

APLICAÇÕES GEOTECNOLÓGICAS EM ESTUDOS SOCIOAMBIENTAIS: AVALIAÇÃO DA FRAGILIDADE EMERGENTE NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BUBU (ES)

Vinícius Vieira Pontini^(a), Vitor Silva de Miranda^(b), André Luiz Nascentes Coelho^(c)

^(a) Departamento de Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, pontinivini@gmail.com

^(b) Departamento de Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, vitorsvmiranda@gmail.com

^(c) Departamento de Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, alnc.ufes@gmail.com

Eixo: GEOTECNOLOGIAS E MODELAGEM ESPACIAL EM GEOGRAFIA FÍSICA

Resumo

Bacias hidrográficas são, em muitos casos, palco de impactos socioambientais atrelados a um mau ordenamento e a uma má gestão do território frente aos condicionantes físico-naturais. Desta forma, este artigo objetiva identificar as classes de Fragilidade Emergente na bacia hidrográfica do rio Bubu (ES). A metodologia consistiu no levantamento bibliográfico acerca da problemática, bem como na modelagem em ambiente SIG atrelada à técnicas e a produtos de Sensoriamento Remoto, com a validação do mapeamento realizada por meio de imagens oriundas de sítios eletrônicos e registros documentais. Com o cálculo das áreas e os percentuais de cada classe de Fragilidade, foi possível colocar em xeque a problemática socioambiental da área. A metodologia empregada pode ser aplicada em outras áreas de bacias hidrográficas e até municípios, sendo uma importante ferramenta para tomadas de decisões, como o Plano de Gerenciamento de Bacia e o Plano de Drenagem Urbana.

Palavras chave: análise geográfica, geotecnologias, impactos socioambientais, ordenamento e gestão territorial.

1. Introdução

As populações humanas crescem a nível global e demandam uma quantidade cada vez maior de recursos para acompanhar este crescimento, como água, alimentos, energia, moradias, dentre outros. A organização espacial, ou seja, o conjunto de objetos de criação antrópica e dispostos sobre a superfície terrestre, é um meio de vida no presente (produção), mas também uma condição para o futuro (reprodução) (CORRÊA, 1990), sendo de fundamental importância compreender a configuração natural dos terrenos antes de ocupá-los, executando uma organização espacial que respeita as condicionantes físicas.

Contudo, no Brasil tais processos ocorrem, em muitos casos, de forma predatória e degradante, materializada sobretudo na urbanização crescente das cidades, planejada e executada sem levar em consideração a dinâmica do ambiente físico onde são instaladas. Como consequência, acontecem diversos danos socioambientais, como inundações e alagamentos em várias cidades e deslizamentos em encostas com ocupações irregulares, evidenciando um ordenamento e uma gestão territorial em conflito com os elementos naturais.



Estes acontecimentos materializam-se no interior das bacias hidrográficas que, como argumenta Coelho (2009), sedia vários processos físicos e socioeconômicos que, analisados em conjunto, promovem com o passar do tempo mudanças hidrológicas, bióticas, dentre outras, moldando na calha principal do rio uma morfologia direcionada por essas condições.

Na bacia hidrográfica do rio Bubu, que situa-se inteiramente no município de Cariacica (ES), as principais intervenções antrópicas são a construção de residências, indústrias, ruas e estradas. O trecho urbano do rio Bubu é o mais afetado por tais intervenções com o recebimento de esgoto *in natura* e resíduos domésticos, causando o assoreamento do canal principal, além da poluição hídrica. Assim, faz-se necessário realizar estudos visando a análise da Fragilidade destes ambientes, como os desenvolvidos a partir do emprego da metodologia de Ross (1994), que envolve a integração entre as características físicas e as interferências antrópicas, possibilitando identificar graus de Fragilidade Ambiental.

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), os produtos e as técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) são importantes aportes geotecnológicos para a execução deste tipo de metodologia, trazendo à tona um grande arsenal de possibilidades analíticas de estudos ambientais. Neste contexto, Fitz (2008) afirma que o avanço das geotecnologias tem culminado em uma maior influência na produção da pesquisa geográfica moderna. As imagens de satélites como da série *Landsat*, *Cbres*, *Resourcesat*, entre outros, por recobrirem sucessivas vezes a superfície da Terra, possibilitam o estudo e o monitoramento de fenômenos naturais dinâmicos do meio ambiente, como inundações, queimadas e tempestades (FLORENZANO, 2011).

Nesse contexto o presente artigo, que tem como recorte espacial a bacia hidrográfica do rio Bubu, objetiva identificar as classes de Fragilidade Emergente a partir da modelagem em ambiente SIG associado à técnicas e a produtos de SR. Especificamente, busca-se com esta pesquisa salientar e descrever as principais etapas da modelagem; validar o produto final de Fragilidade através de imagens provenientes de fontes digitais e registros documentais sobre áreas inundadas em períodos de precipitações pluviais; aprofundar as aplicabilidades de geotecnologias nos estudos geográficos modernos e auxiliar na revisão ou elaboração do Plano de Gerenciamento de Bacia e implantação do Plano de Drenagem Urbana (PDU).

2. Materiais e Métodos

A fim de se alcançar os objetivos propostos, a pesquisa foi fragmentada em duas principais etapas, com metodologia (Figura 1) similar à utilizada por Deina e Coelho (2016). Na primeira, fez-se a obtenção de referencial bibliográfico e documental, como artigos e periódicos. Também foram adquiridos Planos de Informações: Limite Estadual (IBGE, 2015); Limite Municipal, Geomorfologia, Solos e Uso e Cobertura da Terra (IJSN, 2013); Bacias Hidrográficas (IEMA, 2010); imagem satélite *Landsat* 8, sensor *OLI*



(Operational Land Imager), órbita 215, ponto 74, com data de passagem em 27/07/2016 às 9h38min50, bandas: 2, 3 e 4 com resolução espacial de 30 metros, banda 8 pancromática com resolução de 15 metros (INPE, 2016); Carta Topográfica em escala 1:100.000 (IBGE, 2016); Dados Topográficos da Missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM1S21W041V3) com resolução de 30 metros (USGS, 2014).

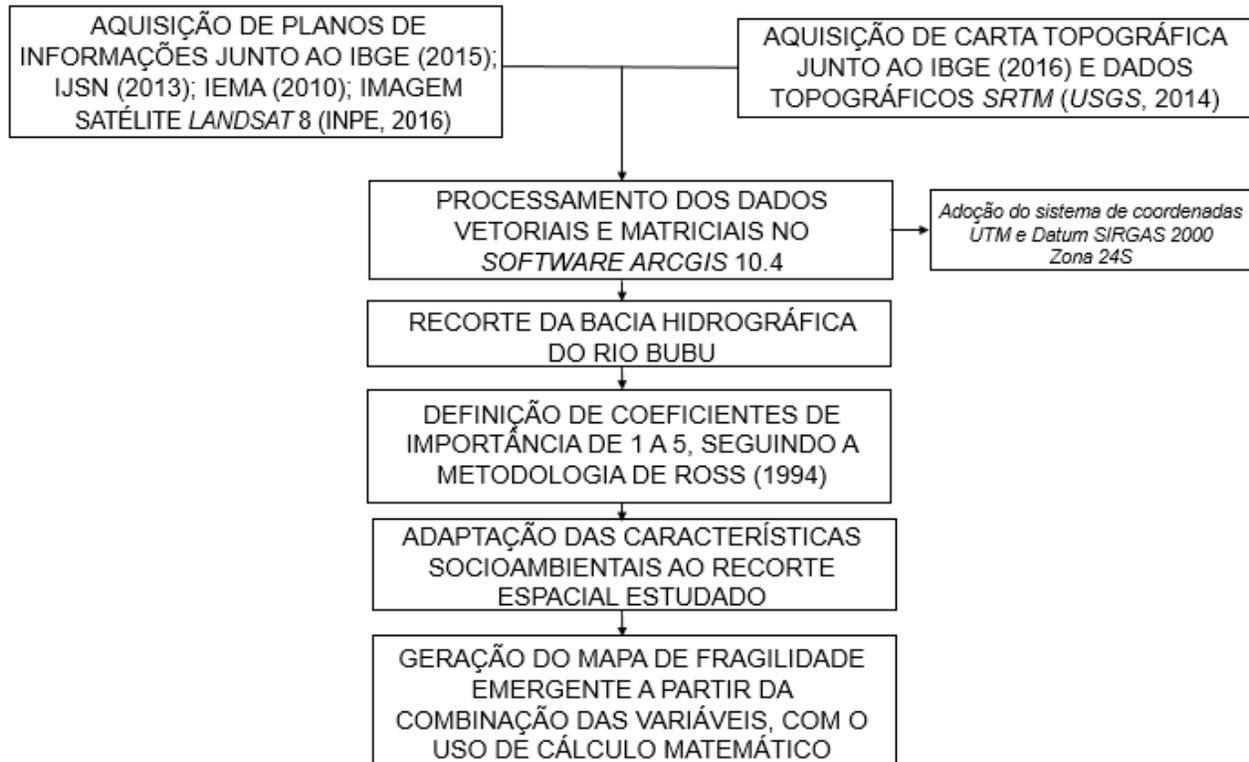


Figura 1 – Fluxograma da metodologia utilizada. Elaborado pelos autores.

Em um segundo momento, os dados vetoriais e matriciais foram processados no SIG *ArcGIS* 10.4 e ajustados, conforme a necessidade, ao sistema de projeção *UTM*, Datum *SIRGAS* 2000, Zona 24 Sul (IBGE, 2005). O recorte da bacia do rio Bubu foi realizado a partir da Carta Topográfica em escala 1:100.000 do IBGE no formato digital, levando em consideração as curvas de nível/topografia e os cursos d'água como limites da bacia. O processo de confecção de Fragilidade Emergente da bacia se iniciou com a definição de coeficientes de importância entre 1 a 5 de acordo com Ross (1994), com a adaptação das características socioambientais do recorte espacial estudado, com o valor 5 representando o mais alto grau de Fragilidade e da definição do tamanho das células de 30 x 30 metros, compatíveis com a escala da área analisada.

A variável *Declividade* partiu do dado *SRTM* recortado no limite da bacia, gerando a declividade e reclassificado através dos comandos “*Extract by Mask*”, “*Slope*” e “*Reclassify*”, com o uso das seguintes classes e coeficientes: declividades entre 0 e 3% (valor = 5); declividades entre 3 e 6% (valor = 1);



declividades entre 6 e 12% (valor = 2); declividades entre 12 e 20% (valor = 3); declividades entre 20 e 30% (valor = 4); e declividades superiores a 30% (valor = 5).

A variável *Solo* teve como base o Plano de Informação Vetorial “Solos” recortado no limite da bacia – comando “*Clip*”, que foi dissolvido nas tipologias de solos – comando “*Dissolve*”, com a criação de um campo numérico “Peso” na tabela de atributos – comando “*Create Field*” com a utilização das seguintes classes e coeficientes: Latossolo textura argilosa / Álico eutrófico (valor = 1); Latossolo textura média/argilosa / distrófico (valor = 2); Cambissolo álico (valor = 4); e Litossolos eutróficos e distróficos (valor = 5). Após, houve a transformação para *Raster* pelo comando “*Polygon to Raster*”.

A variável *Hipsometria* também é oriunda do dado *SRTM* recortado no limite da bacia e reclassificado no comando “*Reclassify*”, com o emprego das seguintes classes e coeficientes: elevações entre 0 e 10m (valor = 5); elevações entre 10 e 60m (valor = 3); e elevações superiores a 60m (valor = 1).

A variável *Uso e Cobertura da Terra* veio do Plano de Informação Vetorial “Usos” recortado no limite da bacia – comando “*Clip*”, que foi dissolvido nas tipologias de usos – comando “*Dissolve*”, com a criação de um campo numérico “Peso” na tabela de atributos – comando “*Create Field*” com a aplicação das seguintes classes e coeficientes: Floresta (valor = 1); Silvicultura e Afloramento de Rochas (valor = 2); Cultivo e Pastagem (valor = 3); e Área Urbana e Mangue (valor = 5). Após, houve a transformação para *Raster* pelo comando “*Polygon to Raster*”.

A combinação das variáveis culminou na modelagem do mapa de Fragilidade Emergente (Figura 2) por meio da função “*Raster Calculator*”, expressa pelo seguinte cálculo: $\text{Fragilidade Emergente} = (\text{Declividade} + \text{Solo} + \text{Hipsometria} / 3) + \text{Uso e Cobertura da Terra} / 2$. Com o mapa gerado, houve a reclassificação em 5 classes de Fragilidades: Extremamente Baixa, Baixa, Média, Alta e Extremamente Alta. Por fim, foram calculados os percentuais das classes e a área da bacia no próprio *software*.



Figura 2 – Variáveis utilizadas para obtenção da Fragilidade Emergente.



3. Resultados e Discussões

A bacia hidrográfica do rio Bubu abrange uma superfície aproximada de 62 km², situada inteiramente no município de Cariacica. O rio nasce na Reserva Biológica de Duas Bocas e desemboca na baía de Vitória, percorrendo aproximadamente 18 km (Figura 3). O alto curso é ocupado em sua maioria pela agropecuária, ao passo que o baixo curso é predominantemente urbano e muito povoado. O rio e a bacia sofrem, ao longo das últimas décadas, com a degradação socioambiental condicionada pela urbanização desenfreada e suas consequências, provocando alterações hidrológicas e processos de inundações e de alagamentos.

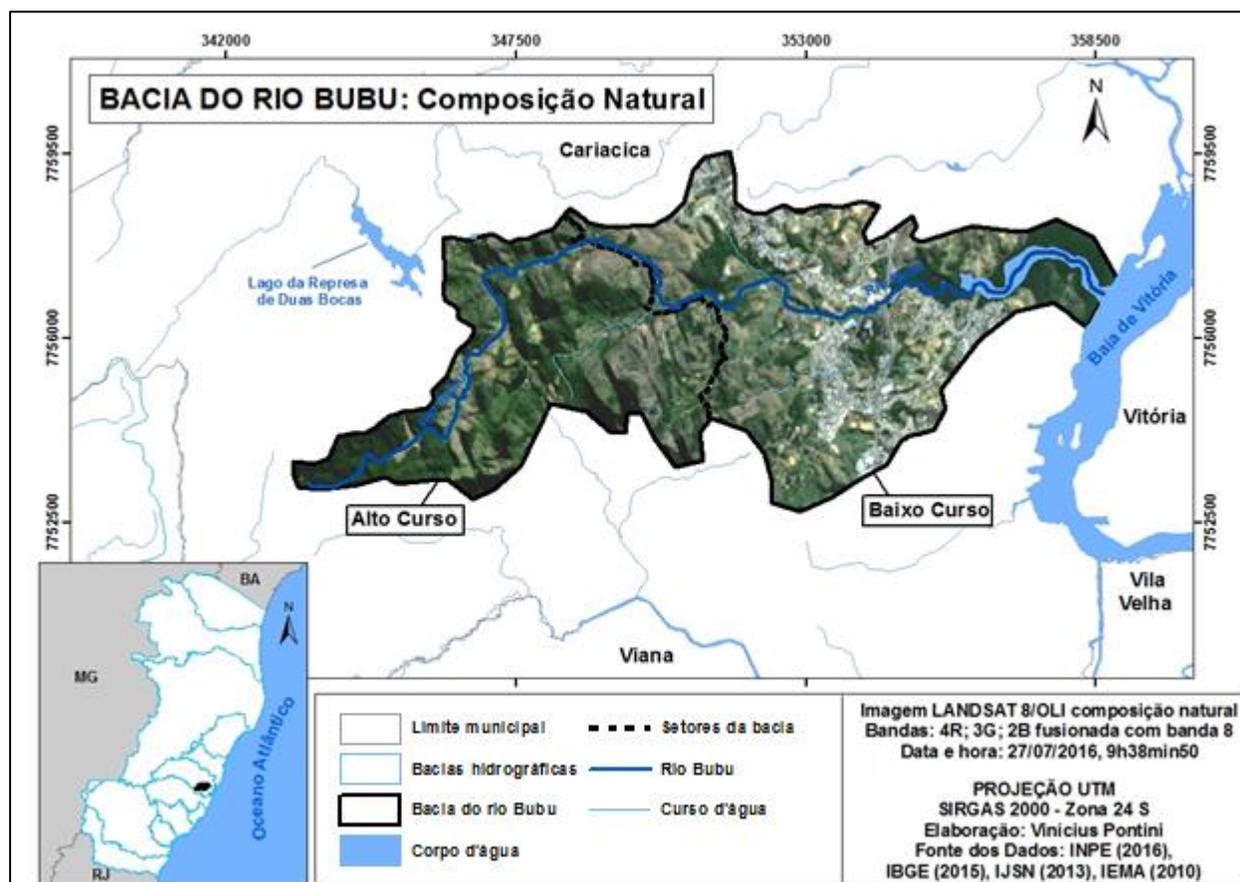


Figura 3 - Imagem *Landsat*-8 fusionada com a banda Pancromática (PAN) destacando os principais usos e coberturas: Colinas e Maciços Costeiros no alto curso e Urbano/Industrial no baixo curso.

Em adição à urbanização, destacam-se as seguintes características naturais da bacia que, combinadas com a ação humana, potencializam os danos socioambientais e a Fragilidade ambiental: clima, solo, geologia e geomorfologia. Em relação ao clima, predominam dois tipos climáticos na bacia: a) *Tropical Úmido de Altitude*, nas encostas dos maciços costeiros, com temperaturas amenas no verão e intensas precipitações orográficas distribuídas ao longo do ano; b) *Tropical Úmido das Faixas Litorâneas*. Em virtude das chuvas orográficas, os índices pluviométricos nas áreas de maciços, a oeste da bacia, são mais elevados do que os



do litoral, a leste. Nas encostas, os índices pluviométricos variam de 1.200 a 2.000mm, enquanto que no litoral este índice oscila entre 1.100 a 1.300mm (ANA, 2016).

Os solos que predominam na mesma são: a) *Neossolo (litólico eutrófico e distrófico)*, grupamento de solos pouco evoluídos, sem horizonte B diagóstico definido, com o predomínio de características herdadas do material originário (EMBRAPA, 2006); b) *Latossolo Vermelho-Amarelo*, solo em avançado estágio de intemperização, muito evoluído, geralmente com boa drenagem e muito profundo, associado a relevos planos, suave ondulados e ondulados (DEINA e COELHO, 2016).

No que tange à geologia da bacia, predominam: a) *Grupo Barreiras*, abrangendo uma cobertura sedimentar terrígena continental com idade atribuída ao intervalo de tempo que varia do Mioceno até o Plioceno-Pleistoceno, contendo depósitos detríticos pobremente selecionados, com granulometria cascalho, areia e argila, geralmente contendo horizontes lateríticos (FORTES *et al.*, 2014); b) *Sedimentos Fluviais*, com gênese datada do limite entre o Pleistoceno e o Holoceno, constituídos de sedimentos argilo-arenosos de planícies de inundação e arenosos de paleocanais e canais atuais encontrados nos vales dos tabuleiros, frequentemente acima do limite atingido pela penúltima transgressão; c) *Maciço Vitória*, com gênese oriunda do Éon Fanerozóico, da Era Paleozóica, do Período Cambriano, compondo-se litologicamente de granito e com granulação média à grosseira com a presença dos minerais quartzo, feldspato e biotita.

Do ponto de vista geomorfológico ocorre na bacia: a) *Planícies Litorâneas*, com predominante modelado de acumulação fluvial, com aluviões de rios, configurando-se como uma área plana mais baixa em relação às demais unidades geomorfológicas; b) *Tabuleiros Costeiros*, com modelado de dissecação, sendo um relevo desenvolvido sobre camadas de rochas sedimentares do Grupo Barreiras de idade terciária, formados por areias e argilas variegadas com eventuais linhas de pedra, disposto em camadas com espessuras variadas; c) *Colinas e Maciços Costeiros*, com modelado de dissecação, onde as colinas são desenvolvidas preferencialmente sobre gnaisses do Éon Proterozóico, sendo menos resistentes ao intemperismo e à erosão, e os maciços são desenvolvidos preferencialmente sobre granitos do Período Paleozóico, sendo mais resistentes ao intemperismo e à erosão (RADAMBRASIL, 1983).

O mapeamento da Fragilidade Emergente (Figura 4) na bacia hidrográfica do rio Bubu, realizado a partir da combinação das variáveis envolvidas (declividade, solos, hipsometria e uso e cobertura da terra) possibilitou constatar as áreas mais frágeis e que merecem atenção especial, sobretudo no baixo curso da bacia, que está mais urbanizada.

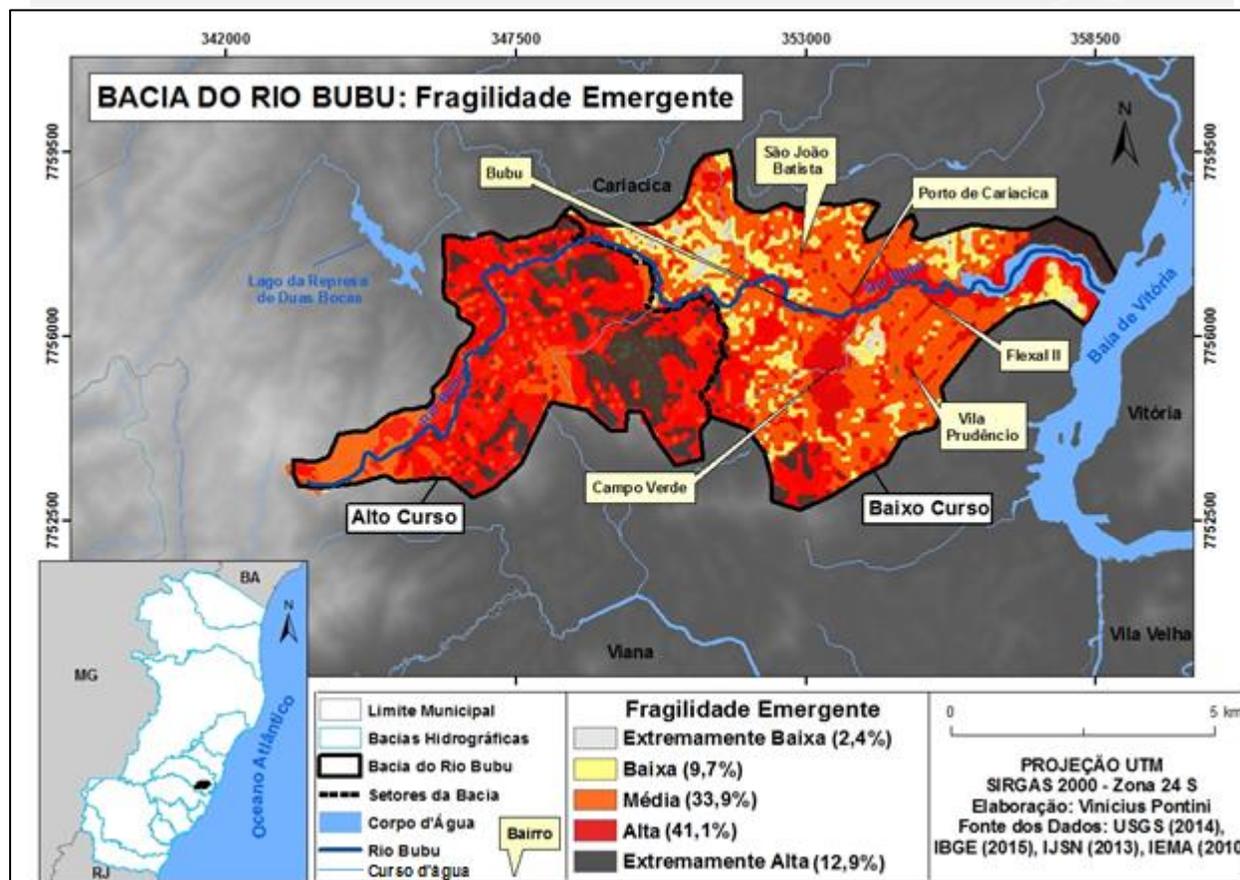


Figura 4 – Distribuição das classes e percentuais de Fragilidade Emergente na bacia hidrográfica do rio Bubu.

Com o uso do *software* foi possível calcular as áreas (km²) e os percentuais de cada classe de Fragilidade (Tabela 1).

Tabela 1 – Classes de fragilidade emergente e suas áreas e percentuais em relação à bacia hidrográfica do Rio Bubu.

Classes de Fragilidade Emergente	Área (km ²)	Percentual (%)
Extremamente Baixa	1,5	2,4
Baixa	6	9,7
Média	21	33,9
Alta	25,5	41,1
Extremamente Alta	8	12,9
TOTAL	62	100

Salienta-se a preocupante participação da classe “Extremamente Alta”, que ocorre predominantemente em áreas de colinas e maciços costeiros e em área de manguezal ao norte da foz do rio Bubu e da classe “Alta”, que ocorre em muitos núcleos urbanos no baixo curso da bacia, como mostra a Figura 5 e suas respectivas



fotos, retiradas de sítios eletrônicos como o *Google Street View* e *Mapio.Net*. Bairros como Campo Verde, Vila Prudêncio, Flexal II, Bubu e Porto de Cariacica constituem este universo onde a urbanização avança cada vez às margens do rio Bubu e seus afluentes, estando desta forma sujeita à processos de inundações e a alagamentos em períodos chuvas concentrados, como pode ser observado no último bairro citado. Em março de 2013, durante um período de intensa precipitação pluvial, o rio Bubu transbordou e deixou vários bairros inundados, restringindo o acesso às regiões afetadas por meio de embarcações e com a ajuda dos Bombeiros (GAZETA ON LINE, 2013).

Em adição a isso, a Figura 5 também mostra a construção em áreas com inclinação de vertente superior a 30%, onde há a susceptibilidade a escorregamentos e movimentos de massa, como observado no bairro São João Batista. Por fim, também mostra a prática de atividades agropecuárias/pastagens no alto curso da bacia, em zona rural.

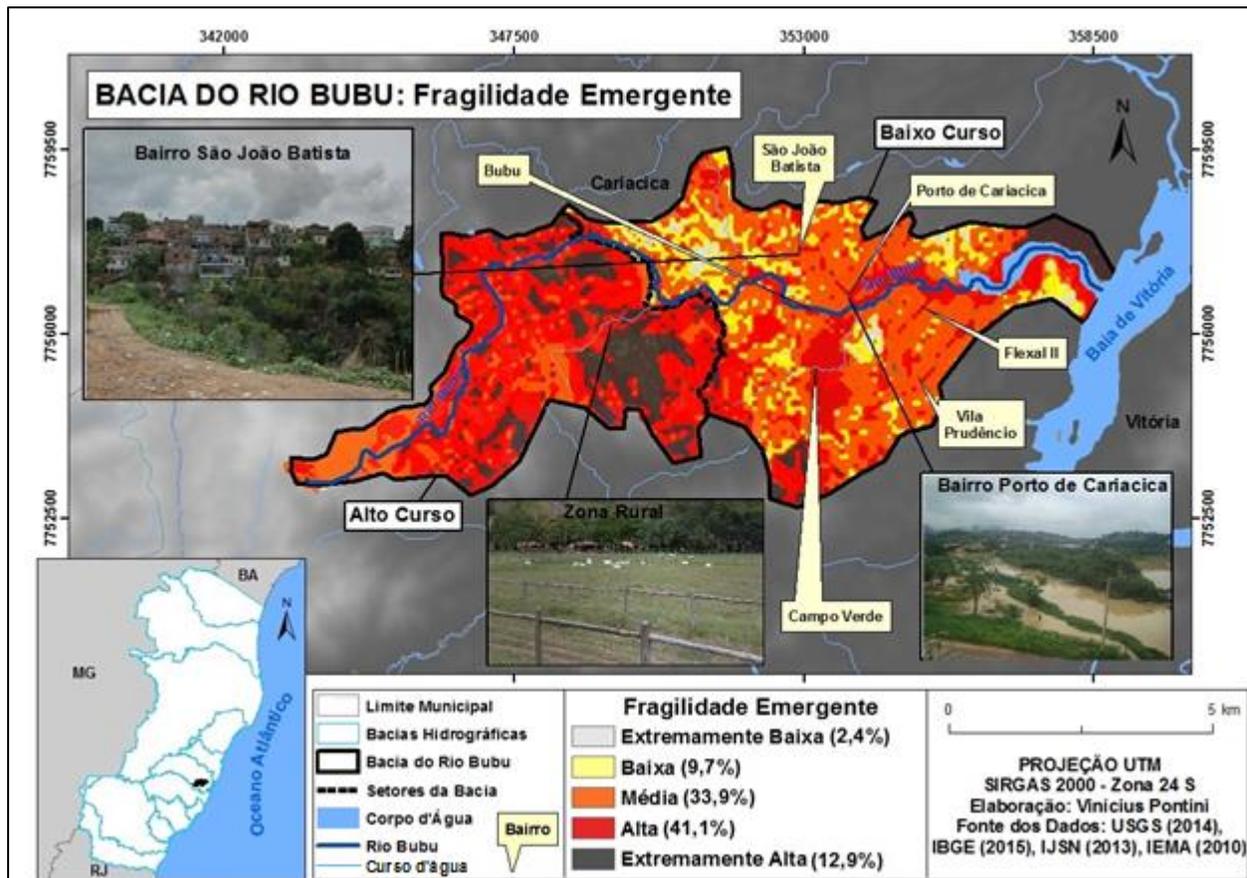


Figura 5 – Distribuição das classes e percentuais de Fragilidade Emergente na bacia hidrográfica do rio Bubu, com destaque para a classe “Alta” em bairros como São João Batista e Porto de Cariacica, no baixo curso, além de atividades agropecuárias/pastagens no alto curso, em zona rural.



As Figuras 4 e 5 revelam que grande parte dos níveis de Fragilidade identificados são de médio a alto, colocando em xeque o modelo de planejamento urbano e ambiental aplicado para a gestão do território onde a bacia se encontra. Estas deficiências ou imperfeições dos planejamentos são respostas a um quadro complexo de acontecimentos e de situações político-social-econômico-ambiental-culturais distintas de cada país ou região, com o Brasil sempre idealizando seus planejamentos em decorrência desta história e de suas próprias situações (SANTOS, 2004).

Ressalta-se que o monitoramento e o conhecimento das áreas de maior Fragilidade Ambiental podem subsidiar a realização de ações que almejam a contenção e prevenção dos problemas socioambientais ocorridos no interior da bacia.

Parte considerável de rios urbanos, como o Bubu, possuem suas águas deterioradas. Por ter sua foz na baía de Vitória, o rio sofre com o problema do represamento de suas águas pela maré, agravando os efeitos da poluição hídrica (ANA, 2016). O principal efluente de contaminação do rio é o lançamento de esgoto sem nenhum tipo de tratamento, seja doméstico ou industrial.

4. Considerações Finais

A opção metodológica herdada de Ross (1994) utilizada para o desenvolvimento dos mapas mostrou-se eficaz para a elucidação da problemática e enriquece o estudo ao contribuir com a identificação e análise das áreas mais frágeis, a partir da interrelação entre os aspectos físico-naturais e a forma de uso e cobertura da terra pela sociedade, que reflete em grande medida o modelo de reprodução social e, especialmente, do capital. Desta forma, fica evidente que o arsenal tecnológico, conhecido como geotecnologias, mostra-se importante, sobretudo, no âmbito da pesquisa geográfica moderna, além de ser uma ótima ferramenta que, se usada de forma adequada, auxilia diversos profissionais a analisar uma multiplicidade de temários.

O panorama do rio Bubu revela que tanto a natureza quanto a sociedade sofrem os danos das intervenções humanas que acometem, especialmente, as populações com menor poder aquisitivo, que sofrem com frequência os malefícios desta situação.

Em adição a isso, a metodologia empregada se mostra útil para diagnosticar áreas onde os índices de Fragilidade são mais alarmantes, auxiliando na revisão ou formação do Plano de Gerenciamento de Bacia e implantação do Plano de Drenagem Urbana (PDU), bem como para a realização de medidas mitigadoras para reduzir os impactos socioambientais pelos órgãos competentes.



5. Bibliografia

- ANA - Agência Nacional de Águas. **Bacias hidrográficas do Atlântico Sul – Trecho Leste: sinopse de informações do Rio de Janeiro, Espírito Santo, Bahia e Sergipe, 2016.** Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/cd4/index.htm>>. Acesso em: 27 dez. 2016.
- COELHO, A. L. N. **Bacia Hidrográfica do Rio Doce (MG/ES): uma análise socioambiental integrada.** Revista GeografarES, Vitória – ES, nº 7, 2009. p. 131-146.
- CORRÊA, R. L. **Região e organização espacial.** São Paulo: Ática, 1990.
- DEINA, M. A.; COELHO, A. L. N. **Avaliação da Fragilidade Emergente na Bacia Hidrográfica do Rio Jucu.** In: VI SINAGEO – Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2016, Maringá (PR). Anais do XI SINAGEO – Simpósio Nacional de Geomorfologia, Maringá – PR, 2016, v. 1. p. 1-12.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2. ed. – Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.
- FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto.** São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- FORTES, P. De. T. F. de O.; *et al.* **Carta geológica da folha SF-24-V-B-I Vitória, escala 1:100.000.** CPRM. Programa Geologia do Brasil. Brasília, 2014.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapas interativos do IBGE: Base de Dados Geográficos, 2015.** Disponível em: <<http://ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 20 dez. 2016.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapeamento topográfico – produtos.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/download/arquivos/index1.shtm>>. Acesso em: 20 dez. 2016.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Resolução IBGE nº 1/2005 que altera a caracterização do referencial geodésico brasileiro, passando a ser o SIRGAS-2000, 2005.** Disponível em: <http://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/projeto_mudanca_referencial_geodesico/legislacao/rpr_01_27dez2016.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2016.
- IEMA – Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Bacias hidrográficas de gerenciamento, 2010.**
- IJSN/CGEO – Instituto Jones dos Santos Neves / Coordenação de Geoprocessamento. **Base de dados geográficos.** Disponível em: <<http://www.ijsn.es.gov.br/>> 2013. Acesso em: 20 dez. 2016.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Catálogo de imagens OLI/Landsat 8.** Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/cdsr/>>. Acesso em: 20 dez. 2016.
- 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 de Minas e Energia – Secretaria Geral. 1983. 775 p.
- RIO Bubu transborda e alaga vários bairros de Cariacica. **Gazeta On Line,** Vitória, 19 mar. 2013. Disponível em: <http://gazetaonline.globo.com/_conteudo/2013/03/cbn_vitoria/entrevistas/1421683-rio-bubu-transborda-e-alaga-varios-bairros-de-cariacica.html>. Acesso em: 21 dez. 2016.
- ROSS, J. L. S. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados.** Revista do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo, São Paulo, n. 8, 63 – 74 p. 1994.
- SANTOS, R. F. dos. **Planejamento, planejamento ambiental e paradigmas de desenvolvimento.** In: Planejamento ambiental: teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.
- USGS – United States Geological Survey. **Earth Explorer.** Shuttle Radar Topography Mission – SRTM (SRTM1S21W041V3 publication: 23-SEP-14). Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 20 dez. 2016.