

GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO MAPEAMENTO DE ÁREAS DE INUNDAÇÃO E ENXURRADAS: ESTUDO DE CASO EM UMA MICRORREGIÃO

GEOTECHNOLOGIES APPLIED TO MAPPING OF FLOODED AREAS: CASE STUDY IN A MICROREGION

André Luiz Nascentes Coelho¹

Miquelina Aparecida Deina²

Introdução

Os estudos geográficos contemporâneos com enfoque físico-ambiental e o emprego de geotecnologias possuem relevância no escopo das geociências, pois, a partir deles, é possível entender as condições gerais da dinâmica da paisagem, contribuindo para o desenvolvimento de prognósticos e interpretações geoambientais (LANG; BLASCHKE 2009).

Para Coelho, Gimenes e Goulart (2020); Jensen (2009), entre outros, as geotecnologias são consideradas na atualidade importantes ferramentais, propiciando avanços no tratamento e geração de informações para prevenção de desastres e demais estudos da cobertura terrestre e marinha. Um exemplo, é a espacialização e análise de áreas de risco a inundações, no auxílio de tomadas de decisões, alertas, pois se dispendo do zoneamento dessas áreas, pode-se designá-las usos mais adequados.

A inundação de acordo com Sausen e Narvaes (2015), é o tipo de desastre que mais prevalece no mundo, abrangendo maior área territorial e recorrência. É definida, conforme Kobiyama et al. (2006), pelo aumento do nível da calha dos rios além da sua vazão normal, ocorrendo o transbordamento de suas águas sobre áreas adjacentes a eles. Castro (2005) acrescenta que a inundação é o transbordamento de mares, lagos e açudes ou a acumulação de água por drenagem deficiente.

Nesse contexto, a compreensão da variação espacial e sazonal da ocorrência de inundações em um recorte de análise territorial, através do emprego de geotecnologias, possibilita estabelecer ações de monitoramento sistemático

¹ Docente da Universidade Federal do Espírito Santo. Departamento e Programa de Pós-Graduação em Geografia - Laboratório de Gestão em Redução de Risco de Desastres - LabGR2D/CEPEDES-UFES e Laboratório de Cartografia Geográfica e Geotecnologias – LCGGEO. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9068-495X>. E-mail: alnc.ufes@gmail.com.

² Professora efetiva do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) Campus Vila Velha/ES. Membro do Laboratório de Cartografia Geográfica e Geotecnologias – LCGGEO/UFES. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7466-6954>. E-mail: miquelina.deina@ifes.edu.br.

com base em um banco de dados geográficos atualizado, controle, combate, resiliência de paisagens, incluindo também orientações de práticas controladas, evitando a causa de desastres dessa natureza.

A partir dessas considerações o objetivo principal do capítulo foi cartografar e analisar as áreas de inundação e enxurrada na Microrregião Litoral Sul do Estado do Espírito Santo derivado das imagens de satélite, em um episódio de cheia extrema, integrando com os registros desse evento pela defesa civil, o que contribui para o estabelecimento de ações e redução do potencial desse desastre.

Como objetivos específicos, o estudo pretende: identificar a maior precipitação mensal com base na série histórica de 30 anos; verificar a viabilidade/eficiência da aplicação de estudos temporais com o emprego de produtos de sensoriamento remoto na delimitação de áreas sazonalmente inundadas; difundir o uso integrado e a aplicação das geotecnologias referentes aos produtos de Sensoriamento Remoto e dos Sistemas de Informações Geográficas - SIG de código aberto nos estudos geográficos e no auxílio nas tomadas de decisões, a exemplo do zoneamento desses ambientes em escala microrregional e outras ações de ordenamento territorial e ambiental.

Princípios e metodologia adotados na elaboração do mapeamento

O encaminhamento da pesquisa abrangeu um breve referencial conceitual, teórico e metodológico, pautado na análise espaço-temporal de inundações e enxurradas no sentido de obter o conhecimento recente através dos estudos, relatórios, livros, dissertações e periódicos diversos, além de práticas e ações nesta linha.

Consulta nas Cartas Topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1970) escala 1:50.000 abrangendo o objeto de estudo; documentos e mapas geológicos, geomorfológicos, pedológicos do Projeto Radambrasil, Volume 32 (1983). Nesta etapa, também foi realizada a pesquisa da série histórica das precipitações mensais mais expressivas junto ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER, 2022), identificando nos meses de novembro e dezembro dos anos de 2008 e 2019 valores superiores a 520 milímetros mensais, um dos maiores dos últimos 30 anos.

A partir desta compilação e leituras sobre o assunto, a etapa seguinte tratou da aquisição de Planos de Informações: Corpo d'água (rio, lagoa e oceano) e limite estadual (IBGE 2022); limite municipal, sede municipal, áreas/polígonos com registro de inundação e enxurrada vetorizados pela Defesa Civil / SEDAR (GEOBASES, 2022); Imagens orbitais gratuitas do satélite Landsat-8, sensor OLI (*Operational Land Imager*) bandas 2-3-4 e 8 (Pan), órbitas/pontos: 216/74 e 216/75 com datas de passagens em 11/07/2019 (vazante), e 18/12/2019 (período após a maior precipitação mensal na

região) às 9:45h (horário central da órbita) no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2022); dados de altitude do sensor Aster/GDEM (*Global Digital Elevation Models*), com resolução espacial de 30 metros datados de 17/10/2011 obtidos no sítio do Serviço Geológico Americano (USGS, 2011).

Os critérios adotados para o mapeamento e análise das áreas inundáveis e de enxurradas levaram em conta a integração e dinâmica dos atributos de ordem FÍSICA (relevo, declividades, clima, recursos hídricos, áreas inundáveis, entre outros), BIOLÓGICA (ocorrência de áreas de vegetação e também os locais com atributos naturais expressivos para conservação) e ANTRÓPICA (legislação, uso das terras, considerando também, a articulação com as outras áreas temáticas/conteúdos que envolvem natureza e sociedade), incorporando geotecnologias SIG, produtos e técnicas de sensoriamento remoto descritos na sequência.

A organização dos dados vetoriais teve início com a criação de um projeto no SIG, de código aberto/gratuito Qgis Desktop 3.12 e a adição dos Planos de Informações abrangendo os municípios da microrregião e adjacências ajustados, quando necessário, no sistema de projeção UTM, Datum SIRGAS-2000 Zona 24 Sul (IBGE, 2005). Todo o mapeamento elaborado, seguiu a padronização cartográfica segundo propostas de Slocum et. al. (2008) no sentido de desenvolver uma comunicação cartográfica eficiente e objetiva.

Já a organização e tratamento dos dados raster/matricial partiu do Processamento Digital da Imagem (PDI) com a correção atmosférica das cenas, seguido do procedimento de composição, cor natural, da banda 4 associada ao filtro vermelho, banda 3 ao filtro verde e a banda 2 associada ao filtro azul (4R; 3G; 2B), correspondendo respectivamente, aos comprimentos de ondas vermelho, verde e azul.

Após a criação das imagens compostas recorreu-se a técnica de fusão de imagem - *Pan Sharpening* - da banda 8 que consiste, basicamente, em integrar a melhor resolução espacial de 15 metros da banda pancromática preservando o conteúdo/cor seguido do mosaico das imagens dos pontos 074 e 075. Na sequência, foi efetuado o processamento dos dados interferométricos partindo do recorte/extração do dado Aster/GDEM para a área de estudos e adjacências seguido da geração do MDE (Modelo Digital de Elevação) e fusão com a imagem pancromática.

O próximo passo foi o processo de interpretação visual comparando as imagens temporais (Figura 1) através da técnica de fotoidentificação e fotointerpretação seguido da digitalização do alvo de interesse (áreas inundadas em 2019) utilizando a técnica de edição vetorial do SIG.

Nesse procedimento de delimitação foram considerados os elementos básicos de interpretação como: textura, tonalidade/cor, forma, tamanho, padrão, localização e sombra, conforme proposta de Jensen (2009), seguido do cálculo e percentual de área inundada.

Essa técnica de interpretação da imagem tratada possibilitou uma melhor delimitação das áreas inundadas que foram acrescidas com os polígonos de inundação realizados pela Defesa Civil, tendo como resultando final as *manchas de inundação* da microrregião que posteriormente foram validadas e aprovadas em fonte/produtos de instituições de renome como Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos no “*Atlas de Vulnerabilidade às Inundações*” (IEMA, 2013) e da Agência Nacional das Águas no “*Relatório da Vulnerabilidade a Inundações do Estado do Espírito Santo*” (ANA, 2014). Cabe salientar, que as *manchas de inundação* evidenciaram novas áreas inundáveis, gerando um produto mais completo e atualizado da microrregião estudada.



Figura 1. Imagens temporais do satélite Landsat-8 na Microrregião Litoral Sul no período de vazante (esquerda) e cheia em dezembro de 2019 (direita). As cores escuras da imagem de 2019 evidenciam os locais inundados na planície que foram vetorizados conforme destaca a imagem abaixo, em azul.

Áreas de inundação e enxurradas: mapeamento e análise

A Microrregião Litoral Sul abrange 4 bacias hidrográficas ou Unidades de Gestão de Recursos Hídricos - UGRH (AGERH, 2020 e 2018), em área da maior para menor, as bacias do rio Itapemirim (6.181,60 km² no ES); o rio Itabapoana (2.696,0 km² no ES); o rio Benevente (1.206,9 km²) e Rio Novo (776,9 km²) cobrindo uma área total de 9.654,5 km² e 20,95% do território Capixaba.

As bacias do Benevente e Rio Novo cobrem quase a totalidade da porção norte da microrregião, envolvendo os trechos Alto, Médio e Baixo Curso, tendo como corredores fluviais principais os rios: Benevente na bacia homônima e Iconha na bacia do Rio Novo, enquanto as bacias hidrográficas Itapemirim e Itabapoana, ambas de domínio federal, cobrem os trechos do médio e baixo curso dos rios homônimos (COELHO, 2015; 2010).

O regime fluvial dos rios que vertem no interior da microrregião normalmente acompanha a pluviosidade (superiores a 1.250 mm/a), sendo marcado por dois períodos: um de vazante, a partir de junho, atingindo mínimas extremas nos meses de agosto e setembro e um de cheia, com os níveis máximos ocorrendo nos meses de novembro a março (IEMA, 2014).

A hipsometria da microrregião, de maneira geral, decresce gradualmente de oeste para leste, apresentando os maiores registros altimétricos a noroeste dos municípios de Alfredo Chaves, Iconha e Rio Novo do Sul, com valor máximo de 1.588 metros. Nos trechos mais elevados e inclinados, na transição da faixa litorânea para áreas interioranas, observa-se a maior incidência de sistemas atmosféricos frontais de frio ou estacionário associados com a formação de nuvens e episódios de chuvas mais severas. Sob essas condições, ocorre o escoamento concentrado das águas nos canais fluviais com trechos de maior velocidade que, conseqüentemente, repercutem na gênese de inundações e enxurradas em diferentes trechos da microrregião, a exemplo do registro na sede municipal de Iconha em 2020 (Figura 2).



Fonte: Adaptado de Portal Vale Notícias (2020).

Figura 2. Registro das inundações na sede municipal de Iconha em decorrência das fortes chuvas de 17 de janeiro de 2020.

A Figura 3 apresenta o mapa das áreas de inundação e enxurradas integrando os polígonos desses eventos delimitados pela Defesa Civil, em vermelho, e os polígonos em azul das áreas inundadas detectadas pelo sensor multiespectral do satélite Landsat-8 em 18/12/2019 cobrindo uma área total de 13.335,88 hectares, correspondendo 4,79% da área da microrregião de 278.230,17 ha.

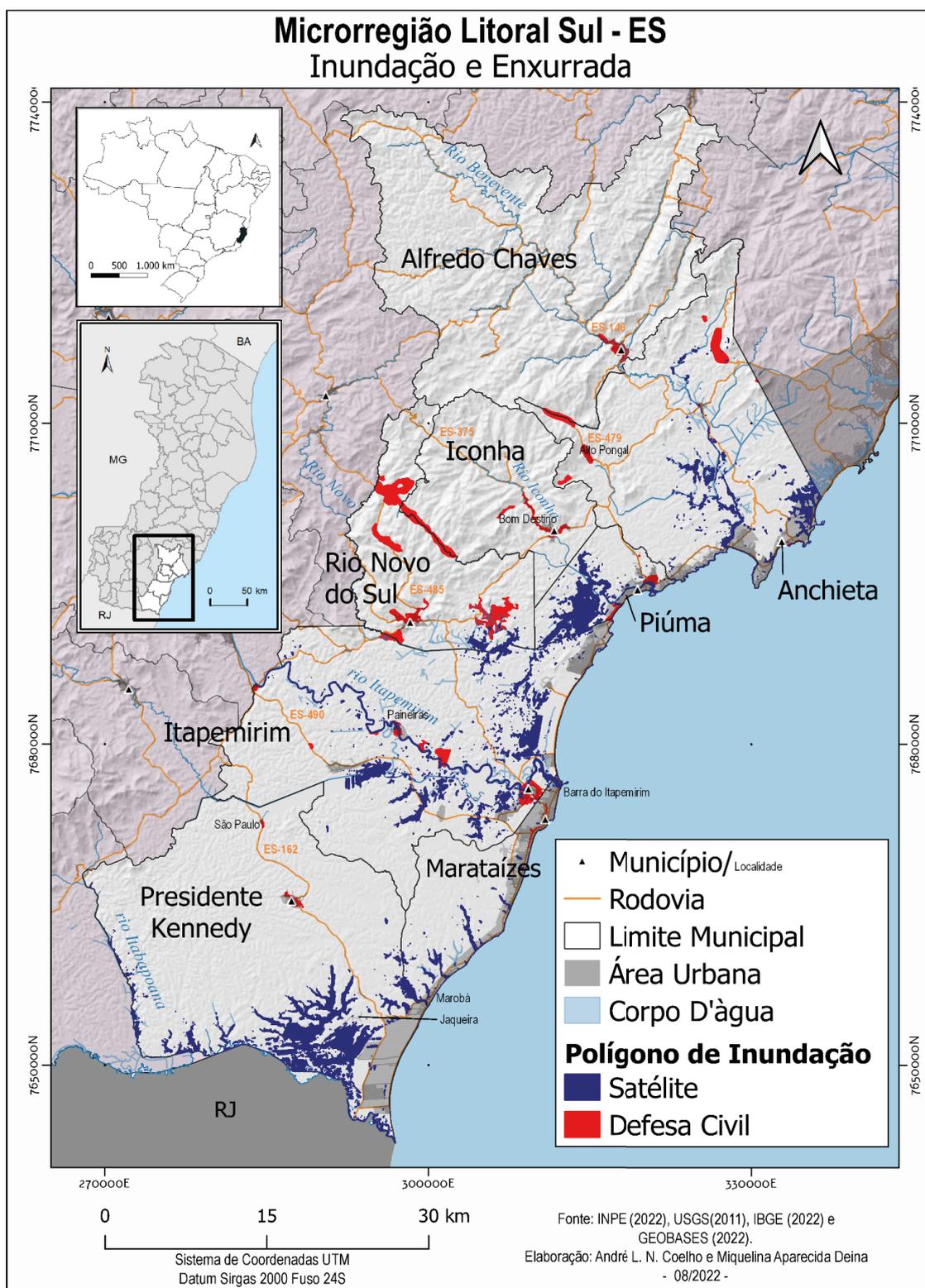


Figura 3. Polígonos de inundações e enxurradas na Microrregião Litoral Sul.

A Tabela 1, acrescida a análise do mapa (Figura 3), apresenta o percentual de inundação e enxurradas por município havendo o destaque para Piúma com 21,30%, Rio Novo do Sul com 8,96%, Presidente Kennedy 6,53% e Itapemirim com 6,04%, respectivamente. Evidencia também, que todas as sedes municipais,

que são caracterizadas por uma maior densidade de população e residências/indústrias, apresentam trechos susceptíveis a inundações, sobretudo as situadas na faixa litorânea como Piúma, Anchieta, incluído as localidades de Barra do Itapemirim (Marataízes), Jaqueira e Marobá (Presidente Kennedy).

Tabela 1. Área inundável por município e mancha de inundação em área urbana.

Município	Área Municipal (ha)	Área Municipal Inundada (ha)	Percentual Inundado no Município	Mancha de Inundação em parte da Área Urbana
Alfredo Chaves	61.573,77	228,71	0,37%	sim
Anchieta	40.963,17	1.658,70	4,05%	sim
Iconha	20.355,74	358,84	1,76%	sim
Itapemirim	55.065,52	3.324,54	6,04%	sim
Marataízes	13.022,78	476,67	3,66%	sim
Piúma	7.394,07	1.575,09	21,30%	sim
Presidente Kennedy	59.404,91	3.881,36	6,53%	sim
Rio Novo do Sul	20.450,20	1.831,98	8,96%	sim
Totais	278.230,17	13.335,88		

Além das inundações em porções das sedes municipais, a Figura 3, revela manchas de inundação e enxurrada em trechos rodoviários como a ES-162 em Presidente Kennedy, ES-490 em Itapemirim, ES-485 Rio Novo do Sul, ES-375 em Iconha, ES-479 em Anchieta e, em localidades destacando-se:

- Jabaquara e Alto Pongal no município de Anchieta (COELHO, 2010);
- Bom Destino no município de Iconha (PONTINI; COELHO, 2022);
- Paineiras no município de Itapemirim;
- Localidade de Barra do Itapemirim no município de Marataízes; e,
- Jaqueira, Marobá e São Paulo no município de Presidente Kennedy (COELHO, 2015).

Segundo a DEFESA CIVIL/PEPDEC (2020) parte expressiva dos registros de inundações na microrregião estão associados as chuvas intensas e pela intensificação sazonal do regime de precipitação. Todavia, outras causas que potencializam esse fenômeno resultam do assoreamento do leito dos rios, a compactação e impermeabilização do solo, aterros de planícies alagáveis ou áreas de amortecimento de cheias, o rompimento de barragens ou ainda pela drenagem deficiente de determinadas áreas, a exemplo das planícies fluviomarinhas da microrregião, potencializada por episódios de marés oceânicas de sizígia (COELHO, 2017; 2015).

A Figura 4, evidencia uma dessas práticas inadequadas do uso da terra com potencial para degradação dos solos pela aragem da terra realizada no sentido vertical, favorecendo o surgimento de erosões, ravinas que podem levar,

num futuro próximo, a processos de voçorocamento, colmatagem do relevo local e assoreamento de leitos fluviais com potencial para inundações (GIMENES; GOULART; COELHO, 2020).



Fonte: Foto dos autores (2022).

Figura 4. Foto destacando o processo de aragem do solo potencializando os processos de erosão e colmatagem do terreno imediatamente abaixo (antigo brejo) nas adjacências da Comunidade de Brejo dos Patos – Marataízes.

As planícies que cobrem 21,3% do município de Piúma, em sua maior parte, apresentam atributos naturais relevantes com a ocorrência de sambaquis, sendo naturalmente submetida a eventos recorrentes de inundação durante o verão. Em função dessas características/atributos há o interesse por parte dos governos municipal e estadual a criação da APA Vale do Orobó envolvendo toda a planície fluvial alagada, abrangendo também, as áreas do Monte Aghá e Mata do Orobó (COELHO; NASCIMENTO, 2012).

Já a zona de passagem das cheias do rio Itabapoana (Figura 3) corresponde a uma das paisagens da microrregião mais conservadas com o destaque para os manguezais, ecossistemas adaptados aos movimentos de subida e descida das marés e aos regimes fluviométricos da bacia do Itabapoana. Os impactos – atuais – identificados neste trecho são pouco representativos, resumindo-se apenas a uma pequena área de bosque alterado, localizado à margem direita do rio, decorrente de um processo inicial de expansão urbana da localidade de Itabapoana no Estado do Rio de Janeiro (COELHO, 2015).

A localidade Areinha (em Presidente Kennedy) e a isolada Igreja Nossa Senhora das Neves estão situadas na transição entre o terraço marinho e a área periodicamente inundada (COELHO op. cit.). Particularmente, a Igreja das Neves, recebe centenas de fiéis no mês de agosto, correspondendo a um patrimônio histórico, cultural material e arqueológico. Suas festividades podem ser requeridas como um patrimônio cultural imaterial o que possibilita a inserção da população no contexto da identidade regional, sobretudo, nos municípios no eixo RJ, ES e MG.

Observações Complementares dos Ambientes Inundáveis

As áreas inundadas delimitadas do ponto de vista geológico / geomorfológico abrangem predominantemente terrenos do quaternário, configurando-se em planícies com depósitos aluvionares fluviais e de brejos mais para o interior da microrregião, enquanto adjacentes a linha de costa, observa-se uma maior cobertura dos depósitos fluviomarinhas e marinhos com ocorrência de vegetação de restinga e manguezal (RADAMBRASIL, 1983).

Com relação a sua gênese, a referida área costeira é parte do processo evolutivo das planícies litorâneas quaternárias, sugerido por Dominguez et al. (1981), no trecho entre Macaé (RJ) e Recife (PE), que tem como característica marcante de modelado a presença das planícies fluviolacustres quaternárias.

Em sua proposta, Dominguez et al. (op. cit.) apresenta um modelado dividido em 8 estágios (A a H), representando, em “F”, a formação e evolução das planícies costeiras e fluviomarinhas quaternárias na costa leste do Brasil relacionada a uma série de eventos, sobretudo, das variações eustáticas e climáticas ocorridas no decorrer do período Quaternário.

Este estágio “F” foi caracterizado pelo máximo da última transgressão (Transgressão Santos), ocorrida entre 6.000 e 7.000 anos Ap. com o nível médio relativo do mar chegando próximo ao atual e, a seguir, passou por um máximo, situado a 4 e 5m acima do atual. (Dominguez et al. 1981; e AB`Sáber, 2003). Isto é, no máximo da última transgressão o mar estendia-se além das sedes municipais de Anchieta, Piúma, Marataízes e planícies fluviomarinhas atuais.

Sob a perspectiva geomorfológica, essas planícies englobam os modelados de relevo praticamente planos situados junto à linha de costa, desembocaduras fluviais e fundos de vales interiores representados pelos modelados de acumulação, sendo: *fluviomarinha* (Afm) caracterizado por uma área plana formando planícies, resultante da combinação de processos de acumulação fluvial e/ou marinha, sujeita a inundações, a exemplo das adjacências da foz do rio Itabapoana, marcadas por uma vegetação de restinga e mangue (RADAMBRASIL, 1987). O segundo modelado de acumulação é o *fluvial* (Af), caracterizado como uma área plana resultante de acumulações fluviais susceptíveis também a inundações periódicas, a exemplo do baixo curso dos rios Itapemirim, Itabapoana, Rio Novo, incluindo áreas urbanas interiores de Iconha, Alfredo Chaves e outras da microrregião edificadas nessas planícies.

As manchas de solos predominantes das áreas inundáveis analisadas são: *Gleissolos Sem Influência Marinha*, caracterizados por solos com argila de atividade alta e baixa saturação de bases ($V < 50\%$) na maior parte dos primeiros 120 cm a partir da superfície do solo. Ocorre também os *Neossolos Flúvicos* formados por sedimentos aluviais com horizonte A sobre horizonte C constituído de camadas estratificadas

desenvolvidos de sedimentos aluviais recentes sem relações pedogenéticas entre os extratos. Já os *Gleissolos Com Influência Marinha* são caracterizados por apresentar um horizonte A espesso e escuro sobre horizonte geralmente gleizado, encontrado em áreas planas sujeitas a inundação (lagoas e linha de costa). Destaca-se também os *Gleissolos Tiomórficos* (classificação antiga Gleitiomórfico) situados nas áreas de mangues apresentando altos teores de enxofre que provoca um grande abaixamento do pH quando o solo se seca (RADAMBRASIL, 1987).

A partir do estudo integrado dos elementos e processos socioambientais na Microrregião Litoral Sul, incorporando o mapeamento realizado (Figura 3), fica evidente a susceptibilidade a eventos sazonais de inundação, constituindo-se em áreas de amortecimento de cheias com dinâmica de escoamento superficial das águas lântico (de águas semiparadas) nos eventos de precipitações concentradas, a exemplo do mês de dezembro de 2019 revelada pela imagem de sensoriamento remoto (Figura 1).

Constitui-se também a referida região, do ponto de vista ambiental num conjunto de ecossistemas de importância para a reprodução de espécies, sobretudo da fauna, com elevada fragilidade a modificações, a exemplo de solo criado (aterros), dragagens e queimadas. Apresenta ainda um elevado valor histórico-cultural, arqueológico (ocorrência de sambaquis), além do valor cênico como o vale do Itabapoana, manguezais, Monte Aghá somando um conjunto de atributos de elevado potencial para o turismo de contemplação e pesquisas.

Cabe destacar, com base em Cunha (2015) e Huggett (2011), que historicamente as paisagens de planícies fluviais e fluviomarinhas têm sido locais de intervenções humanas, representando um setor de destaque no planejamento e ordenamento territorial/ambiental pelo seu caráter condicionante da própria vida humana, pois envolve não só conhecimentos culturais, mas suas ações com interferências na dinâmica das águas e geoformas fluviais.

Tais intervenções foram significativamente ampliadas nas últimas décadas com o crescimento de cidades ocupando as margens, canalizando corpos d'água urbanos e, inclusive, as planícies inundáveis. O que se observa atualmente, ao longo da linha de costa espírito-santense, incluindo as planícies fluviais e fluviomarinhas, um processo de transformação da paisagem impulsionado pelos governos Federal, Estadual e Municipais, através de planos, decretos e leis, materializado na ocupação desses ambientes como parte da planície do Itabapoana e planície do rio Benevente em Anchieta (COELHO, 2015; 2011; COELHO; NASCIMENTO, 2012; COELHO; RAMOS; BERGAMASCHI, 2011).

Nessas planícies fluviais, os eventos de inundações configuram-se como uma das principais vulnerabilidades urbanas e rurais, trazendo consequências que se refletem na qualidade das fontes de abastecimento pela contaminação

dos mananciais superficiais e subterrâneos; contaminação das praias adjacentes; erosão e produção de sedimentos e na segurança da população, no caso de inundações urbanas e das doenças veiculadas pela água (IEMA, 2013). Acrescenta-se, em alguns casos, a perda de bens materiais e até perdas humanas em função da intensidade e/ou durabilidade desses eventos.

Em relação aos efeitos ou impactos potenciais, podem ser mencionados uma série, caso ocorra a ocupação e construção de equipamentos industriais/residenciais e vias nessas planícies. Porém, merece destaque, em especial, os efeitos nos recursos hídricos locais e adjacentes, dada a complexidade da dinâmica das águas superficiais desses ambientes, como: alteração do regime hidrológico e nível do lençol freático em decorrência das mudanças no escoamento superficial e infiltração pela construção de vias, obras de drenagem e parcelamentos; contaminação do lençol freático por efluentes domésticos e/ou industriais, ou ainda por acidente de veículo de carga transportando substâncias tóxicas. Outro fator ainda a ser considerado é a extensão dos efeitos/impactos, pois todo o escoamento das águas superficiais verte em direção aos mangues, além de comprometer a balneabilidade das praias adjacentes.

Ainda com relação aos recursos hídricos, existem outros riscos como os eventos de inundação caso as áreas delimitadas na Figura 3 sejam ocupadas. Mesmo que ocorram obras de engenharia com objetivo de drenar as águas dessas planícies, futuramente a mesma necessitará de manutenção com dragagens periódicas gerando custo extra para o município/união, uma vez que o processo de sedimentação/assoreamento é rápido dada as características de relevo e solos desses ambientes.

A influência da maré é outro importante aspecto de risco à inundação. Mesmo com obras de drenagem e manutenção dos canais em dia, em um evento de marés altas de sizígia, a região pode ser inundada com as águas pluviais, não havendo como escoarem em direção a embocadura.

Exemplo de área com as mesmas características de planícies, parcialmente parcelada, sujeitas a eventos de inundações é a Bacia Hidrográfica do Rio Jucu em porções do seu baixo curso no Município de Vila Velha na Região Metropolitana da Grande Vitória (DEINA; COELHO, 2017), atingindo o bairro Pontal das Garças (Figura 5). Nesses locais de topografia plana e escoamento fluvial lento a elevação da onda de inundação é relativamente rápida, potencializada pela impermeabilização do solo por construções, vias e outras obras de engenharia como diques.



Fonte: Deina e Coelho (2017).

Figura 5. Região do baixo rio Jucu, Município de Vila Velha-ES com morfologia semelhante à área de estudo, sujeita a eventos de inundações como o bairro Pontal das Garças.

É importante registrar que o monitoramento e o conhecimento das áreas de maior susceptibilidade a inundações podem servir de base para o direcionamento de ações de contenção e de prevenção dos desastres dessa natureza, através das pesquisas científicas e de estudos técnicos, considerando a inter-relação entre os aspectos físicos naturais e a forma de uso da terra pela sociedade.

Conclusões

Fundamentado no estudo integrado dos elementos, processos ambientais e sua espacialização na microrregião, torna-se evidente a susceptibilidade a eventos sazonais de inundação. Constitui-se também a referida região diversos ambientes

de importância para a reprodução de espécies, sobretudo da fauna, com elevada fragilidade a modificações a exemplo de solo criado (aterros), dragagens e queimadas.

Apresenta ainda, um elevado valor histórico-cultural imaterial e material como a Igreja das Neves no município de Presidente Kennedy, arqueológico (ocorrência de sambaquis nos municípios litorâneos), somando-se a um conjunto de atributos com elevado valor cênico da microrregião como o “Pantanal Capixaba” em Presidente Kennedy, Monte Aghá (Piúma e Itapemirim), as lagoas de Marataízes entre outros locais com potencial para o turismo de contemplação e pesquisas. Dotada portanto de um conjunto de características, que evidenciam a necessidade de um planejamento e ordenamento ambiental em escala microrregional.

Do ponto de vista jurídico, esses ambientes inundáveis são resguardados por Leis como a Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 que Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, a Lei da Mata Atlântica (Lei 11.428, de 22 de dezembro de 2006) e resolução (Resolução Conama nº 303, de 20 de março de 2002), portanto não recomendável à expansão do perímetro urbano ou a criação de polo/área industrial.

A proposta de delimitação de área sazonalmente inundada com emprego de imagens de sensoriamento remoto associada aos dados da defesa civil e do uso das geotecnologias de SIG gratuito, se mostrou eficiente oferecendo um produto no qual podem derivar novas informações e proposições, de locais mais susceptíveis a desastres dessa natureza. As imagens de satélites possibilitam entender a distribuição, realizar acompanhamentos sistemáticos e integrar os dados com outras demandas de análises/estudos tratadas sob distintos enfoques acadêmicos, Corpo de Bombeiros e Defesa Civil, podendo as análises serem conjugadas, resultando no aumento da eficiência técnica e econômica dos trabalhos de controle e fiscalização, possível de ser aplicada em regiões que carecem de estudos dessa natureza.

O estudo comprova também que a análise microrregional desse tema possibilita uma visão integrada das maiores ocorrências das inundações e enxurradas rompendo com os estudos setoriais de municípios e, a partir das ações do Conselho de Desenvolvimento Regional da Microrregião Litoral Sul (IJSN, 2020), por exemplo, podem ser estabelecidos diversos estudos/diagnósticos: comparações temporais e espaciais; pesquisas em períodos/datas de interesse; modelagens e análises espaciais; integração com outros dados/informações territoriais, subsidiando a elaboração de planos/ações que reduzam os impactos desses eventos (resiliência da paisagem) e suporte nas operações de fiscalização visando a redução de ocorrências dessa natureza.

Os Conselhos de Desenvolvimento Regional Sustentável (CDRS), formalmente instituídos por decreto estadual, podem ainda implementar e difundir outros projetos/programas que tenham aderência ao tema de recursos hídricos, sobretudo os de resultados alcançados como: 1) Estender os programas de

conservação da cobertura florestal da Microrregião como o Programa Reflorestar e capacitar os Agentes de Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER) para elaborarem e acompanharem a execução de projetos economicamente viáveis; 2) Estender os programas de Pagamento de Serviços Ambientais (PSA); 3) Estimular o desenvolvimento de programas de educação ambiental crítica (formal e informal) nas microrregiões, 4) Capacitar agentes para o uso de geotecnologias como SIG e Sensoriamento Remoto nos estudos de inundações, entre outros.

Os produtos derivados dessa análise também podem contribuir para a revisão/elaboração de projetos como o plano diretor para redução de riscos, além de proporcionar subsídios para análises espaciais, estatísticas e temporais dessas ocorrências e para os estudos dos efeitos ecológicos, atmosféricos e de mudanças climáticas, pois no presente estudo considerou-se as peculiaridades e particularidades socioambientais do território microrregional através de dados, informações e softwares acessíveis e gratuitos.

Notas

3 A Microrregião Litoral Sul, conforme Lei Estadual nº 9.768/2011, é composta por oito municípios que ocupam 6,05% do território do estado do Espírito Santo. Cinco fazem limite com o Oceano Atlântico sendo: Anchieta, Piúma, Itapemirim, Marataízes e Presidente Kennedy. Os outros municípios são Alfredo Chaves, Rio Novo do Sul e Iconha (Figuras 1 e 3).

4 O referencial teórico deste estudo está fundamentado na análise integrada envolvendo os conceitos de Espaço Total (AB`SÁBER, 2002), Ecodinâmica (TRICART, 1976 e 1977); Geossistema (BERTRAND, 1971) e Ecogeografia (ROSS, 2009), adaptada à realidade socioambiental da microrregião, tendo em comum entre estas referências, a perspectiva tempo-espacial e a integração dos elementos/atributos socioambientais presentes no território, permitindo uma investigação temporal (dinâmica) e espacial das fragilidades como as inundações através da conjugação dos atributos (físicos, biológicos e antrópicos), alcançando um estudo mais completo dos processos físicos e socioeconômicos contemporâneos (ROSS, 2009).

5 Software de SIG gratuito popular, de código-fonte aberto, multilinguagem, multiplataforma (SIG, SR, GPS, Tabela Excel). Utiliza aplicações externas como Grass, GDAL e SAGA e possibilita a instalação de complementos/plugins. Ex.: OpenLayers, QuickMapService, Semi-Automatic Classification, entre outros.

6 O Atlas de Inundações no Estado do Espírito Santo (IEMA, 2013) trata a vulnerabilidade às inundações como uma variável resultante do cruzamento das informações relativas ao impacto e a frequência de ocorrência, sendo o impacto é definido em função da existência de danos à vida e às propriedades e da

interrupção dos serviços públicos e privados e a ocorrência retrata a frequência de inundações (Nota Técnica nº 01/2011/SUM/ANA).

7 Estado do Espírito Santo é dividido em 8 UGRHs - Unidades de Gestão de Recursos Hídricos por meio da Resolução do Conselho Estadual de recursos hídricos – CERH nº 001/2009.

8 Bacias hidrográficas de domínio da União/Federal, são aquelas que passam por mais de um Estado brasileiro ou por território estrangeiro, conforme Agência Nacional de Águas (ANA, 2020).

9 Coelho, Ramos e Bergamaschi (2011) identificam após o evento de precipitação extremo uma área inundada correspondente a 28,95% do total do território com o uso de imagens CBERS-2B/CCD.

10 O Tiomorfismo é uma particularidade de hidromorfismo, indica alterações morfológicas e químicas nos solos, impostas pelo excesso de água no perfil (encharcamento). Nestas condições o arejamento torna-se deficiente o que condiciona lenta decomposição da matéria orgânica por microrganismos anaeróbios, provocando seu acúmulo. Estes organismos transferem elétrons do carbono orgânico para outros elementos como o ferro e o manganês, reduzindo-os. Na forma reduzida estes elementos são mais solúveis, portanto, mais móveis no perfil, podendo inclusive, causar toxidez para as plantas. A ausência de Fe³⁺ (forma oxidada) ou o predomínio de Fe²⁺ (forma reduzida) faz com que o solo desenvolva cores acinzentadas (gleizadas, daí o nome gleização também usado para este processo) abaixo de um horizonte mais escuro rico em matéria orgânica. Os solos tiomórficos caracterizam-se por altos teores de enxofre sob a forma de sulfetos exalando um mau cheiro característico e ocorrem em depressões litorâneas e manguezais como a da área estudada (Resende et. al, 2007).

11 Em relação ao uso e cobertura da terra, segundo dados do IJSN (2015), na porção rural é predominantemente representado pela Pastagem com 48,8% seguido da Mata Nativa e em Estado de Regeneração com 20.06%, sendo 15,3% (424,9 km²) coberta por mata nativa, 5,3% (147 km²) por mata nativa em estágio inicial de regeneração, 0,6% (18,1km²) e 0,3% (9,2 km²) por restinga e mangue (IJSN, 2020) respectivamente. Em nível municipal há o destaque para Alfredo Chaves que cobre 38,8% (238,9 km²) da mata nativa da microrregião Litoral Sul (IJSN, 2020), área muito superior se comparada aos valores dos demais municípios, cujas áreas variam entre 0,4% (0,5 km²) em Marataízes e 14% (28,7 km²) em Rio Novo do Sul.

12 Decreto Estadual (Espírito Santo) Nº 4.701- R, de 30 de julho de 2020. Regulamenta a constituição dos Conselhos de Desenvolvimento Regional Sustentável - CDRSs, em conformidade com o art. 7º da Lei nº 9.768, de 26 de dezembro de 2011 que dispõe sobre a definição das Microrregiões e Macrorregiões de Planejamento no Estado do Espírito Santo (Brasil), e dá outras providências.

Referências

- AB`SÁBER, Aziz Nacib, Bases Conceituais e o Papel do Conhecimento na Previsão de Impactos, In: MÜLLER-PLANTENBERG, Clarita e AB`SÁBER, Aziz N. (orgs.) **Previsão de Impactos: O Estudo de Impacto Ambiental no Leste Oeste e Sul, Experiências no Brasil, na Rússia e na Alemanha**. 2ª ed., São Paulo, Editora da USP, 2002, pp. 28 – 49.
- AB`SÁBER, Aziz Nacib, **Domínios de Natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**, São Paulo, Ed. Ateliê Editorial. 2003, 160p.
- AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS - AGERH. **Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas do Espírito Santo** (bacias Benevente, Rio Novo, Itapemirim e Itabapoana). Disponível em: <<https://agerh.es.gov.br/planos-enquadramento>>. Acesso em: 2 mai. 2020.
- AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS - AGERH. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Espírito Santo - PERH/ES**. Vitória, 2018.
- ANA - Agência Nacional das Águas. **Vulnerabilidade a Inundações do Estado do Espírito Santo**, 2014. Disponível em: <<https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/metadata.show?uuid=2cbc59f2-e09f-4c19-9bd6-9f05d70cdd02>>. Acesso em: 5 jul. 2022.
- BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**, n. 13, p. 1-27, 1971.
- BRASIL. **Lei Federal nº 11.428**, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica (Lei da Mata Atlântica).
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. **Resolução CONAMA 303 de 20/03/2002** - Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente.
- CASTRO, A. L. C. **Glossário de defesa civil: estudos de riscos e medicina de desastres**. Brasília: Sedec, 2005.
- COELHO, A. L. N.; NASCIMENTO, F. H. Delimitação de Área Sazonalmente Inundável no Baixo Curso do rio Iconha Piúma – ES - BRASIL. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2012. **Simpósio Nacional de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2012. v. 1. p. 1-5.
- COELHO, André L. N.; GIMENES, Ana. C. W.; GOULART, Antônio C. O. Geotecnologias Aplicadas a Análise Espaço-Temporal das Queimadas e Incêndios em Escala Estadual: Conhecer para prevenir. In: Lourenço Magnoni Junior, Carlos Machado de Freitas, Eymar Silva Sampaio Lopes, Gláucia Rachel Branco Castro, Humberto Alves Barbosa, Luciana Resende Londe, Maria da Graça Mello Magnoni, Rosicler Sasso Silva, Tabita Teixeira e Wellington dos

Santos Figue. (Org.). **Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano**. 2ed. São Paulo: CPS, 2020, v. 1, p. 372-389.

COELHO, André Luiz Nascentes. Método de Análise Hierárquica (AHP) Aplicado a Inundação Urbana Após Evento de Chuva Concentrado. **GEOFOCUS** (MADRID), v.20, p.183 - 199, 2017.

COELHO, André Luiz Nascentes. Uso de Produtos de Sensoriamento Remoto para Delimitação de Área Efetivamente Inundável: Estudo de caso do baixo curso do rio Benevente: Anchieta - ES. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 4, p. 53-63, 2010.

COELHO, André Luiz Nascentes. Uso de Produtos OLI/Landsat-8 e GDEM/Aster na Avaliação da Dinâmica das Águas Superficiais na Planície do Baixo Itabapoana – Brasil. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2015, João Pessoa, PB. **Anais do 17 Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, João Pessoa, PB, 25 - 29 de abril de 2015. SÃO JOSÉ DOS CAMPOS - SP: INPE, 2015. v. 1. p. 178-184.

COELHO, André Luiz Nascentes; FREIRE, Ana Lucy Oliveira Geomorfologia e Planejamento Socioambiental na Planície do Rio Itabapoana RJ/ES. **Revista Geonorte**, v.10, p.438 - 443, 2014.

COELHO, André Luiz Nascentes; RAMOS A. L. D.; BERGAMASCHI. R. B. Uso Imagens Temporais CBERS-2B/CCD para Zoneamento de Área Sazonalmente Inundável no Município de Piúma – ES: uma proposta metodológica. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 2011, Curitiba – PR. **XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**. São José dos Campos - SP: MCT/INPE, 2011. v.1. p.2538 – 2545.

CUNHA, Sandra B. Geomorfologia Fluvial. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.) **Geomorfologia uma Base de Atualização e Conceitos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. pp. 211-252.

DEFESA CIVIL ES/PEPDEC. **Plano Estadual de Proteção e Defesa Civil 2020**. Disponível em: <<https://defesacivil.es.gov.br/Media/defesacivil/Acesso%20R%C3%A1pido/PEPDEC%20-%20SITE.pdf>>. Acesso em: setembro de 2020.

DEINA, M. A.; COELHO, A. L. N. Fragilidade Emergente a Inundações na Bacia Hidrográfica do Rio Jucu/ES In: XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2017, Santos - SP. **Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, 2017. v.1. p.150 – 157.

DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; MARTIN, L. Esquema evolutivo da sedimentação quaternária nas feições deltaicas dos rios São Francisco (SE-AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Geociências**, nº 11, 1981, p. 225-237.

GEOBASES - SISTEMA INTEGRADO DE BASES GEOESPACIAIS DO

ESTADO DO ESPÍRITO SANTO: **GEO-DADOS**, 2022. Disponível em: <https://ide.geobases.es.gov.br>. Acesso em: 2 Ago. 2022.

HUGGETT, Richard John. Fluvial Landscapes, in____. **Fundamentals o Geomorphology**, Third Edition. Taylor & Francis e-Library, 2011. pp. 187 – 246.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cartas Topográficas escala 1:50.000** - Presidente Kennedy - SF-24-G-II-2; Itapemirim - SF-24-H-I-1; Barra Seca - SF-24-G-II-4; Itabapoama - SF-24-H-I-3, Década de 70.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Resolução IBGE nº 1/2005 que altera a caracterização do referencial geodésico brasileiro**. SIRGAS-2000 (2005).

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapas Interativos do IBGE (2022)**: Base de Dados Geográficos. Disponível em: <<ftp://geoftp.ibge.gov.br>>. Acesso em: 17 jul. 2022.

IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente. **Unidades Administrativas de Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo**, 2014.

IJSN - Instituto Jones dos Santos Neves. **Diagnóstico da Microrregião Litoral Sul**: Relatório Técnico Projeto Desenvolvimento Regional Sustentável – DRS – ARRANJO 1, 2020.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. **Dados de Estações Climatológicas do Estado do Espírito Santo e, Dados e Informações referentes chuvas intensas**, 2022.

INSTITUTO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – IEMA. **Atlas de Vulnerabilidade às Inundações no Estado do Espírito Santo**. 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Catálogo de Imagens** – Aquisição de imagens orbitais digitais gratuitas do satélite Landsat-8, órbitas/pontos: 216/74 e 216/75. Datas de passagem 11/07/2019 e 18/11/2019. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>>. Acesso em: 5 jul. 2022.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres, São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

KOBIYAMA, M et al. **Prevenção de desastres naturais**: conceitos básicos. Florianópolis: Ed. Organic Trading, 2006. 122p.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG**. tradução Hermann Kux, São Paulo: Oficina de Textos. 2009. 424 p.

PONTINI, V. V.; COELHO, A. L. N. Aspectos Físico-Sociais das Inundações e Enxurradas na Sub-Bacia de Drenagem do Rio Iconha, Estado do Espírito Santo. **Caminhos de Geografia**, 23 (86), 2022, 139–155.

PORTAL VALE NOTÍCIAS, 22 jan. 2020. Disponível em: <<https://www.portalvalenoticias.com.br/noticia/994/cidades-do-es-entram-em-estado-de-calamidade-publica-apos-enchentes>>. Acesso em: 26 ago. 2020.

RADAMBRASIL. **Levantamento de Recursos Naturais**. Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Uso Potencial da Terra. v. 32, Folhas SF 23/24 Rio de Janeiro / Vitória. Rio de Janeiro: IBGE/Ministério das minas e energia – Secretaria Geral. 1983. 775 p.

RESENDE, Mauro; CURI, Nilton; REZENDE, Sérvulo B. de; CORRÊA, Gilberto F. **Pedologia**: Base para Distinção de Ambientes, 5 ed. Editora: Ufla, 2007, 322p.

ROSS, J. Paisagem, Configuração Territorial e Espaço Total: interação da sociedade com a natureza In: **Ecogeografia do Brasil**: subsídios para planejamento ambiental. São Paulo. Ed. Oficina de Textos, 2009. p. 47 – 61.

SAUSEN T. S.; NARVAES, I. S. Sensoriamento Remoto para Inundação e Enxurrada. In: SAUSEN T. S. e LACRUZ, M. S. P. (Orgs.) **Sensoriamento Remoto para Desastres**, São Paulo: Oficina de textos, 2015. p. 119-147.

SLOCUM, Terry et al. **Thematic Cartography and Geovisualization**. 3rd ed. [S.l.: s.n.], 2008. (Ph. Series in Geographic Information Science).

TRICART, J. A Geomorfologia nos Estudos Integrados de Ordenação do Meio Natural. **Boletim Geográfico**, Rio de Janeiro, 1976, pp. 15 – 42.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977.

USGS - Geological Survey / Serviço Geológico Americano. **Dados de Altitude Satélite Aster (2011)**. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov>>. Acesso em: 10 jun. 2015.



Autor: © Mardilson Torres (Bujari-Acre-BR)