30 anos, barragens tinham plano de emergência há 13 meses. *Destak*, Minas Gerais, 2019. Disponível em www.destakjornal.com.br.

ENGWHERE. *Imagens - Barragens*. Disponível em www.engwhere.com.br/category/imagens-barragens/. 2018.

GOUVEIA, F. Tipos de barragens. *AECweb - Projetos e obras*, 2019. Disponível em www.aecweb.com.br/revista/materias/tipos-de-barragens/13731

PENSAMENTO VERDE. *Conheça alguns dos maiores desastres com barragens no mundo*. Disponível em www.pensamentoverde.com.br/meio-ambiente/conheca-alguns-dos-maiores-desastres-com-barragens-no-mundo/. 2016.

PORTAL TERRA. Lama de barragens rompidas atinge cidade a 60 km de Mariana. Disponível em [www.noticias.terra.com.br/brasil/lama-de- -barragens-rompidas- atinge-cidade-a-60-km-de-marianal](http://www.noticias.terra.com.br/brasil/lama-de--barragens-rompidas-atinge-cidade-a-60-km-de-marianal). 2016.

VALE. *Ações da Vale em Brumadinho*. Serviços para comunidade, Minas Gerais, 2019. Disponível em www.vale.com/brasil/pt/paginas/default.aspx



A PROBLEMÁTICA DA QUEDA DE ÁRVORES NA REGIÃO AMAZÔNICA E A PREOCUPAÇÃO DA EDUCAÇÃO AMBIENTAL

Daniel Levy Lima da Silva¹, Nilton do Rosário Souza², Mariana Elizabeth Lopes de Sales³ e João de Athaydes Silva Júnior⁴

Resumo:

Desastres naturais são parte de todas as sociedades mundiais na atualidade. Cada região possui suas particularidades com relação a eles, sendo visivelmente observado que a região Amazônica, em especial o Estado do Pará, é constantemente impactada por desastres classificados como Hidroclimáticos. Sua maior incidência está diretamente ligada às chuvas intensas, tempestades e inundações, sendo as quedas de árvores uma consequência que se repete anualmente. Os transtornos decorrentes destes efeitos são inúmeros, desde perdas materiais até vidas humanas. Dentro desse contexto, este estudo teve como principal objetivo abordar a importância da Educação Ambiental (EA) relacionada como dimensão de conhecimento na percepção de riscos em quedas de árvores que, historicamente, afetam nossa região. Trata-se de um estudo de revisão bibliográfica, cujos dados coletados pertenciam às bases: BVS - Biblioteca Virtual em Saúde; e Scielo – Scientific Electronic Library. A amostra foi composta por 13 artigos e os critérios de inclusão foram: trabalhos publicados entre 2007 e 2014, em língua portuguesa; e adequação ao tema de estudo. Os resultados evidenciaram o baixo nível de conhecimento da população amazônica, em relação às consequências das quedas das árvores. Sendo assim, conclui-se que se faz necessário fornecer ações de educação ambiental para a comunidade; a fim de aproximá-los do poder público, e investigar as melhores maneiras de se mitigar os possíveis riscos.

Palavras-chaves: Quedas de árvores, educação ambiental, percepção de risco.

¹ Programa de Pós-Graduação em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia, Universidade Federal do Pará, daniel.levy@ig.ufpa.br. ²nilton.souza@ig.ufpa.br. ³marianallopessales@gmail.com.

⁴Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, athaydes@ufpa.br.



INTRODUÇÃO

Conhecer o processo de arborização na região Amazônica é de suma importância para a sociedade, já que é responsável por inúmeros benefícios ambientais e sociais capazes de auxiliar na qualidade de vida da população de um determinado local. As árvores atuam na caracterização dos espaços da cidade, responsáveis por suas formas, cores e modo de agrupamento. Além disso, contribuem na organização, definição e na delimitação das mesmas (MASCARÓ, 2005, p.13 apud CABRAL, 2013, p.3). Todavia, devido à crescente e rápida urbanização, alterações significativas do sistema natural estão sendo perceptíveis, tais como a impermeabilização do solo por pavimentação e construções, a utilização maciça de materiais como concreto, asfalto e cerâmica, a notável redução da cobertura vegetal e o aumento da poluição atmosférica, hídrica, visual e sonora. No entanto, a arborização eficiente e de qualidade é um importante fator a tornar o ambiente urbano agradável e compatível com o ambiente natural, proporcionando uma melhor qualidade de vida aos cidadãos (RGE, 2000).

Outrossim, uma questão extremamente relevante, relacionada à arborização, são as mudanças hidroclimáticas que impactam diretamente a região amazônica, impactos estes oriundos dos chamados riscos hidrometeorológicos, que compreendem chuvas intensas, ventos de forte intensidade, alagamentos, inundações e enxurradas. Todas essas mudanças climáticas frequentes nessa região automaticamente acarretam grandes transtornos para a população paraense como um todo, ao combinar-se com a falta de planejamento dos órgãos públicos. Por meio desta combinação, oportunizam altos riscos de queda de árvores tanto na região rural, quanto na urbana, principalmente em comunidades mais vulneráveis. Esse risco representa a possibilidade de as pessoas serem afetadas negativamente quando esse acontecimento não é evitado, seja por meio de danos materiais como também humanos.

Em algumas situações, a própria população local não possui o mínimo conhecimento da consequência desses riscos, especialmente quando nunca foi afetada. Contudo, há aquelas pessoas que estão cientes do que pode acontecer, porém devido a vulnerabilidade social e financeira, não possuem opções de remanejamento, se estabelecendo perigosamente na área sem ao menos tentar amenizar a situação. Para Fagginato (2005), é necessário discutir sobre a percepção ambiental com a finalidade de construir uma consciência crítica frente ao ambiente à sua volta e o que pode interferir de modo positivo ou negativamente.

Desse modo, é necessário retratar a contribuição que a educação ambiental poderá desenvolver nas famílias de áreas de grandes vulnerabilidades. Desta forma, relacionada com a percepção de risco, ela tem como principal função a formação de cidadãos conscientes, preparados para a tomada de decisões e atuantes na realidade socioambiental, se comprometendo com a vida e com a sociedade. Por ser um assunto totalmente interdisciplinar, este estudo estimula a participação ativa da comunidade, valorizando os aspectos pedagógicos, atividades relacionadas à criatividade, instigando a construção de uma visão mais consciente da sociedade em relação ao meio ambiente, auxiliando-a na formação sua cidadania.

A percepção das populações em torno da dinâmica da paisagem sociocultural frente aos eventos hidroclimatológicos extremos, traz à tona outros elementos a serem abordados e discutidos, os quais aborda-se neste trabalho o risco e a adaptação. A percepção do risco ilustra a necessidade de se adaptar às mudanças, seguindo a seguinte cronologia (CURI et al, 2016): Percepção de acontecimentos de eventos hidrológicos extremos; Percepção da dinâmica da paisagem cultural; Percepção e identificação do risco; e Medidas de adaptação.

Estudos de percepção ambiental em comunidades que enfrentam dinâmicas de paisagem sociocultural em decorrência dos eventos extremos hidroclimáticas, atuam na melhoria da qualidade de vida dessas comunidades, utilizando a identificação de impactos



causados pelos eventos e a busca por adaptações, adequando-se às novas realidades. Uma das técnicas utilizadas no estudo da percepção ambiental coletiva é a cartografia social (BARROS, 2016).

O mapeamento ou cartografia social é entendido como uma técnica de pesquisa participativa e colaborativa que convida a reflexão, organização e ação em torno de um espaço físico e social pré-determinado (VÉLEZ TORRE et al, 2012).

Segundo o trabalho de Tuan (1980), existem diversas maneiras de se refletir nas paisagens, construindo a realidade por meio de experiências únicas. Ao entrar em contato com o meio ambiente, as pessoas fazem uso dos cinco sentidos em um processo associado com os mecanismos cognitivos, ou seja, cada indivíduo percebe, reage e responde diferentemente frente às ações sobre o meio. As respostas ou manifestações são, portanto, resultado das percepções, dos processos cognitivos, julgamentos e expectativas de cada indivíduo.

Com base nisso, o estudo da percepção ambiental se torna fundamental para o que é proposto por meio da EA, para a melhor compreensão das relações entre o homem e o meio ambiente local, bem como valores, satisfações e insatisfações, condutas e as reações de cada indivíduo frente as ações do meio ambiente. O estudo também deve buscar não somente a compreensão da percepção, mas também a conscientização e sensibilização da sociedade e do meio ao seu redor, criando medidas e práticas educativas para a orientação das comunidades quanto ao risco da queda das árvores, facilitando o entendimento delas por uma dinâmica contextualizada. Além disso, fornecem-se as orientações, aproximando a comunidade do poder público, investigando as melhores maneiras de se mitigar esse risco.

O presente trabalho tem por objetivo refletir sobre a contribuição da Educação Ambiental e percepção de risco relacionando-as aos perigos das quedas de árvores, ocorrência frequente devido às fortes chuvas que caem constantemente em nossa região, além de demonstrar a importância dos benefícios proporcionados junto a uma harmonização entre a relação homem-natureza, preocupação pertinente à representação socioambiental de nossa sociedade moderna.

METODOLOGIA

A metodologia aplicada no presente estudo foi uma revisão de literatura, com abordagem exploratória e descritiva, cujo objetivo define-se em agrupar de forma sintetizada a discussão de resultados a partir de fontes de informação. A pesquisa baseou-se no levantamento de literaturas que abordassem acerca da Educação Ambiental como forma de redução do risco de queda de árvores na região amazônica. O levantamento foi realizado entre os meses de agosto a outubro de 2021, por meio de formulário avançado digitando-se, na primeira linha, "Quedas de árvores" na categoria de descritores de assunto e, na segunda linha, "Percepção ambiental na categoria de palavras; foram encontrados 21 artigos. Após análise, foram selecionadas 13 publicações para compor a amostra desta pesquisa, respeitando os seguintes critérios de inclusão: documentos completos e gratuitos do tipo artigos, anais, monografias, dissertações em língua portuguesa publicados no corte temporal de 2007 – 2014; e de exclusão, como: documentos incompletos, repetidos e pagos do tipo artigos, monografias, dissertações em língua estrangeira e com corte temporal inferior ao ano de 2007. As bases de dados que forneceram a busca dos dados pautados na combinação dos descritores: Quedas de árvores, Educação Ambiental, percepção de risco, foram BVS – Biblioteca Virtual em Saúde; e Scielo – Scientific Electronic Library.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com COPEL (2009), as árvores urbanas oferecem diversos benefícios à sociedade, como conforto térmico, amenização da poluição, absorção de água da chuva, abrigo e alimento para animais, harmonia visual e quebra da monotonia da paisagem urbana. Desse modo, proporciona melhoria das condições de vida da população e ainda trazem vantagens econômicas, como valorização dos imóveis nas ruas bem arborizadas e redução do consumo de energia em virtude do resfriamento da superfície.

As árvores possuem um papel fundamental nos ecossistemas e meio ambiente, atuando em diversas funções, nos ciclos e diversidades hidrológicas, melhoramento do solo, conservando a biodiversidade, captando carbonos, filtragem da poluição e contaminação do meio (BUCKERIDGE, 2015), melhora das condições térmicas, além de facilitar o resfriamento do ar e do meio ambiente, reduzindo a produção e liberação do calor (LOMBARDO, 2016), contribuindo de forma significativa as condições de vida e saúde humana (BARROS; MOREIRA et al, 2020).



Figura 1 - Importância das arborizações. Fonte: Portal eCycle, 2014, 2003.

Apesar das significativas contribuições que as árvores fornecem ao ambiente, devido há vários fatores intrínsecos (estruturais) e extrínsecos (ambientais), como manejos indevidos, problemas sanitários, condições climáticas variadas, como ventos intensos, alterações hídricas, raios e tempestades, geram muitos fatores de riscos físicos e humanos, com destaque as intensas quedas de árvores (OLIVEIRA; LOPES, 2007), observadas nos períodos chuvosos e de inverno, onde suas estruturas ficam mais expostas aumentando as instabilidades e as quedas, tanto nas áreas urbanas como nos parques ambientais (SAMPAIO et al, 2010).

Mesmo desempenhando um papel muito importante na vida das pessoas que vivem na cidade, o estudo sobre arborização não é prioridade e, devido a planos ineficientes e a iminente existência de políticas no setor, as podas são realizadas de maneira improvisada, gerando vários conflitos com a crescente urbanização. Entre esses, pode-se citar estragos em calçadas, redes de esgoto ou de água, danos em construções, interferência em bueiros, dificuldade de visualização de placas de orientação, restrição da passagem de pedestres ou veículos, dentre outros.



Com relação à rede de transmissão de energia elétrica, uma árvore em crescimento não controlado é capaz de interromper o fornecimento de energia ou torná-lo ineficiente (PIRES et al, 2007; SANTOS; TEIXEIRA, 2001), além de causar curtos-circuitos ou rompimento de fios/cabos (Figura 2).



Figura 2 - Exemplo de rede de distribuição onde a poda é necessária. Fonte: Velasco (2003).

As árvores, principalmente aquelas mais isoladas, tem maior predisposição à queda devido a uma série de fatores que demonstram sua vulnerabilidade, tais como: maior exposição aos ventos, solos pobres e compactados, os quais dificultam o enraizamento, corte das raízes de sustentação para a construção de estruturas urbanas e abalroamento por caminhões, entre outros.

A falta de planejamento leva ao aumento de práticas de manejo, como a poda e a remoção das árvores, realizadas pelas prefeituras e concessionárias de energia elétrica, principalmente pelo contato entre a fiação e o afloramento de calçadas (MEIRA, 2010).

Contudo, em alguns casos, as podas são feitas de maneira incorreta, como por exemplo, em forma de “U”, que pode desequilibrar a árvore e deixando-a com risco de queda (PIRES et al, 2007). Segundo Marek (2008) apud Velasco (2003), a forma correta de podar uma árvore para a proteção da rede elétrica gera menor agressão às árvores devido à compactação da rede de transmissão e distribuição, por meio da camada isolante de proteção dos condutores, a qual permite maior aproximação entre mesmos e entre eles e os galhos das árvores, como ilustrado nas Figuras 3 e 4.

Para que haja uma distância segura entre as redes de transmissão e as árvores afetadas, a poda deve ser realizada ainda durante a fase de crescimento da mesma, não atingindo sua vida útil, oferecendo a possibilidade de ela crescer novamente sem sequelas indesejáveis (COPEL, 2004). Para isso, há sempre um pessoal capacitado para este procedimento, conforme a Figura 5.

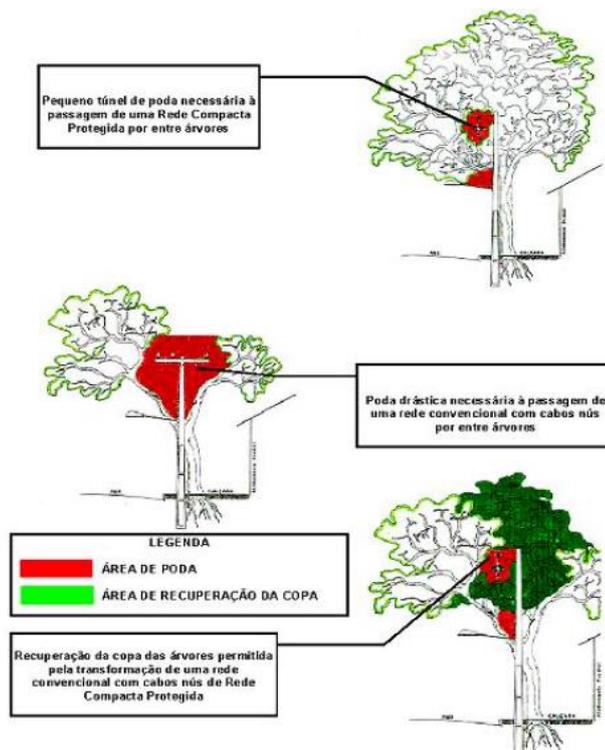


Figura 3 - Poda correta de acordo com as normas técnicas da COPEL. Fonte: Copel (2004).



Figura 4 - Pessoal treinado para o procedimento de poda de árvore. FONTE: COPEL (2008).



Figura 5 - Pessoal treinado para o procedimento de poda de árvore. Fonte: Copel (2004).



É importante destacar que existe, além do procedimento padrão para as podas de árvores, a distância mínima da rede para seus galhos, conforme apontado por COPEL, 2004. O Quadro 1 discrimina o valor de cada afastamento dependendo do tipo da rede de transmissão do local a ser analisado e protegido (Figura 6).

Quadro 1. Afastamentos mínimos exigidos por Norma

Tipos de Redes	Distância de Segurança Mínima
Rede de Alta Tensão em 138kV	4,30m
Rede de Alta Tensão em 69kV	4,00m
Rede Convencional ou Protegida de Média Tensão em 34,5 ou 13,8kV	2,00m
Rede Convencional de Baixa Tensão em 110 ou 220V	1,00m

Fonte: Copel (2004).

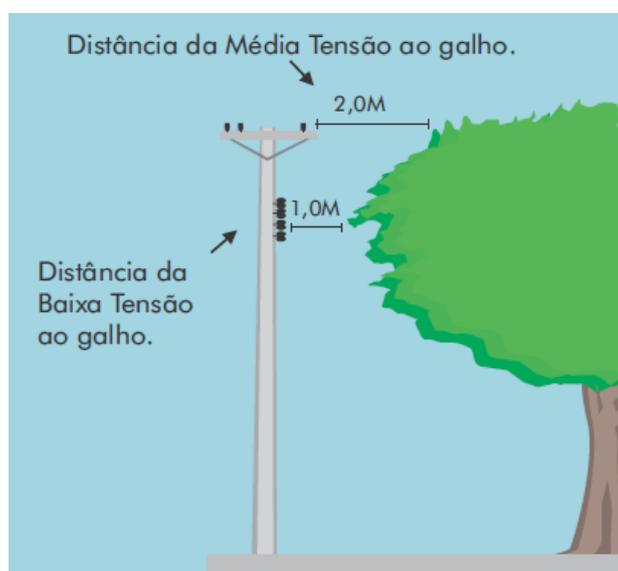


Figura 6 - Distância mínima de segurança para os cortes dos galhos. Fonte: Copel (2004).

Alguns pontos devem ser observados durante as avaliações e identificações de riscos de quedas de árvores de grande porte nas áreas urbanas, ou seja, fluxo intenso de veículos, principalmente os de grande porte, tubulações e complicações geradas pelas redes de saneamento básico e esgoto, que muitas vezes comprometem as calçadas, sarjetas e conseqüentemente as raízes das árvores, principalmente aquelas de plantio de enraizamento pouco profundo, fraca resistência ao ataque de pragas, e mais importante a sua vulnerabilidade aos ventos intensos (NETO; SOUZA, 2009).

Outros fatores que influenciam diretamente na possibilidade de quedas de árvores são o corte de raízes e podas mal executadas devido à fiação elétrica e/ou telefônica, que deixam a estrutura da planta altamente desestabilizada, além do uso inadequado de espécies (de grande porte e/ou suscetíveis a ventos) e compactação do solo (SAMPAIO, 2006; MOSER et al, 2010).

O risco de queda está intimamente ligado ao que será atingido, onde ruas muito movimentadas e com monumentos públicos e privados expostos apresentam alto potencial de risco, uma vez que o maior risco é quando há a possibilidade de atingir alguém. A queda pode ser causada por diversos fatores, como: chuvas fortes e longas, podas irregulares, rajadas de vento, raiz instável (SAMPAIO et al, 2010).



CONSIDERAÇÕES FINAIS

A percepção sobre a temática apresentada nesse estudo, o qual trata sobre a educação ambiental e sua relação com a queda das árvores, mostra que tais atitudes e conhecimentos são repassadas entre as gerações dentro de uma sociedade. Portanto, essa percepção dos impactos causados pelos eventos hidroclimáticos revelam importantes desafios que a educação ambiental busca desenvolver, por meio dos seus conhecimentos, melhores alternativas e formas mais eficazes frente a mitigação desses problemas.

As estratégias relacionadas à percepção nas famílias mais vulneráveis são frequentemente condicionadas por seus limites ambientais, sociais, culturais e econômicos, necessitando do apoio de políticas públicas que se responsabilizem pelos transtornos causados pelas quedas das árvores, relacionadas a esses eventos hidroclimáticos na região amazônica. Alternativas mais eficazes e mitigadoras influenciam no entendimento da realidade por toda a população inserida. Nesse contexto, o diálogo e a conscientização são cruciais para tratar esse determinado problema tão comum em nossa região.

Por fim, espera-se que os resultados sejam indicadores para a abrangência de estudos sobre as percepções das famílias mais vulneráveis acerca dos efeitos das quedas de árvores, assim como saber evitá-lo. Desta forma, espera-se que esta reflexão seja capaz de incentivar novas pesquisas sobre este tema na região amazônica, além de contribuir na formulação de políticas públicas visando estratégias para o incentivo da educação ambiental.

REFERÊNCIAS

- BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo município de São Paulo-SP. *GEOUSP espaço e tempo*, v. 20, n. 1, p. 160-177, 2016.
- BUCKERIDGE, M. S. Árvores urbanas em São Paulo: planejamento, economia e água. *Estudos Avançados*, v. 29, n. 84, p. 85-101, 2015. doi.org/10.1590/S0103-40142015000200006
- COPEL. *Arborização de Vias Públicas: guia para os municípios*. São Paulo, 2004, 56p.
- COPEL. *Arborização de Vias Públicas*. São Paulo, 2008, 37p.
- CURI M. V.; LITRE G.; IBIAPINA, I.; PINTO DE ANDRADE, A. J. Mudanças climáticas e percepção ambiental. Contribuições da antropologia do clima. In: BURSZTYN, M.; RODRIGUES-FILHO, S. (Eds.) *O clima em transe: vulnerabilidade e adaptação da agricultura familiar*. Rio de Janeiro: Garamond, 2016.
- FAGGIONATO, S. *Percepção ambiental*. Materiais e Textos, n. 4, 2005.
- MAREK, C. F. *Os impactos da arborização viária sobre a rede de distribuição de energia elétrica: estudo de caso da zona 7 de Maringá/PR*. 2008. 90 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.
- MASCARÓ, N.; ROSEN, D. H.; MOREY, L. C. *The Development, construct validity, and clinical utility of the SpiritualMeaning: A Handbook of psychological research and clinical applications*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbau, 2005, p. 03-26.
- MEIRA, A. M. *Gestão de resíduos da arborização urbana*. 2010. 179 f. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- MOREIRA, T. C.; POLIZEL, J. L.; SANTOS, I. D. S.; SILVA FILHO, D. F.; BENSENOR, I.; LOTUFO, P. A.; MAUAD, T. Green Spaces, Land Cover, Street Trees and Hypertension in the Megacity of São Paulo. *International Journal of Environmental research and Public Health*, v. 17, n. 3, p. 725, 2020. doi.org/ 10.3390/ijerph17030725.



NETO, E. M. L.; SOUZA, R. M. Índices de densidade e sombreamento arbóreo em áreas verdes públicas de Aracajú, Sergipe. *REVBAU*, v. 4, n. 4, p. 47-62, 2009.

OLIVEIRA, S.; LOPES A. Metodologia de avaliação do risco de queda de árvores devido ventos fortes. O caso de Lisboa. In: Congresso de Geografia Portuguesa, 6, 2007, Lisboa. *Anais ... Lisboa: Centro de estudos Geográficos da Universidade de Lisboa*, 2007.

PIRES, N. A. M. T.; MELO, M. S.; OLIVEIRA, D. E.; XAVIER-SANTOS, S. A arborização urbana do município de Goiandira/GO—caracterização quali-quantitativa e propostas de manejo. *Revista da sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, v. 5, n. 3, p. 185-205, 2010.

PIRES, R. K.; DIAS, M. B.; BRITO, J. O conflito: arborização x energia elétrica, no bairro Vermelha, em Teresina-PI. In: Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, 2, 2007, João Pessoa. *Anais ... João Pessoa*, 2007, 1-8 p.

RGE. Rio Grande Energia. *Manual de Arborização e Poda*. Porto. Alegre: RGE, 2000, 40p.

SAMPAIO, A. C. F.; DUARTE, F. G.; SILVA, E. G. C.; DE ANGELIS, B. L. D.; BLUN, C. T. Avaliação de árvores de risco na arborização de vias públicas de Nova Olímpia, Paraná, *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, v. 5, n. 2, p. 82-104, 2010.

SANTOS, C. I. Análise preliminar de riscos na atividade de poda de árvore em vias públicas de Curitiba-PR. Monografia (Especialização), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Departamento Acadêmico de Construção Civil, Curitiba, 2017.

TUAN, Y. *Topofilia: um estudo da percepção, atitudes e valores do meio ambiente*. Londrina: Eduel, 2012.

VELASCO, G. D. N.; LIMA, A. M. L. P.; DO COUTO, H. T. Z. Costs of aerial electricity conventional distribution networks, aerial compact distribution networks and underground networks in arboriculture context. *Revista Árvore*, v. 30, n. 4, p. 679-686, 2006.

VÉLEZ TORRE, I.; RÁTIVA GAONA, S.; VARELA CORREDOR, D. A Cartografia Social como Metodologia de Pesquisa Participativa e Colaborativa na Bacia Alta do Rio Cauca. *Cadernos de Geografia: Jornal Colombiano de Geografia*, v. 21, n. 2, p. 59-73, 2012.

Bases digitais consultadas

PORTAL ECYCLE. Importância das arborizações. 2014. Disponível em <https://www.ecycle.com.br/>.



VULNERABILIDADE AOS INCÊNDIOS FLORESTAIS NO MUNICÍPIO DE SÃO FÉLIX DO XINGU - PA

Charles Wendell Borges Monteiro¹, Hernani José Brazão Rodrigues² e Paulo Eduardo Silva Bezerra³

Resumo:

A crescente perda de cobertura vegetal provocadas pelo desmatamento de florestas combinado a condições climatológicas favoráveis desencadeiam o avanço da maior ameaça para a integridade biológica da Amazônia, o fogo. Os incêndios contribuem para o surgimento de ambientes cada vez mais susceptíveis a danos econômicos, ambientais e sociais. Desse modo, a compreensão dos fatores que proporcionam condições satisfatórias a proliferação do fogo e a relação de importância entre variáveis definidas permitiu a elaboração de um Índice de Vulnerabilidade. A aplicação deste estudo ao município de São Félix do Xingu, situado na mesorregião sudeste do estado do Pará se deu pela presença de importantes porções de florestas naturais e áreas protegidas (Terras Indígenas e Unidades de Conservação) e por este compreender limites estratégicos para o restante do território brasileiro. O objetivo deste estudo foi de relacionar variáveis de influência, tais como: biológica (uso e ocupação da terra), física (declividade, hidrografia, orientação do relevo e precipitação) e socioeconômica (densidade populacional, proximidade a residências e proximidade a estradas) quanto a exposição ao incêndio florestal. Para a análise e processamento das variáveis, utilizou-se um sistema de informação geográfica (SIG). Após a delimitação das áreas de ocorrência de incêndio florestal pela combinação das variáveis estudadas e a adoção do Processo Analítico Hierárquico (AHP) foi possível identificar as áreas do município de São Félix do Xingu – PA que apresentaram índices (muito alto, alto, moderado, baixo) quanto ao grau de fragilidade do ambiente a exposição ao fogo.

Palavras-chaves: Incêndio florestal, desastres naturais, prevenção de incêndios.

¹ Universidade Federal do Pará, wendell_eng@hotmail.com. hernani@ufpa.br². pauloeduardoea@gmail.com³



INTRODUÇÃO

A literatura permite inferir que os incêndios florestais advêm de processos de natureza complexa e estão associados a fatores como o tipo da vegetação, atividades humanas e condições climáticas (BOWMAN et al, 2009), podendo causar perdas significativas nos âmbitos econômico, ambiental e social (KEELEY et al, 2012).

A utilização de técnicas e análises na definição de áreas susceptíveis ao acometimento de incêndios recentemente são diversas, porém de modo geral se baseiam na relação entre certas variáveis e sua influência sobre o comportamento do fogo. As principais causas que definem o comportamento do fogo estão na oferta de material combustível, nas condições climáticas, no tipo de cobertura vegetal e na crescente presença humana.

A situação é preocupante e as constantes mudanças no clima da Amazônia, principalmente as que demonstram reduções percentuais de precipitações e aumentos gradativos na temperatura (NEPSTAD, 2007; COE et al, 2013) podem acelerar processos que promovam desastres em cadeia. Este contexto além de impactar diretamente na recorrência e temporalidade das estações de secas severas, induzem à redução da umidade amplificando as queimadas para maiores porções da floresta e para além das áreas destinadas ao manejo agrícola (COE et al, 2013; COPERTINO et al, 2019).

Desse modo, a definição dos parâmetros e das bases vetoriais, torna possível a classificação quanto ao grau de fragilidade e obtenção de peso para cada fator de vulnerabilidade as ocorrências de incêndios florestais. E a utilização de ferramentas de geoprocessamento como o Processo Analítico Hierárquico (AHP) aplicado na gestão de desastres naturais, agrega na construção de ações planejadas mais eficientes contra o fogo, tornando possível a adoção de medidas de prevenção, controle e mitigação dos efeitos danosos provocados pelos incêndios florestais.

Assim, o objetivo deste estudo foi definir a influência dos principais fatores que desencadeiam a ocorrência da vulnerabilidade a incêndios florestais em uma das regiões mais importantes do Estado do Pará. Além da geração do índice que compreende aspectos relacionados à vulnerabilidade dentro dos limites do município de São Félix do Xingu - PA.

METODOLOGIA

Área de estudo

A seleção do município de São Félix do Xingu - PA se deu em função de sua importância no cenário socioambiental na mesorregião sudeste do estado do Pará, que possui uma área de aproximadamente 84.212,847 km², possui regime rigoroso de chuvas em um único semestre, sendo o período de novembro a abril com registros de 100 a 150 dias de precipitações, rodeado por vários rios tendo como principais afluentes o rio Fresco e o rio Xingu. Além de abrigar em seu território diversos povos indígenas que habitam terras protegidas que totalizam mais de 50% da área do município, a vegetação predominante é a floresta Hidrófila, além de possuir 6 Unidades de Conservação segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Figura 1).

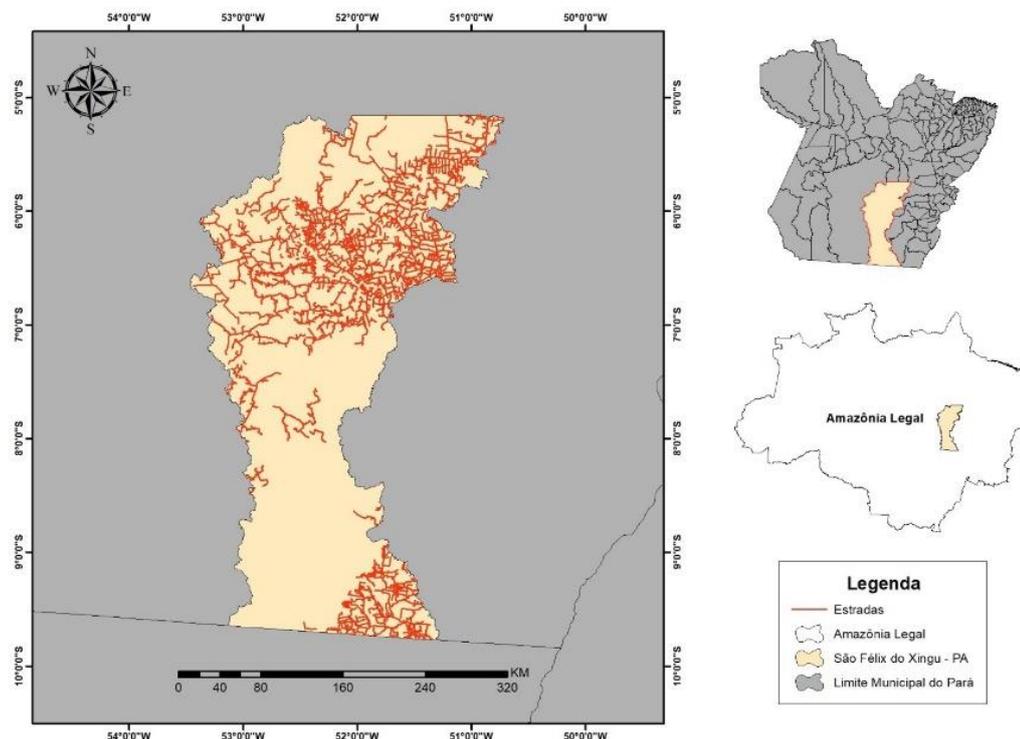


Figura 1 - Mapa de localização do Município de São Félix do Xingu – PA.

Os meta dados utilizados para elaboração dos mapas de vulnerabilidade ambiental do Município de São Félix do Xingu - PA partiram de definições de características particulares presentes na região de Sudeste do Estado do Pará, que se deram a partir da seleção de três tipos de fatores proeminentes na ocorrência de incêndio florestal e das análises da vulnerabilidade a incêndios florestais definidas a partir de fatores e classes: Ambiental (declividade, hidrografia, orientação do relevo e precipitação) econômico (uso e ocupação da terra, rede de estradas) e social (densidade populacional e proximidades a residências).

As variáveis acima definidas obedeceram aos critérios disponíveis na literatura quando se trata de estudos de vulnerabilidade de ambientes a exposição aos incêndios florestais. E de maneira adaptada foi possível organiza-las quanto ao tipo de arquivo, formato, fonte e ano, na disposição presente no (Quadro 1).

Quadro 1 - Banco de dados utilizados no estudo das Vulnerabilidade aos Incêndios Florestais.

Arquivos	Formatos	Fonte	Ano de coleta
Imagem Landsat	Óptica	USGS	2020
Imagens SRTM	Radar	TOPODATA/INPE	2008
Uso do Solo	Vetorial	USGS/SENTINEL	2020
Precipitação	Planilhas	ANA/GPCC	1982 - 2019
Limites municipais	Vetorial	IBGE	2018
Malhas viárias	Vetorial	IMAZON	2013
Hidrografia	Vetorial	ANA	2019
População	Planilhas	IBGE	2010



Através de oito diferentes classes nos mapas temáticos foram rotuladas separadamente com base em sua sensibilidade ao incêndio florestal como muito alto, alto, moderado, baixo ou nulo. A fim de alcançar conclusões eficazes por meio da análise em SIG, um sistema de ranking ou peso (Tabela 1), na qual cada variável foi reclassificada de acordo com pesos aplicados a cada classe variando no intervalo de 0 a 5.

Tabela 1 - Pesos e classificação atribuídos para as variáveis.

N	Variável	Classes	Peso	Fragilidade
1	Uso da Terra	Curso d'água (Drenagens)	0	Nulo
		Floresta	1	Baixo
		Edificações (área urbana)	2	Baixo
		Agricultura (Pecuária)	4	Alto
		Pastagem	5	Muito Alto
2	Densidade populacional	0- 1 hab/ha	1	Baixo
		1- 10 hab/ha	3	Moderado
		10 – 30 hab/ha	4	Alto
		>30 hab/há	5	Muito alto
3	Proximidade a residências	> 1500 m	2	Baixo
		1000 – 1500m	3	Moderado
		500 – 1000m	4	Alto
		< 500m	5	Muito Alto
4	Declividade	Suavemente ondulado (0-5°)	1	Baixo
		Ondulado (5°-15°)	2	Baixo
		Fortemente ondulado (15°-25°)	3	Moderado
		Inclinado (25°-35°)	4	Alto
		Fortemente inclinado (>35°)	5	Muito alto
5	Orientação do relevo	Plano	1	Baixo
		Sul, Sudeste e Sudoeste	1	Baixo
		Leste	2	Baixo
		Nordeste	3	Moderado
		Noroeste e Oeste	4	Alto
		Norte	5	Muito alto
6	Proximidade a estradas	Influência > 150m	1	Baixo
		Influencia < 150m	5	Muito alto
7	Hidrografia	0 – 200	1	Baixo
		200 – 400	2	Baixo
		400 – 600	3	Baixo
		600 – 800	4	Baixo
		>800	5	Baixo
8	Precipitação	>300 mm	1	Muito Baixo
		200-300 mm	2	Baixo
		200-100 mm	3	Moderado
		100-50 mm	4	Alto
		50 mm	5	Muito Alto

Fonte: Adaptado de Juvanhol (2014)

O peso mais alto indica que a classe apresenta um elevado grau de influência sobre o grau de vulnerabilidade ao incêndio. O método AHP proposto por Saaty em 1977 é aplicado como um método de análise multicritério em que os julgamentos dos critérios individuais são determinados por meio da síntese dos agentes de decisão, e a medida global para cada alternativa prioriza ou classifica as variáveis segundo uma hierarquia de importância para determinado desastre (Tabela 2).



Tabela 2 - Escala numérica de Saaty.

Escala numérica	Escala Verbal	Explicação
1	Ambos elementos são de igual importância.	Ambos elementos contribuem com a propriedade de igual forma.
3	Moderada importância de um elemento sobre o outro.	A experiência e a opinião favorecem um elemento sobre o outro.
5	Forte importância de um elemento sobre o outro	Um elemento é fortemente favorecido
7	Importância muito forte de um elemento sobre o outro.	Um elemento é muito fortemente favorecido sobre o outro.
9	Extrema importância de um elemento sobre o outro	Um elemento é favorecido pelo menos com uma ordem de magnitude de diferença
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre as opiniões adjacentes.	Usados como valores de consenso entre as opiniões
Incremento 0.1	Valores intermediários na graduação mais fina de 0.1.	Usados para graduações mais finas das opiniões.

Fonte: Roche (2004, p. 6)

A escolha do grau de importância de cada variável na matriz de comparação par-a-par ou matriz de decisão está associado à observação, pelo levantamento bibliográfico e na experiência do especialista. Utilizando esta técnica consultiva na orientação da tomada de decisão, configura possível à utilização de inúmeros critérios simultâneos que podem ser representados na forma de camadas de dados geográficos, tornando-se uma das principais ferramentas em análises de ambientes SIG. No presente trabalho, utilizou-se o programa Arcmap, Esri versão® 10.5, que apresenta módulos que auxiliam no processo de tomada de decisão. Desta maneira, procurou-se reclassificar as cartas temáticas da área do município já existentes para adequar a distribuição das classes encontradas na literatura.

RESULTADOS

A partir da produção do mapa de uso e ocupação do solo (Figura 2), pode-se concluir que, apesar de existência de várias classes de ocupação, há uma predominância das classes referentes as florestas (áreas protegidas e terras indígenas) com um total de (54 %) e áreas com elevada expansão de atividades da agricultura como a Pecuária com (36 %), além da hidrografia (10%). Assim, interpretando o mapa, conforme essa variável, se enquadra como área potencial a ocorrência de incêndio de Alto a Moderado.

O Mapa de Rede Viária obedeceu ao critério de ponderação baseado na proximidade à rede viária, num raio de 50 metros. Desse modo, após a definição desse parâmetro foi gerado um buffer com o emprego do ArcGis. Após essa análise de proximidade, para gerar a área sem influência da rede viária, foi necessário extrair uma zona de interesse, que possibilitou limitar a região entre os níveis de informação do buffer e do limite municipal. Os resultados apontaram que 47% da área municipal está sob influência da rede viária e 53% da área está sem influência (Figura 3).

A partir do mapa de curvas de nível, equidistantes de 1 em 1 metro, foi gerado o mapa de declividades em percentuais. Em seguida, de acordo com a com processos em ambientes SIG, foram estabelecidas cinco classes de risco de incêndio para essa variável, relacionando o grau de inclinação do terreno em função da sua influência na propagação do fogo. Apesar de a altitude variar de 1 a 71 metros, pode-se concluir que a área apresenta declividade bastante variada com relevos: Fortemente Ondulado, Inclinado e Fortemente inclinado e com predominância do tipo Ondulado e Suavemente ondulado (Figura 4).

A representação do mapa de orientação do relevo (Figura 5) também se deu pela utilização de ferramentas em ambientes SIG. A área de estudo revelou variedades



expressivas, tais como: Plano, Norte, Nordeste, Leste, Sudeste, Sul, Sudoeste, Oeste, Noroeste e Norte.

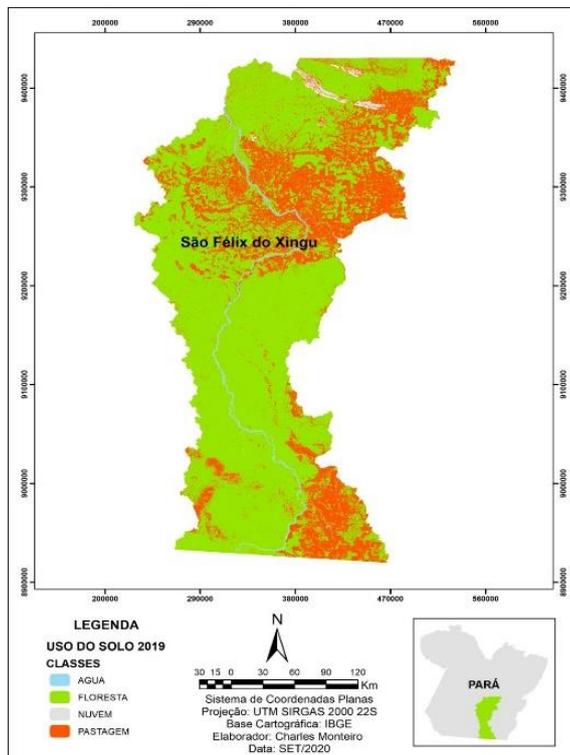


Figura 2 - Mapa de Uso do Solo do município de São Félix do Xingu – PA.

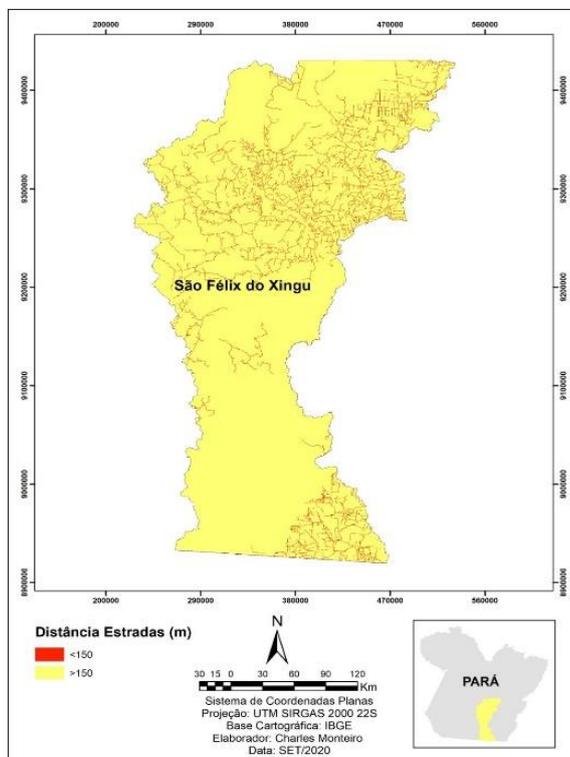


Figura 3 - Mapa do Distanciamento das Estradas no município de São Félix do Xingu - PA.

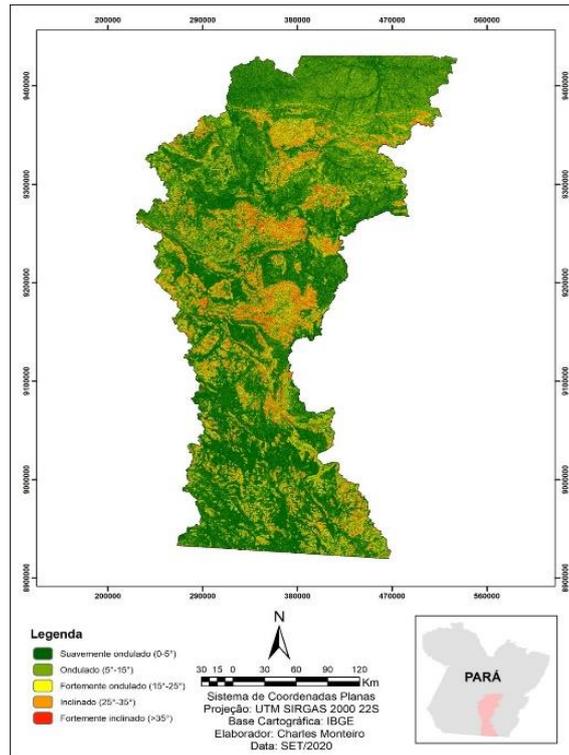


Figura 4 - Mapa de Declividade na extensão de São Félix do Xingu - PA.

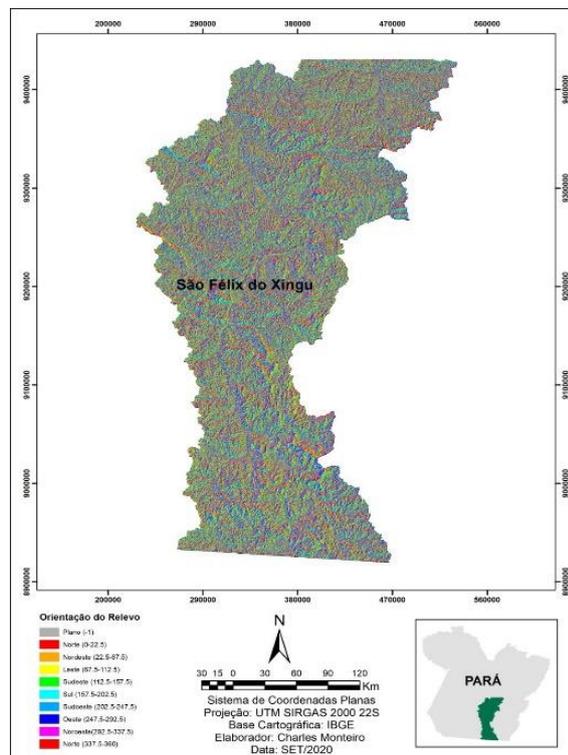


Figura 5 - Mapa de Orientação do relevo do município de São Félix do Xingu - PA.



A representação da Densidade Demográfica foi obtida a partir da malha de setores censitários e os dados da população do Censo Demográfico 2010 do IBGE (Figura 6), onde foram utilizados apenas o número de habitantes por setor demográfico por hectare na distribuição espacial. A área de influência ao acometimento de incêndio florestal foi dividida em 4 classes e apresentou variação de 1 a 30 habitantes/hectare, evidenciando baixa predominância a ocorrência de incêndios florestais. A cartografia do Mapa da área Urbana segue o desenvolvimento das ferramentas em ambiente SIG, e sua análise evidenciou que para este município há pequenas concentrações de edificações frente ao tamanho dos limites territoriais (Figura 7). Possibilitando enquadrar com baixa predominância a ocorrência de incêndios florestais.

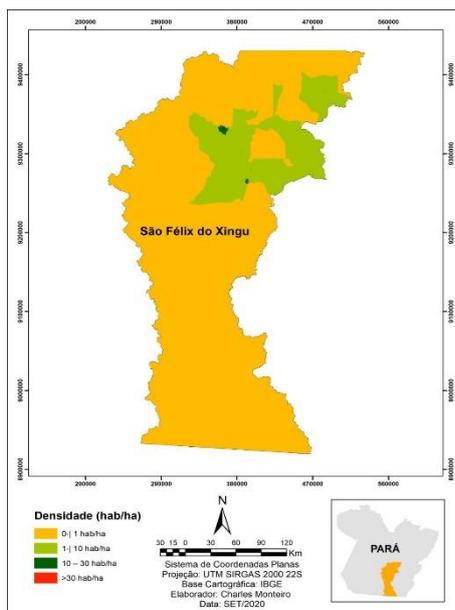


Figura 6 - Mapa de Densidade Populacional no município de São Félix do Xingu – PA

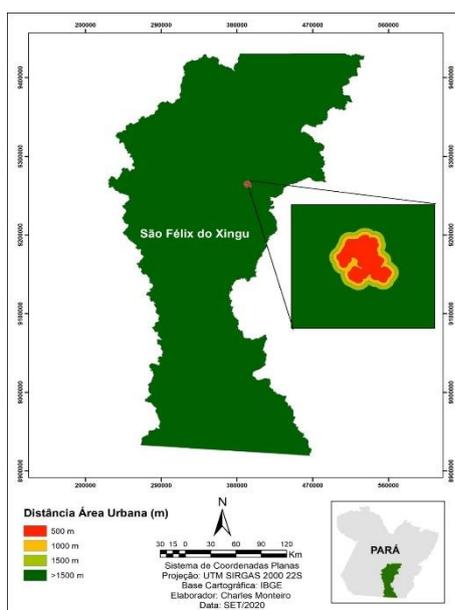


Figura 7 - Mapa da área urbana do município de São Félix do Xingu - PA.



A cartografia que representa a Hidrografia obedeceu ao raio de influência definido em 50 metros para todos os corpos de água presentes na área do município de São Félix do Xingu (Figura 8). De tal maneira a compreender toda a rede de drenagem, corpos d'água e nascentes da bacia, com valores acima desse raio e, a partir dessa análise considerar a influência em intervalos de: 200m – 400m – 600m – 800m – 1000m.

Todos os mapas temáticos (variáveis) foram então integrados pela ferramenta overlay em ambiente SIG e o índice de vulnerabilidade de incêndio florestal pode ser calculado a partir das definições presentes na (Equação 2 e Tabela 2). A partir das análises dos dados de incêndio florestal pela combinação das variáveis estudadas foi possível identificar as áreas do município de São Félix do Xingu - PA que apresentaram índices (muito alto, alto, moderado, baixo ou nulo), bem como os seus respectivos pesos em relação a fragilidade ambiental ao fogo.

$$\text{Índice de Vulnerabilidade a Incêndios (IVIs)} = 0.09 * \text{Declividade} + 0.14 * \text{Densidade Populacional} + 0.09 * \text{Hidrografia} + 0.08 * \text{Orientação do Relevo} + 0.14 * \text{Precipitação} + 0.10 * \text{Proximidade a Estradas} + 0.11 * \text{Proximidade a Residências} + 0.25 * \text{Uso do Solo} \quad \text{Eq. 02}$$

Tabela 2 - Pesos atribuídos às variáveis utilizadas na pesquisa.

Variáveis	(%)
Declividade	9
Densidade populacional	14
Hidrografia	9
Orientação do relevo	8
Precipitação	14
Proximidades a estradas	10
Proximidades a residências	11
Uso do solo	25
Total	100

Fonte: Adaptado de Lourenço et al. (2015)

Por conseguinte, a elevada atividade agropecuária na região, com destaque para a pecuária expansiva de bovinos responde positivamente pelo elevado grau de vulnerabilidade a ocorrência de incêndios florestais, pelas constantes alterações na dinâmica de uso do solo na região sudeste do estado do Pará.

Com isso a construção de cada pixel (célula) do mapa final (Figura 9) resultante representa a soma dos valores do mesmo pixel em cada plano de informação, ordenado de acordo com seu peso, revelando a constatação de níveis moderados a alto em graus de fragilidades ao incêndio florestal na área.

Portanto, a vulnerabilidade a ocorrência de incêndio florestais dada através da combinação do método AHP mostrou que em determinados períodos do ano, principalmente os que apresentam baixa oferta de precipitação, associados a baixa umidade relativa do ar, altas temperaturas, e intensa alteração do uso da terra, elevam o grau de vulnerabilidade a ocorrência de incêndios florestais.

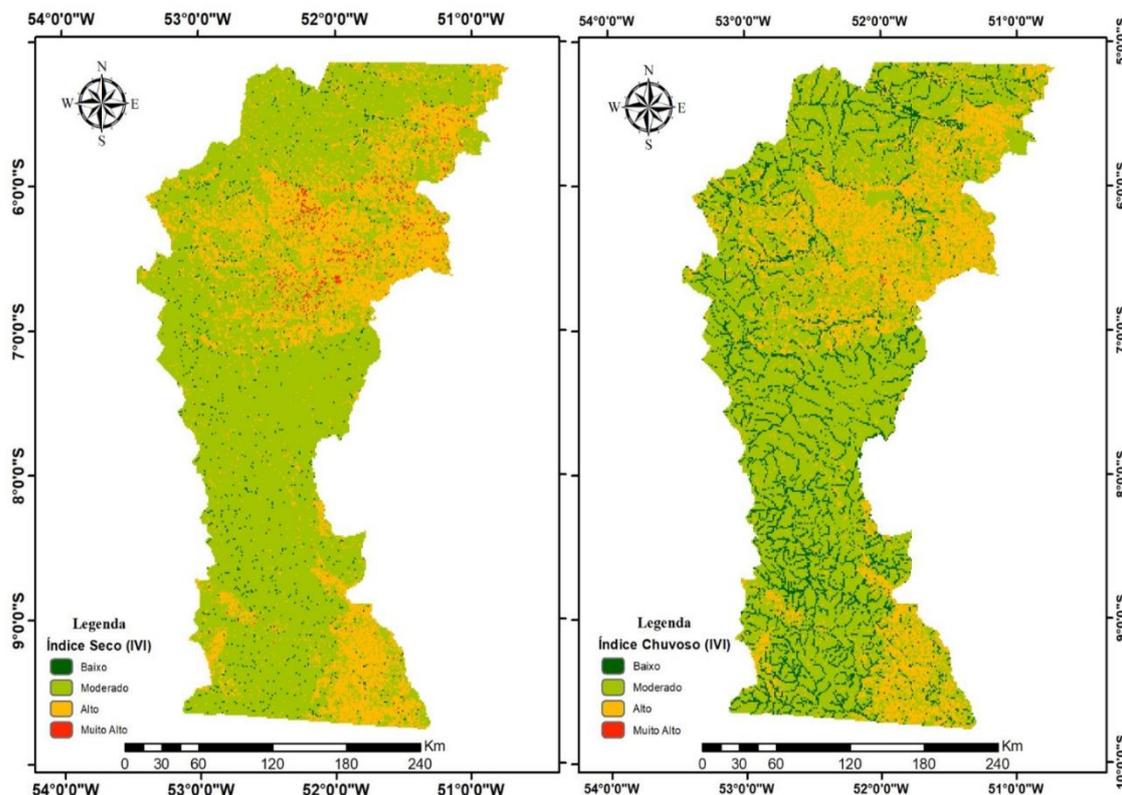


Figura 9 - Índice de Vulnerabilidade a ocorrência de incêndios florestais no período seco e chuvoso.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos apresentaram um modelo eficiente para estimar a vulnerabilidade de áreas ao incêndio florestal, a integração dos fatores ambiental, econômico e social permitiu avaliar mudanças na paisagem natural. Variáveis como uso do solo com 25%, precipitação com 14% e densidade populacional com 14% lideraram os percentuais diagnosticados através do *Índice de Vulnerabilidade a Incêndios (IVI)*. O município de São Félix do Xingu – PA apresentou 71,52% de sua área total classificada nas classes de vulnerabilidade a incêndios como “moderado”, 25% de sua área total como “muito alto”, aproximadamente 2% de sua área total como “baixa” e pouco mais de 1% para a ocorrência de incêndios a nível “muito alto”.



REFERÊNCIAS

- BOWMAN, D. M. J. S.; BALCH, J. K.; ARTAXO, P.; BOND, W. J. et al. Fire in the Earth System. *Science*, v. 324, p. 481-484, 2009. doi.org/10.1126/science.116388
- COE, M. T.; MARTHEWS, T. R.; COSTA, M. H.; GALBRAITH, D. R. et al. Deforestation and climate feedbacks threaten the ecological integrity of south-southeastern Amazonia. *Philosophical transactions of the Royal Society B: Biological Science*, v. 368, n. 1619, p. 20120155, 2013. doi.org/10.1098/rstb.2012.0155.
- COPERTINO, M.; PIEDADE, M. T. F.; VIEIRA, I. C. G.; BUSTAMANTE, M. Desmatamento, fogo e clima estão intimamente conectados na Amazônia. *Cienc. Cult.*, v. 71, n. 4, 2019.
- JUVANHOL, R. S. *Modelagem da vulnerabilidade à ocorrência e propagação de incêndios florestais*. 2014. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2014.
- KEELEY, J. E.; BOND, W. J.; BRADSTOCK, R. A.; PAUSAS, J. G.; RUNDEL, P. W. *Fire in Mediterranean Ecosystems: ecology, evolution and management*, Cambridge University Press, 2012, 515 p.
- NEPSTAD, D. The Amazon's vicious cycles: Drought and fire in the greenhouse. *United Nations Framework Convention on Climate Change Conference of the Parties*, Indonesia, 2007.
- ROCHE, H.; VEJO, C. Analisis multicriterio em la toma de decisiones. *Métodos Cuantitativos aplicados a la administración*, 2004, 11 p.
- SAATY, T. L. *Decision making for leaders*. Pittsburg, USA: WS. Publications, 2000.

Bases digitais consultadas

- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Sistema IBGE de Recuperação Automática*, 2016. Disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br/>.

“A Educação para a Redução de Riscos e Desastres (ERRD) considera principalmente a prevenção e, no cenário de desastres, a preparação. Para a construção e permanência de uma cultura de prevenção, cabe: analisar e discutir o modo de ocupação do espaço, a infraestrutura, as práticas sociais, e pensar formas alternativas de resposta em diálogo com a população.”



Foto de Celso dos Santos Piquet Júnior.

Para tanto, é necessário dialogar com as pessoas que vivem, trabalham e atuam em certo território, especialmente em situação de vulnerabilidade e risco”¹.

¹SULAIMAN, Samia Nascimento; TRAJBER, Rachel; MATSUO, Patricia Mie; FERREIRA, Keila. Educação e engajamento social na construção de comunidades e cidades resilientes. In: GIRD+10: Caderno Técnico de Gestão Integrada de Riscos e Desastres. 4.3. Um caminho estratégico, Brasília, DF: Ministério do Desenvolvimento Regional, Secretaria Nacional de Proteção e Defesa civil - SEDEC, p. 143-144, 2021.

CONSELHO EDITORIAL

Andrés Velastegui-Montoya: Graduação em Engenharia Mecânica pela Escuela Superior Politécnica del Litoral - ESPOL (Equador), mestrado em Engenharia Ambiental (2012) pela Universidade de Barcelona-UB (Espanha). Especialista em Georreferenciamento, Geoprocessamento e Sensoriamento pela Universidade Estácio de Sá, e Doutor em Ciências Ambientais pela Universidade Federal do Pará-UFGPA, com ênfase em avaliação dos impactos ambientais de grandes projetos de engenharia. Docente da Escuela Superior Politécnica del Litoral - ESPOL, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra.

Francisco Silva Costa: Graduação em Geografia, Especialização em Formação educacional e Mestrado em Dinâmicas territoriais e ordenamento do território, pela Faculdade de Letras da Universidade do Porto, FLUP (Portugal). Doutorado em Geografia pela Universidade do Minho (Portugal). Tem experiência na área de Geografia, com ênfase em riscos naturais, gestão de água e planejamento de bacias hidrográficas e patrimônio ligado à água. Professor na Universidade do Minho (Portugal).

Rafael Ferreira da Costa: Graduação em Meteorologia pela Universidade Federal do Pará, Mestre em Agronomia (Física do Ambiente Agrícola) pela ESALQ-USP (Piracicaba, São Paulo), Doutor em Meteorologia pela UFCG (Campina Grande, Paraíba). Área de pesquisa em Meteorologia e Climatologia da Amazônia, com projetos envolvendo monitoramento climático, restauração florestal de áreas degradadas e clima urbano. Professor da Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA, Campus de Parauapebas, Pará.

ORGANIZADORES

Aline Maria Meiguins de Lima: Graduação em Geologia pela Universidade Federal do Pará, especialização em Gestão Normativa de Recursos Hídricos pela Universidade Federal da Paraíba, Mestrado em Geotecnia pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo e Doutorado em Desenvolvimento Socioambiental pelo Núcleo de Altos Estudos Amazônicos da Universidade Federal do Pará, com ênfase em análise espacial de bacias hidrográficas. Professora da Universidade Federal do Pará.

Bergson Cavalcanti de Moraes: Graduação em Meteorologia pela Universidade Federal do Pará, Mestre Meteorologia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa e Doutor em Ciências Agrárias pela Universidade Federal Rural da Amazônia. Foi Coordenador operacional do Sistema de Proteção da Amazônia-SIPAM. Atuou como pesquisador adjunto da mineradora Vale S.A. Desenvolveu e coordenou o Sistema Integrado de Monitoramento e Previsões Meteorológicas e Hidrológicas para a Estrada de Ferro, Porto e Mina de Ferro da Vale. Professor da Universidade Federal do Pará.

João de Athaydes Silva Júnior: Graduação em Meteorologia pela Universidade Federal do Pará, Mestrado em Meteorologia pela Universidade Federal de Campina Grande e Doutorado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido pela Universidade Federal do Pará. Professor da Universidade Federal do Pará.

AUTORES†

Ádria Kanome Mori Soares: Geóloga, graduada em Geologia na Universidade Federal do Pará (UFPA). Mestranda em Geotecnia na Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP).

Alexandre Melo Casseb do Carmo: Graduado em Meteorologia pela Universidade Federal do Pará, Mestrado em Meteorologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e Doutorado em Meteorologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Atualmente é professor Associado IV da Universidade Federal do Pará.

Antonio Gonçalves da Silva Junior: Graduado em Geologia pela Universidade Federal do Pará (UFPA), com experiência nas temáticas: Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento, Geologia Ambiental e Risco.

Arnaldo de Queiroz da Silva: Graduado em Geologia pela Universidade Federal do Pará (1993), Mestrado em Geofísica pela Universidade Federal do Pará (1996) e Doutorado em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2010). Atualmente é professor adjunto da Universidade Federal do Pará.

Aureliano da Silva Guedes II: Cirurgião-Dentista, licenciado em Ciências Biológicas, Mestrando em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia (UFPA/ PPGGRD), Especialista em Clínica Odontológica Infantil – Odontopediatria, Especialista em Urgência, Emergência e Atendimento Pré-Hospitalar, Especialista em Disfunção Temporomandibular e Dores Orofaciais, Especialista em Saúde Coletiva.

Celso dos Santos Piquet Júnior: Oficial do Corpo de Bombeiros Militar, bacharel em gestão de riscos coletivos pelo Instituto de Segurança Pública do Pará, especialista em gestão de pessoas (UNITOLEDO/SP), gestão de segurança pública e privada (ULBRA), Defesa social e cidadania (IESP), Mestre em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia (UFPA/ PPGGRD). Em 2014 participou do curso de sensibilização a redução de desastres no Japão. Atualmente é comandante do 7º Grupamento Bombeiro Militar em Itaituba.

Charles Wendell Borges Monteiro: Engenheiro Florestal, Mestre em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia (UFPA/ PPGGRD).

Daniel Levy Lima da Silva: Bacharel em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará, além de Técnico em Eletrotécnica formado pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará. MBA em Gestão de Projetos pela Universidade Estácio de Sá. Mestrando em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia (PPGGRD/UFPA).

Daniele Frascareli: Graduada em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP Sorocaba. Mestrado em Ciências Ambientais

† O(s) autor(es) declaram que são integralmente responsáveis pela totalidade do conteúdo da Contribuição. E que estão de acordo com a publicação do mesmo e utilização das imagens anexadas.

Os Organizadores e o Conselho Editorial desta publicação estão expressamente isentos de qualquer responsabilidade sobre o conteúdo dos artigos, métodos, técnicas e resultados da pesquisa.

da Unesp de Sorocaba. Doutoranda na UNESP Sorocaba no Programa de Ciências Ambientais.

Davi Rodrigues Rabelo: Graduação em Geografia pela Universidade Estadual do Ceará (UECE), Especialista em Planejamento e Gestão Ambiental pela mesma universidade e Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Doutorando em Geografia pela Universidade Estadual do Ceará (UECE) e professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFCE - Campus Fortaleza).

Douglas Bitencourt Vidal: Engenheiro Ambiental e Sanitarista pelo Centro Universitário de Caratinga, Normalista pela Universidade Presidente Antônio Carlos, Mestre em Energia pelo Programa de Pós-Graduação em Energia na Linha de Pesquisa Eficiência Energética da Universidade Federal do Espírito Santo e Doutorando no Programa de Engenharia Industrial pela Universidade Federal da Bahia.

Edson José Paulino da Rocha: Graduado em Meteorologia pela Universidade Federal do Pará - UFPA, com Mestrado em Ciências Atmosféricas pela Universidade de São Paulo - USP e o Doutorado em Meteorologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Gilmar Wanzeller Siqueira: Graduação em Química Industrial pela Universidade Federal do Pará, Especialista em Hidrogeologia Aplicada pela Universidade Federal do Pará, Especialista em Oceanografia Abiótica e Biótica pela Universidade Federal de Pernambuco, Mestre em Ciências Naturais (área de concentração Oceanografia Química e Geológica) no Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, Doutor em Ciências Naturais (área de concentração Oceanografia Química e Geológica) no Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. Servidor Técnico Administrativo em Educação lotado no Instituto de Ciências Exatas e Naturais (ICEN) da Universidade Federal do Pará (UFPA).

Jamer Andrade da Costa: Graduação em Geologia pela Universidade Federal do Pará - UFPA, Especialização em Sensoriamento Remoto pela Universidade Federal do Pará - UFPA e Mestrado em Engenharia Hídricos pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará (PPGEC/ITEC/UFPA). Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA/UFPA). Professor da Universidade Federal da Amazônia (UFRA).

Jaqueline Sarmento dos Santos: Graduada em Engenharia Sanitária pela UFPA (2007). Mestra em Gestão dos Recursos Naturais e Desenvolvimento Local na Amazônia pelo Programa de Pós-Graduação em Gestão de Recursos Naturais e Desenvolvimento Local na Amazônia (PPGEDAM), vinculado ao Núcleo de Meio Ambiente (NUMA) da Universidade Federal do Pará (UFPA) - PPGEDAM/NUMA/UFPA (2012). É servidora técnica-administrativa em educação na UFPA, cargo Engenheira/Área - Saneamento.

Josiane Sarmento dos Santos: Graduada em Engenharia Sanitária e Ambiental (UFPA) e Bacharel em Meteorologia (UFPA). Mestrado e Doutorado pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Pará (UFPA).

Luciana Souza Brabo: Graduação em Engenharia Florestal, pela Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA. Especialização em Gestão, consultoria, auditoria e fiscalização ambiental, pela Faculdade Estácio de Belém. Especialização em Geoprocessamento, pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - PUCMinas. Mestrado em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia (UFPA/PPGGRD). Atua como Técnica em Geociências no Serviço Geológico do Brasil - CPRM.

Márcia Aparecida da Silva Pimentel: Geógrafa. Possui bacharelado e licenciatura em Geografia pela Universidade de São Paulo. Mestrado em Geografia (Geografia Física) pela Universidade de São Paulo. Doutorado em Geografia (Geografia Física) pela Universidade de São Paulo. Estágio pós-doutoral no Programa de Geografia Humana da Universidade de São Paulo. Realizou o segundo estágio pós-doutoral na Universidad del Oriente, em Santiago de Cuba (Cuba), participando do Programa MES-CUBA, com apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-CAPEs. É professora efetiva da Universidade Federal do Pará.

Marcos Ronielly da Silva Santos: Graduado em Tecnologia em Gestão Ambiental. Graduando em Engenharia Ambiental e Geografia. Mestre e Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais UFPA/EMBRAPA/MPEG. Realiza estágio pós-doutoral no Programa de Pós-Graduação em Geografia (UFPA).

Maria de Fatima Vilhena da Silva: Bacharela e Licenciada em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Pará, Mestra em Ciências com ênfase em Alimentos pela Universidade Federal de Lavras, Doutora em Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas. Docente do Instituto de Educação Matemática e Científica da Universidade Federal do Pará.

Mariana Elizabeth Lopes de Sales: Graduação em Enfermagem pela Universidade Federal do Pará e Graduação em Direito pela Faculdade de Belém.

Milena de Nazaré Santos Quaresma: Licenciada em Geografia (UFPA). Gestora Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA). Mestra em Ciências Ambientais pela EMBRAPA/MPEG/UFPA. Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Pará.

Milena Marília Nogueira de Andrade: Geóloga formada na Universidade Federal do Pará (UFPA), Mestrado em Geologia com ênfase em Sensoriamento Remoto pelo Instituto de Geociências (IG/UFPA) e Doutorado em Desenvolvimento Socioambiental pelo Núcleo de Altos Estudos Amazônicos (NAEA/UFPA) tendo desenvolvido estágio no exterior na Christian-Albrechts-Universität (Kiel/Alemanha). Professora da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA).

Nilton R. Souza: Graduação em Pedagogia pela Universidade Federal do Pará. Atualmente é Técnico de Defesa Civil Estadual do Corpo de Bombeiros Militar do Pará.

Osmar Guedes da Silva Junior: Graduação em Geologia pela Universidade Federal do Pará e Mestrado em Geologia e Geoquímica pela Universidade Federal do Pará. Técnico administrativo da Universidade Federal do Pará exercendo a função de técnico responsável pelo Laboratório de Ensino e Pesquisa em Geotecnologias - LEPGEO.

Paulo Eduardo Silva Bezerra: Graduação em Engenharia Ambiental e Energias Renováveis pela Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). Mestrando em Engenharia Civil com ênfase na Engenharia Hídrica pela Universidade Federal do Pará (UFPA).

Reginaldo Rocha Rodrigues: Graduação em Geografia pela Universidade Federal do Pará. Atua na Prefeitura Municipal de Belém e na Escola Municipal de Ensino Infantil e Fundamental Pedro Demo.

Tony Carlos Dias da Costa: Graduação em Geologia pela Universidade Federal do Pará, Mestrado em Eng. Civil pela USP e Doutorado em Geociências pelo Instituto de Geociências da UFPA. Professor da Faculdade de Eng. Civil da UFPA.

ÍNDICE REMISSIVO

Alterações hidroclimáticas, 100
Amazônia oriental, 84
Arborização, 156
Barragens, 141
Equação Universal de Perda do Solo, 27
Erosividade das chuvas, 31
Estuário do Rio Pará, 11
Geotecnologia, 92
Incêndios florestais, 173
Indicadores de risco, 125
Nível potenciométrico, 53
Perfis geológico-geotécnicos, 47
Precipitação (PRP) diária, 66
Quedas de árvores, 157
Redução do Risco de Desastres, 86
Região de Altamira, 105
Reserva Extrativista Marinha, 116
São Félix do Xingu, 165
Sociodiversidade, 111
Vulnerabilidade ambiental, 124
Zona costeira, 8
Zoneamento do risco, 140



PPGGRD
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES NATURAIS
NA AMAZÔNIA