



ISSN: 2525-815X

Journal of Environmental Analysis and Progress

Journal homepage: www.jeap.ufrpe.br/

10.24221/jeap.3.3.2018.1985.296-309



Ecodinâmica e vulnerabilidade ambiental de uma sub-bacia inserida em uma Área de Proteção Ambiental

Ecodynamics and environmental vulnerability of a sub-basin inserted in an Environmental Protection Area

Iara dos Santos Medeiros^a, Jerferson de Lima Freires^a, Mayara de Sousa Dantas^a, Nadjacleia Vilar Almeida^a

^a Universidade Federal da Paraíba-UFPB. Campus IV/Litoral Norte/Departamento de Engenharia e Meio Ambiente. Avenida Santa Elizabete, n. 160, Rio Tinto, Paraíba. CEP: 58297-000. E-mail: iara.s.medeiros@hotmail.com, jerferson_lima@hotmail.com, mayaradantas-@outlook.com, nadjacleia@cdae.ufpb.br.

ARTICLE INFO

Recebido 28 Mai 2018

Aceito 30 Jul 2018

Publicado 31 Jul 2018

ABSTRACT

The use of the hydrographic basin as a unit of analysis combined with the ecodynamic study allows identifying the vulnerabilities and interactions of environmental components systemically. The theory of ecodynamics is based on the dynamics of the ecotopes and seeks to establish a relationship between socioeconomic activities and the morphogenetic and pedogenetic processes acting by defining the stable, intermediate and unstable means. The sub-basin of the Velho and Açú rivers, partially inserted in the Environmental Protection Area of the Barra do Rio Mamanguape (APA-BRM), in the northern coast of the state of Paraíba suffers from constant alterations in the natural environments resulting from the uncontrolled use and occupation of the land. Thus, the objective of the research is to determine the environmental vulnerability of the sub-basin of the Velho and Açú rivers. The research was divided into three stages: environmental diagnosis of all components (geology, geomorphology, pedology, rainfall and land use and cover); ecodynamic diagnosis to determine the vulnerability of each component, evaluating the stability of the environment according to the relation pedogenesis/morphogenesis; and the integrated analysis to identify the degree of stability and instability of the sub-basin. The results indicate that the sugarcane plantation occupies 60% of the sub-basin. The environmental vulnerability indicates that 80% of the sub-basin is characterized as medium stability and 12% with moderate instability. It is concluded that in the sub-basin there is the concurrent interference of the morphogenetic and pedogenetic processes and that the continuity of the inadequate use of the land, without any management, can unbalance this relationship.

Keywords: Conservation unit, environmental fragility, geotechnology.

RESUMO

O uso da bacia hidrográfica enquanto unidade de análise aliada ao estudo ecodinâmico permite identificar as vulnerabilidades e interações dos componentes ambientais de forma sistêmica. A teoria da ecodinâmica baseia-se na dinâmica dos ecótopos e procura estabelecer uma relação entre as atividades socioeconômicas e os processos morfogenéticos e pedogenéticos atuantes definindo os meios estáveis, intermediários e instáveis. A sub-bacia hidrográfica dos rios Velho e Açú inserida parcialmente na Área de Proteção Ambiental da Barra do Rio Mamanguape (APA-BRM), litoral norte do estado da Paraíba sofre com constantes alterações nos ambientes naturais decorrentes do uso e ocupação desordenada da terra. Assim, o objetivo da pesquisa é determinar a vulnerabilidade ambiental da sub-bacia dos rios Velho e Açú. A pesquisa foi dividida em três etapas: diagnóstico ambiental de todos os componentes (geologia, geomorfologia, pedologia, pluviosidade e uso e cobertura da terra); diagnóstico ecodinâmico para determinar a vulnerabilidade de

cada componente, avaliando a estabilidade do ambiente de acordo com a relação pedogênese/morfogênese; e, a análise integrada para identificar o grau de estabilidade e instabilidade da sub-bacia. Os resultados indicam que o plantio da cana-de-açúcar ocupa 60% da sub-bacia. A vulnerabilidade ambiental indica que 80% da sub-bacia é caracterizando como de Média Estabilidade e, 12% com moderada instabilidade. Conclui-se que na sub-bacia existe a interferência concorrente dos processos morfogenéticos e pedogenéticos e que a continuidade do uso inadequado da terra, sem nenhum manejo, pode desequilibrar essa relação.

Palavras-Chave: Unidade de conservação, fragilidade ambiental, geotecnologias.

Introdução

A constante transformação que as paisagens vêm sofrendo, ao longo do tempo, principalmente em consequência da expansão urbana e das monoculturas, tem interferido diretamente nos sistemas naturais e no seu funcionamento.

Segundo Silva (2015), ao longo do Século XX, com a expansão da urbanização e da industrialização, as questões ambientais começaram a ser discutidas em escala global, visto que a capacidade de modificar os ecossistemas ultrapassou e muito a capacidade de recuperação da natureza.

Nesse contexto histórico, as políticas ambientais ganharam força e a partir delas foram criadas as unidades de conservação com a finalidade de conservar e proteger os recursos naturais, dividindo-se em dois grupos, com características específicas: As unidades de Proteção Integral, onde o objetivo é preservar a natureza, é admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais, com exceção dos casos previstos na Lei Nº 9.985 de 18/07/2000, além das unidades de uso Sustentável, que têm como objetivo compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais (SNUC, 2000).

Entre as unidades de conservação de uso sustentável no estado da Paraíba, foi criada pelo Decreto Nº 924, em 10 de setembro de 1993, a Área de Proteção Ambiental da Barra do Rio Mamanguape (APA-BRM), localizada no litoral norte do estado da Paraíba (Brasil, 2014). Esta APA comporta a porção estuarina da bacia hidrográfica do rio Mamanguape e suas respectivas sub-bacias. Botelho (1999, p. 269) diz que “bacia hidrográfica ou bacia de drenagem é uma área da superfície terrestre drenada por um rio principal e seus tributários, sendo limitada pelos divisores de água”. Rodrigues & Carvalho (2003, p. 64) afirmam que “uma bacia hidrográfica é um meio natural espacialmente definido, no qual seus elementos mantêm relações dinâmicas entre os componentes físicos, biológicos e socioeconômico”.

No entanto, os limites atuais da APA-BRM não consideram os divisores topográficos, e, assim a gestão da unidade de conservação (UC)

enfrenta grandes problemas para manter a qualidade ambiental dos ecossistemas presente no interior da UC, visto que a maioria dos impactos que causam danos negativos significativos ocorre no entorno da APA-BRM. Assim, destaca-se a importância de se compreender a dinâmica dos diversos componentes das sub-bacias que contribuem para a APA-BRM, em específico da sub-bacia dos rios Velho e Açú.

Uma das formas de avaliar a dinâmica dos componentes de forma integrada é por meio da teoria da ecodinâmica, proposta por Tricart (1977), sendo definida como a dinâmica dos ecótopos, que leva em consideração a morfogênese (processo de modificação do relevo) e a pedogênese (processo de formação do solo). Estes processos morfodinâmicos foram categorizados, dando origem aos três meios de classificação ecodinâmica, (meio estável, intergrades e instável). Esta classificação considera as características de todos os elementos da paisagem sendo resumidamente descritos por Almeida (2012, p. 42), como: Meios estáveis: cobertura vegetal densa, dissecação do relevo moderada, solos mais profundos e baixos valores de intensidade pluviométrica; Meios intergrades: com interferência concorrente da morfogênese e pedogênese, indicam a passagem gradual entre os meios estável e instável; Meios fortemente instáveis: condições bioclimáticas agressivas, com ocorrência de variações fortes e irregulares de ventos e chuvas (altos valores de intensidade pluviométrica), relevo com vigorosa dissecação, presença de solos rasos, inexistência de cobertura vegetal densa, planícies e fundos de vales sujeitos a inundações e presença de intensa atividade socioeconômica.

Com base na problemática apresentada, destaca-se a necessidade de estudar a sub-bacia dos rios Velho e Açú, por se tratar de uma área que integra, parcialmente, a Área de Proteção Ambiental da Barra do rio Mamanguape.

Ressalta-se que a porção da sub-bacia que não está inserida na APA-BRM (entorno imediato) vem sendo ocupada pela monocultura de cana-de-açúcar e, os impactos negativos decorrentes se estendem por toda a sub-bacia, e consequentemente repercutem no interior da APA-BRM que apresenta um ecossistema de

manguezal, considerado berçário ecológico, de grande importância para a manutenção da biodiversidade e para as comunidades locais que dependem dos seus recursos para subsistência.

O estudo objetiva determinar a vulnerabilidade ambiental dos componentes: geologia, geomorfologia, pedologia, pluviosidade e uso e cobertura da terra, visando contribuir para a amenização dos impactos ambientais, pois, diagnosticando a área quanto à sua vulnerabilidade, pode-se contribuir para as ações

de recuperação e conservação da sub-bacia e da APA-BRM.

Material e Métodos

Área de estudo

O estudo foi desenvolvido na sub-bacia hidrográfica dos rios Velho e Açú com extensão territorial de 2.949 hectares, com 51,3% da sub-bacia inserida no interior da APA da Barra do Rio Mamanguape (Figura 1).

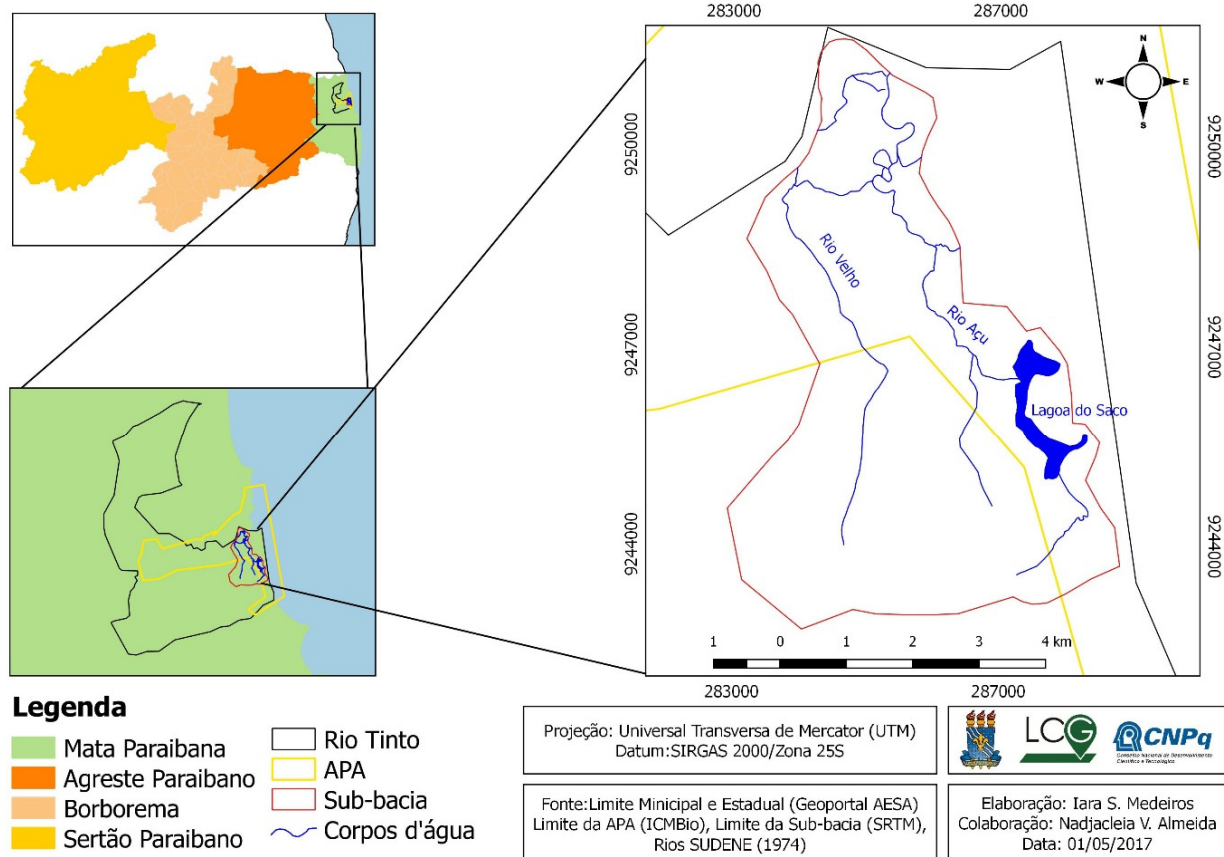


Figura 1. Localização da sub-bacia hidrográfica dos rios Velho e Açú-Rio Tinto-PB, Brasil.

A APA-BRM possui 14.640 hectares, faz parte do bioma Marinho Costeiro, estando situada no litoral norte do Estado da Paraíba, sendo representada por manguezais e várzeas, arrecifes costeiros, mata atlântica, mata de restinga, dunas e falésias (ICMBIO, 2015). Esta é uma das principais áreas de ocorrência e reprodução do peixe-boi marinho *Trichechus manatus manatus* – mamífero aquático ameaçado de extinção (Brasil, 2014).

Tanto a parte do interior, como a do entorno da APA-BRM, que correspondem à bacia estudada, estão inseridas no município de Rio Tinto, que possui uma área territorial de 465,666 (km²) e uma população estimada de 24.023 habitantes (IBGE, 2016).

Descrição e análise dos componentes

Para a caracterização ecodinâmica da área de estudo foi realizado primeiramente a descrição e análise dos componentes geoambientais: geologia, geomorfologia, pedologia, pluviosidade e uso e cobertura da terra.

Geologia

Para a descrição e a análise da geologia foi utilizada a carta geológica SB.25-Y-A-VII disponibilizada no site do Serviço Geológico Brasileiro (CPRM, 2014). Utilizando um software de SIG, efetuou-se o recorte da área de interesse com base no limite da sub-bacia, em seguida foi realizado um ajuste manual das unidades geológicas. Dessa forma, foi gerado um mapa

temático contendo as informações geológicas, possibilitando assim atribuir valores de vulnerabilidade (Crepani et al., 2001; Almeida et al., 2008) para cada unidade geológica.

Geomorfologia

As características geomorfológicas foram extraídas e analisadas através de imagem de radar (*Shuttle Radar Topography Mission* - SRTM), folha SB-25-Y-A, escala 1:250.000 disponibilizada no site TOPODATA (<http://www.dsr.inpe.br/topodata>), onde foram produzidos três mapas temáticos: amplitude altimétrica, declividade e densidade de drenagem.

Para identificar a amplitude altimétrica foi necessária a extração da drenagem a partir da imagem SRTM, em seguida foi adicionado pontos nos vértices iniciais, finais e médios da drenagem da sub-bacia, em seguida foi extraído os valores de altitude de cada ponto adicionado. Com os valores extraídos da tabela de atributos foi calculado o valor da amplitude, a partir da subtração do valor da cabeceira pelo da foz de cada trecho da drenagem.

Posteriormente, foi utilizado o método de Ponderação do Inverso das Distâncias (IDW) para a interpolação dos dados que se baseiam na dedução que os objetos mais próximos são mais semelhantes entre si do que os mais distantes (Jakob & Young, 2006). A partir da interpolação foram identificadas duas classes de amplitude altimétrica sendo possível determinar a vulnerabilidade para cada classe.

A partir da imagem SRTM e de forma automática foi obtida a declividade em porcentagem. Foram definidas sete classes de declividade (EMBRAPA, 1979) e atribuídos valores de vulnerabilidade (Crepani et al., 2001) para cada classe de declividade.

A densidade de drenagem foi calculada de forma automática, a partir da drenagem extraída da imagem SRTM. Para calcular a densidade de drenagem foi utilizada a Equação 1:

$$Dd = \frac{L}{A} \quad \text{Eq. (1)}$$

onde: Dd = Densidade de drenagem, L = Comprimento total dos rios, A = Área total da sub-bacia.

A atribuição dos valores de vulnerabilidade e a definição das classes de densidade de drenagem foram realizadas segundo a classificação de Florenzano (2008).

Com os valores de vulnerabilidade de cada componente geomorfológico foi elaborado o mapa final de vulnerabilidade geomorfológica

utilizando a Equação 2, proposta por Crepani et al. (2001).

$$R = \frac{(G+A+D)}{3} \quad \text{Eq. (2)}$$

onde: R = Vulnerabilidade para o tema Geomorfologia, G = Vulnerabilidade atribuída ao Grau de Dissecção (densidade de drenagem), A = Vulnerabilidade atribuída à Amplitude Altimétrica; D = Vulnerabilidade atribuída à Declividade.

Obtendo-se, deste modo, a carta de vulnerabilidade geomorfológica da sub-bacia.

Pedologia

Para a descrição da pedologia foi utilizado o mapa georreferenciado de solos do estado da Paraíba (1997), com escala de 1:1.200.000. Usando o limite da sub-bacia fez-se o recorte da imagem e em seguida a digitalização, gerando assim um mapa temático com os tipos de solos presentes na área. Após a identificação dos tipos de solos foram atribuídos os valores de vulnerabilidade para as classes de solo.

Almeida et al. (2008, p. 81) destacam que “a principal característica considerada para estabelecer as classes de vulnerabilidade do tema solos é o grau de desenvolvimento ou maturidade do solo.”

Pluviosidade

Para a elaboração do mapa de intensidade pluviométrica foi utilizada uma série histórica de 18 anos (1996 a 2014), disponibilizada pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs). De acordo com a proximidade, foram selecionados três postos pluviométricos em torno da sub-bacia, localizados nas cidades de Baía da Traição, Lucena e Rio Tinto.

A intensidade pluviométrica foi calculada a partir da média anual de pluviosidade dividida pelo número de meses chuvosos (número de meses com pluviosidade acima da média). Em seguida, as coordenadas dos postos pluviométricos e seus respectivos valores de intensidade pluviométrica foram exportados para o SIG, onde foi utilizado o método de interpolação krigagem, pois, de acordo com Silva et al. (2011), para a interpolação pluvial, o método krigagem apresenta as melhores estimativas de precipitação. Com os valores de intensidade pluviométrica distribuída pela área de estudo foi possível atribuir o valor de vulnerabilidade, conforme sugerido por Crepani et al. (2001).

Uso e cobertura da terra



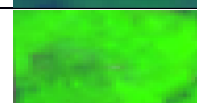
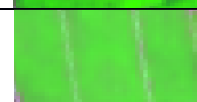

Para analisar a vegetação e os diferentes usos da terra da sub-bacia foi utilizada uma imagem *Landsat 8*, datada de 11/02/2016, com resolução espacial de 30x30 metros, disponibilizada pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). Com o intuito de melhorar a resolução da imagem e, conseqüentemente, obter melhores resultados, foi realizado o pré-processamento da imagem, dividido em três etapas: Conversão Radiométrica, reduzindo pela metade o tamanho do arquivo, (de 16 para 08 bits); Composição Colorida RGB, aplicando uma falsa cor na imagem, sendo: (R) banda 6, (G) banda 5 e (B) banda 4; Fusão de imagens, utilizando a imagem Multiespectral para colorir a Pancromática. Processo chamado de

Pansharpening, converteu-se o tamanho dos pixels de 30x30 m para 15x15 m, melhorando a imagem em 50%.

Foi realizado o recorte da imagem segundo o limite da sub-bacia e deu-se início ao mapeamento da área de acordo com o método de classificação supervisionada ou semiautomática. Foram criadas amostras das assinaturas espectrais de cada objeto que compõe as formas de uso e cobertura da terra da sub-bacia (Quadro 1).

Após colher as assinaturas, foi realizada a classificação da imagem por máxima verossimilhança, onde considera-se que “objetos pertencentes à mesma classe apresentarão respostas espectrais próximas à média de valores para aquela classe” (Ribeiro et al., 2007, p. 5473).

Quadro 1. Características das amostras retiradas da imagem *Landsat 8*, datada de 11/02/2016, em composição falsa cor (R6, G5, B4).

Composição Colorida	Objeto	Chave de interpretação
	Solo exposto (zona urbana e áreas desmatadas)	Cor: rosa Textura: lisa Forma: regular
	Mangue	Cor: verde-escuro Textura: rugosa Forma: irregular
	Mata	Cor: verde limão Textura: rugosa Forma: irregular
	Cultivo	Cor: verde-claro Textura: lisa Forma: regular
	Água (rios, lagos e áreas alagadas)	Cor: azul Textura: lisa Forma: irregular

Análise integrada

Com base na teoria da ecodinâmica (Tricard, 1977; Crepaniet al., 2001), baseada no balanço entre os processos de morfogênese e pedogênese, foram atribuídos os valores de vulnerabilidade para cada componente geoambiental (Tabela1).

Em seguida foi realizada a integração de todos os componentes geoambientais utilizando a Equação 3:

$$VU = \frac{GE+GM+PE+IP+UC}{5} \quad \text{Eq. (3)}$$

onde: VU= Vulnerabilidade, GE = vulnerabilidade para o tema Geologia, GM = vulnerabilidade para o tema, Geomorfologia, PE = vulnerabilidade para o tema Pedologia, IP = vulnerabilidade para o tema Intensidade Pluviométrica, UC = vulnerabilidade para o tema Uso e Cobertura.

Tabela 1. Avaliação da estabilidade das categorias ecodinâmicas. Fonte: Adaptado de Almeida (2012).

Categoria ecodinâmica	Relação pedogênese/morfogênese	Valores de vulnerabilidade
Estáveis	Prevalece a pedogênese	1,0 – 1,3
Moderada estabilidade		1,4 – 1,7
Média estabilidade	Balanço pedogênese/morfogênese	1,8 – 2,2
Moderada instabilidade		2,3 – 2,6

Resultados

Aspectos geológicos e ecodinâmicos

A sub-bacia está no domínio da bacia Pernambuco-Paraíba (Brasil, 2002). A área de estudo é representada por três unidades geológicas (Figura 2): Depósitos aluvionares, Depósitos coluvionares-eluviais e Depósitos litorâneos praias.

Os Depósitos Aluvionares e Litorâneos Praias correspondem, respectivamente, a uma

área de 11,9 km² (40%) e 5,5 km² (19%) da sub-bacia.

Os Depósitos colúvio-eluviais são formações superficiais do quaternário e abrangem uma área de 12,1 km², correspondente a 41% da sub-bacia. Todas as classes geológicas encontradas se apresentam instáveis, devido a sua formação sedimentar.

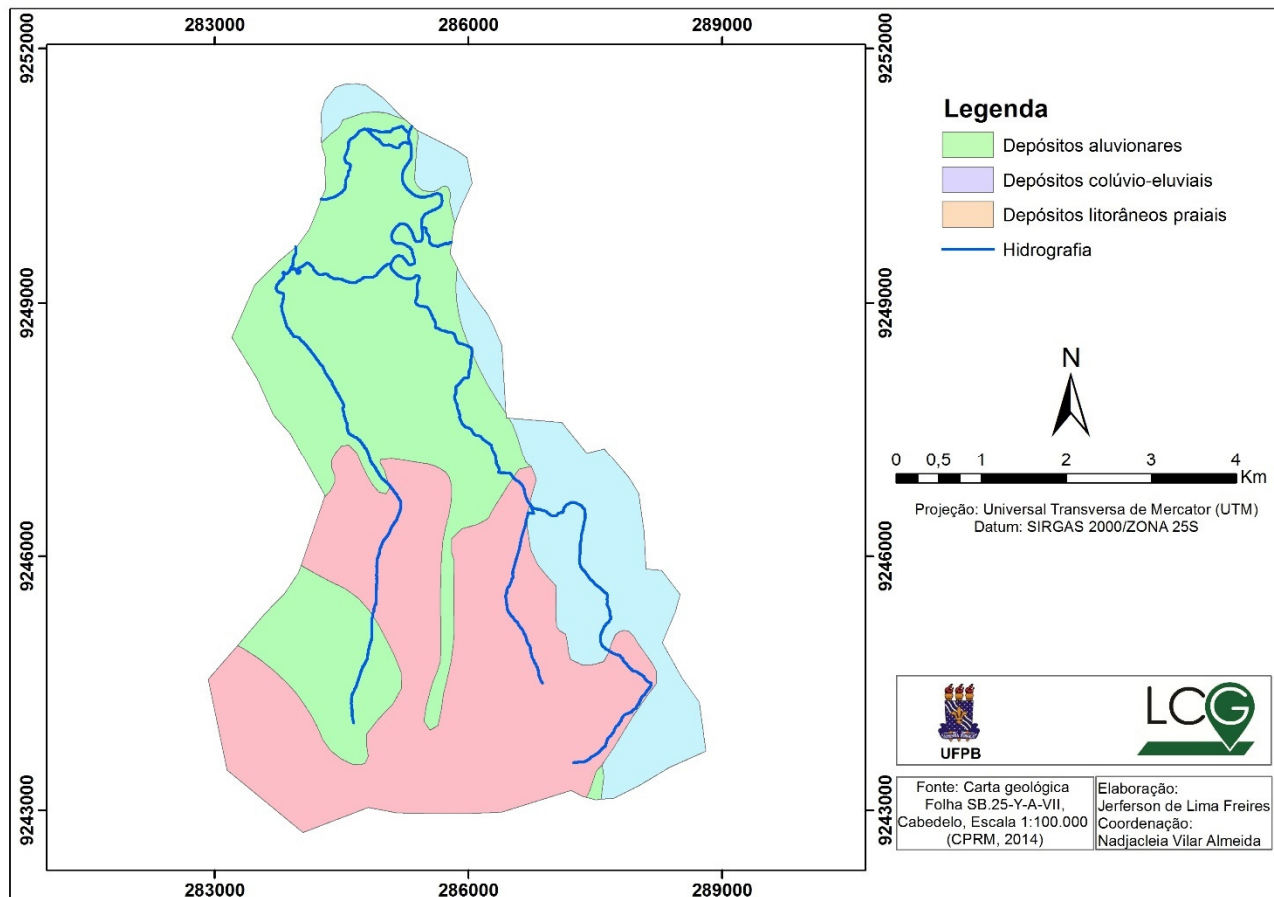


Figura 2. Unidades geológicas presentes na sub-bacia dos rios Velho e Açú, Rio Tinto-PB, Brasil. Fonte: Carta geológica, Folha SB.25-Y-A-VII, Cabedelo, Escala 1:100.000 (CPRM, 2014).

Aspectos geomorfológicos e ecodinâmicos

A geomorfologia disponibiliza as informações referentes à morfometria, que influência de maneira relevante nos processos ecodinâmicos. Os índices morfométricos utilizados para a escala de vulnerabilidade ecodinâmica são a declividade, amplitude altimétrica e a dissecação do relevo pela drenagem (Crepani et al., 2001).

De acordo com a classificação da EMBRAPA (1979), a sub-bacia apresenta, predominantemente, relevo plano e suavemente ondulado (Figura 3), com valores de declividade

entre 0 e 8%, considerada estável. Os maiores valores de declividades variam de 8% a 17%

A amplitude altimétrica se apresenta predominantemente muito baixa com valores inferiores a 20 m e baixa com valores entre 21 a 27 m, todos estes valores são classificados como estável com relação à morfogênese. Baixos valores de amplitude altimétrica indicam menor energia cinética no escoamento superficial, devido a uma menor diferença de altitude no relevo resultando, dessa forma, em uma menor capacidade de erosão ou morfogênese (Crepani et al., 2011).

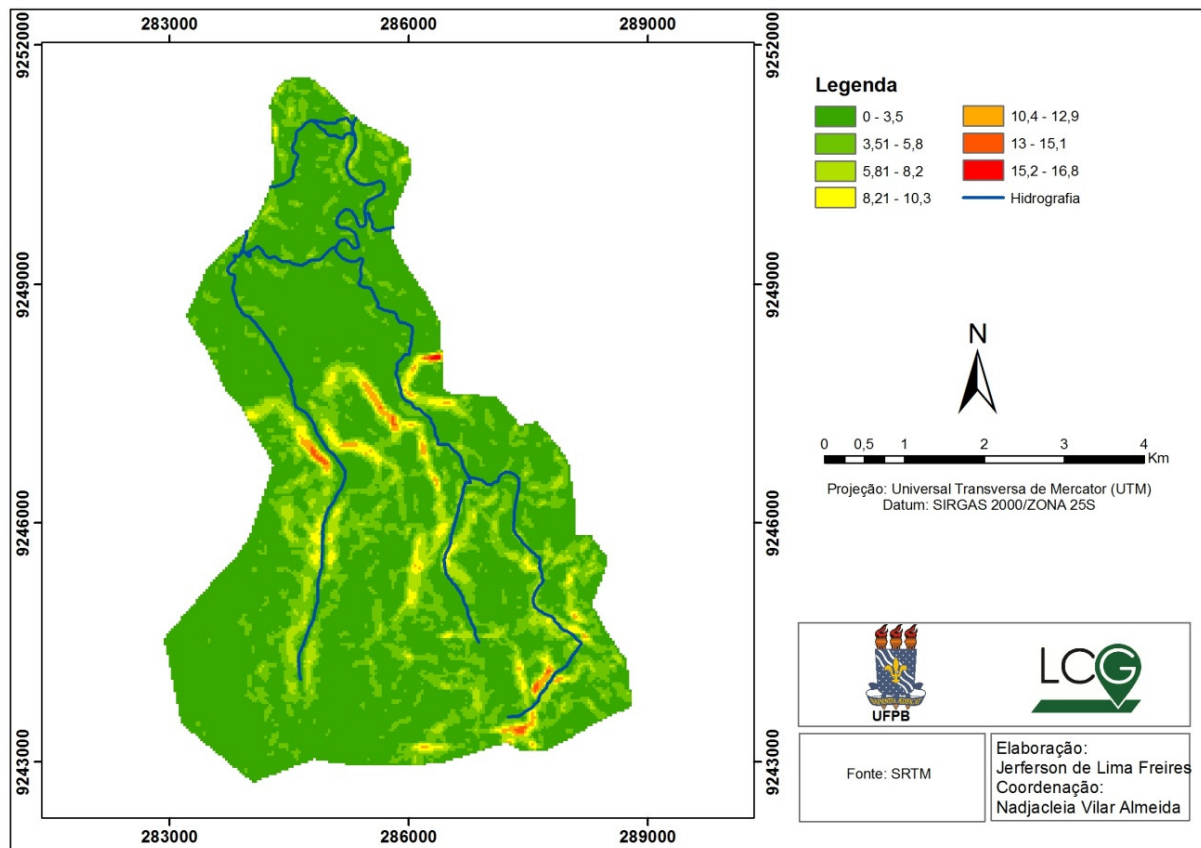


Figura 3. Mapa mostrando a distribuição das classes de declividade da sub-bacia dos rios Velho e Açú, Rio Tinto-PB, Brasil.

A densidade da drenagem da sub-bacia apresentou valores de 1,4 a 5,4 km.km⁻², com categorias ecodinâmicas variando de estável à média estabilidade. Valores menores que 7,5 km.km⁻² indicam uma baixa densidade de drenagem; valores entre 7,5 e 10,0 km.km⁻² indicam média densidade e, valores acima de 10,0 km.km⁻² apresentam alta densidade de drenagem (Christofolletti, 1969 *apud* Teodoro, 2007).

A partir da média aritmética dos índices morfométricos, declividade, amplitude altimétrica e densidade de drenagem, a área de estudo foi classificada nas categorias ecodinâmicas estável e moderada estabilidade (Figura 4).

Aspectos pedológicos e ecodinâmicos

Foram identificadas quatro classes de solos: argissolos vermelho amarelo, espodosolos, neossolos quartzarênico e solos indiscriminado de

mangue (Figura 5). Predomina na sub-bacia a classe argissolo vermelho amarelo, com moderada estabilidade e ocupando 14,81 km². Em seguida, a classe de solo indiscriminado de mangue, com 10,76 km², classificado como instável.

As classes menos representativas foram o espodosolo e o neossolo quartzarênico apresentando, respectivamente, média estabilidade e moderada instabilidade.

Aspectos pluviométricos e ecodinâmicos

A intensidade pluviométrica na sub-bacia apresentou valores com variação entre 275 e 283 que, de acordo com Crepani et al. (2001), equivale ao valor de vulnerabilidade (2,0), dessa forma, a sub-bacia apresenta média estabilidade com relação à intensidade pluviométrica.

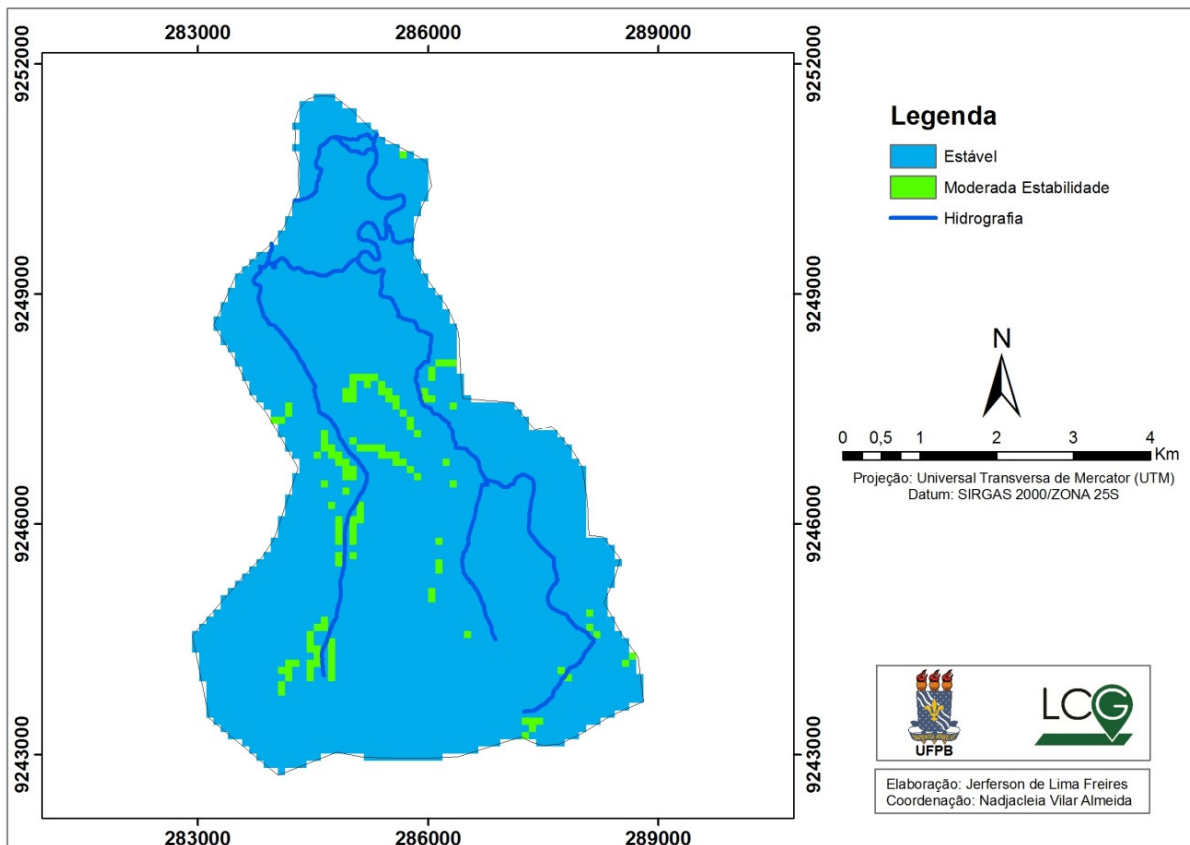


Figura 4. Mapa da vulnerabilidade geomorfológica da sub-bacia dos rios Velho e Açú, Rio Tinto-PB, Brasil.

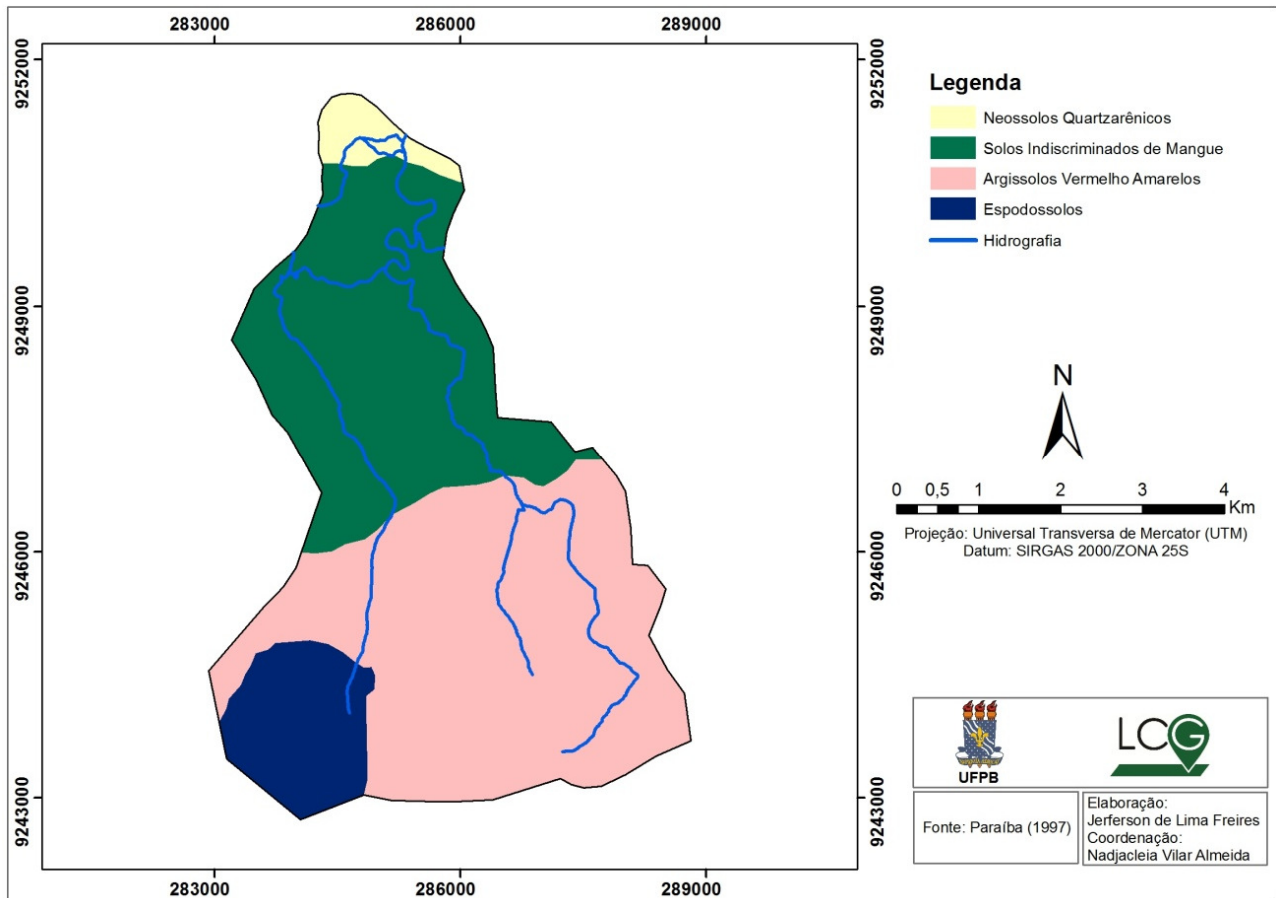


Figura 5. Classes de solos presentes na sub-bacia dos rios Velho e Açú, Rio Tinto-PB, Brasil.

Aspectos do uso e cobertura da terra e ecodinâmicos

Foram identificadas seis classes de uso e cobertura da terra na sub-bacia dos rios Velho e Açu, sendo estas: Mangue, Mata, Cultivo, Solo Exposto, Água e Nuvem (Figura 6).

A classe nuvem foi inserida com o intuito de evitar confusão das tipologias, pois algumas amostras de assinaturas coletadas poderiam ser confundidas com a nuvem presente na imagem, por possuírem comportamentos espectrais semelhantes, o que iria interferir no resultado final.

A classe Mangue recobre 6,82 km² (23%) da sub-bacia, sendo a segunda classe mais representativa. Foi observada vegetação de mangue na Lagoa do Saco, sendo que a parte mais representativa se encontra ao norte da área estudada, compondo parte do manguezal da APA-BRM, classificado como moderadamente estável, por ser uma área de influência flúvio-marinha com tipo de solo, fauna e flora específico. Este tipo de vegetação é muito especializada e precisa de um ambiente equilibrado para que ocorra seu pleno desenvolvimento. Porém, este equilíbrio pode ser ameaçado por atividades humanas.

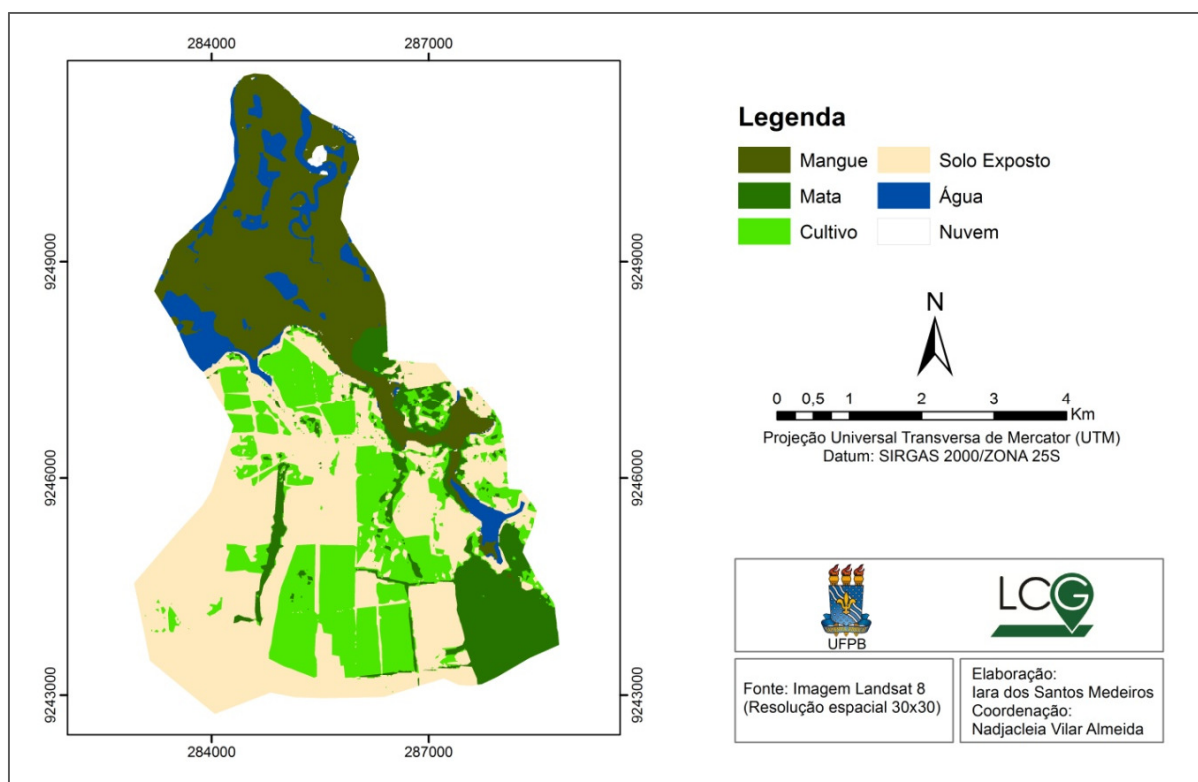


Figura 6. Uso e cobertura da terra da sub-bacia dos rios Velho e Açu, Rio Tinto-PB, Brasil.

A classe Mata ocupa 3,24 km² (11%) da sub-bacia e corresponde a fragmentos remanescentes de Mata Atlântica, distribuídos na área de estudo, apresentando um fragmento com maior representatividade na parte sul da bacia, o qual é conhecido, pela comunidade local, como Mata do Oiteiro. A vegetação arbórea que compõe a classe mata é classificada como estável.

A classe cultivo, possui 6,16 km² (21%) da sub-bacia, sendo composto por monocultura de cana-de-açúcar e cultivo de subsistência (banana, macaxeira, batata doce e feijão). O cultivo foi classificado como moderadamente instável por ser uma área com vegetação introduzida e pouco densa, isso implica em muitas consequências negativas para a sub-bacia, pois junto ao cultivo são utilizados produtos que são benéficos para as

culturas mais em contrapartida são malélicas para o ambiente.

O solo exposto com 11,31 km² (39%), corresponde aos locais sem a presença de vegetação: canalial no período de corte da cana-de-açúcar e estradas. Os solos, sem a presença de vegetação, classificam-se como instáveis, por estarem desprotegidos dos agentes modificadores do relevo, facilitando a erosão e o carreamento de sedimentos para o leito dos rios.

Em visitas ao campo foi identificada uma área de solo exposto onde é feita a extração de solo (barro). Esta área está entre o canalial e a mata que corresponde à APP do rio Velho. Provavelmente, este local era coberto por vegetação nativa. Pelo fato da área estar exposta às variadas formas de intemperismo e por estar localizada em uma margem íngreme, o sedimento

é facilmente carregado para o rio Velho, causando assoreamento.

A classe água apresenta 1,88 km² (6%), estando representada pelos rios Velho e Açu, seus afluentes e pela Lagoa do Saco compondo a rede hidrográfica da sub-bacia. Os rios Velho e Açu são os rios principais que dão nome à sub-bacia estudada. Ambos os rios nascem na área de influência direta da APA e deságuam no rio Mamanguape.

As áreas alagadas com presença de lama, correspondem aos solos de mangue sem vegetação, também se enquadram nesta classe. Com base em imagens de satélite de anos anteriores e conversas informais com moradores locais, pode-se afirmar que, anteriormente, estas áreas eram recobertas por vegetação de mangue e atualmente se encontram sem vegetação, mas o solo continua, aparentemente, com características de solo de mangue (muito úmido e coloração escura).

Vulnerabilidade da sub-bacia dos rios Velho e Açu.

Com a análise integrada dos elementos relativos à geologia, à geomorfologia, à pedologia, à pluviosidade e ao uso e cobertura da terra, foi identificada a vulnerabilidade ambiental da sub-bacia (Figura 7).

Uma porção da sub-bacia, na região da Mata do Oiteiro, foi classificada como de moderada estabilidade, com 2,4 km², correspondendo a 8% da sub-bacia. Nas áreas onde está inserido o manguezal, as pequenas porções de mata e as menores altitudes e declividades foram classificadas como de média estabilidade, ocupando 22,8 km², correspondendo a 80% da sub-bacia. O restante da área foi classificada como moderadamente instável, com 3,6 km², totalizando 12% da sub-bacia, por se tratar de uma área com declividade mais acentuada, solo sem vegetação e de era geológica mais recente.

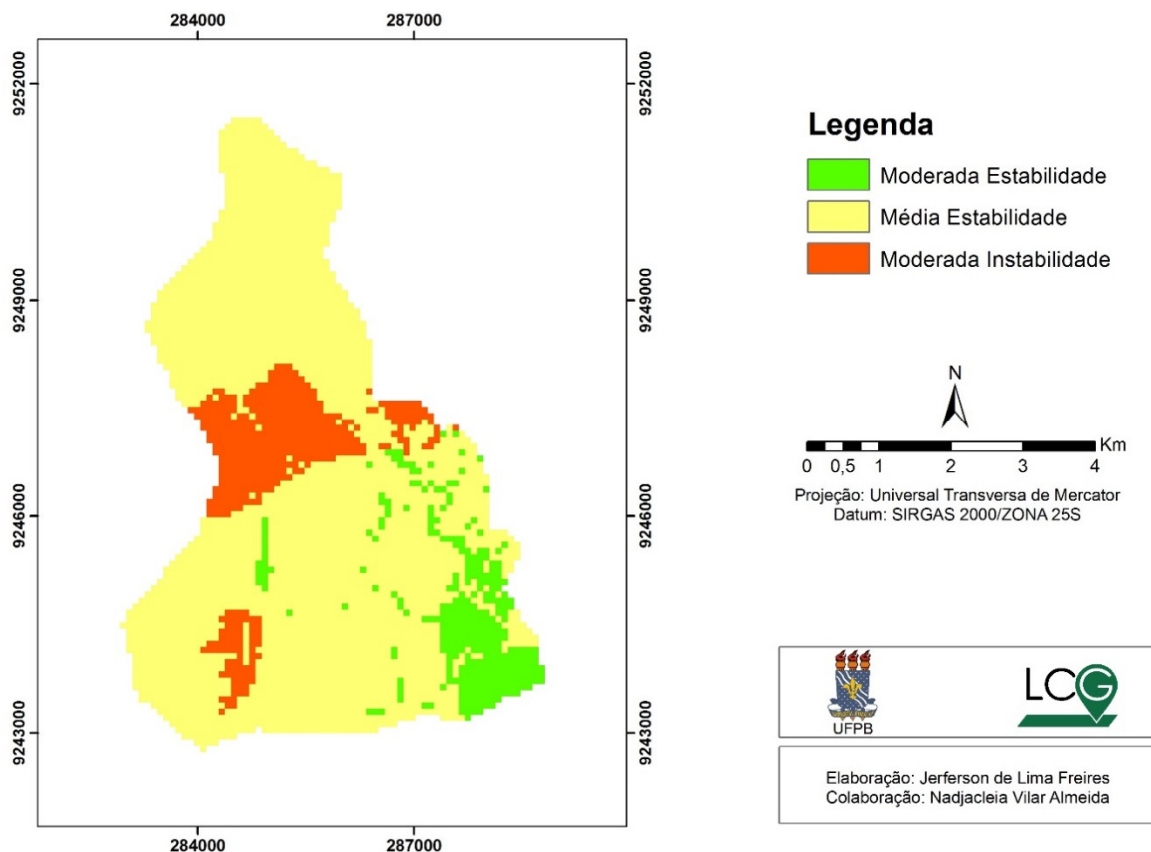


Figura 7. Vulnerabilidade da sub-bacia dos rios Velho e Açu, Rio Tinto-PB, Brasil.

Discussão

A avaliação a partir da Ecodinâmica evidenciou que a sub-bacia dos rios Velho e Açu encontra-se sobre a influência concorrente da morfogênese e da pedogênese com 80% da sua área classificada como média estabilidade e, 12%

com moderada instabilidade onde os processos morfogenéticos são mais evidentes.

Os condicionantes biofísicos contribuíram para esse resultado, pois como apresentado, a litologia predominante na sub-bacia é formada por depósitos aluvionares e litorâneos praias. São

sedimentos do quaternário representados, principalmente, pelos aluviões do rio Mamanguape e também por dunas e sedimentos de praia que ocorrem na faixa litorânea (Brasil, 2002). As rochas sedimentares são pouco coesas e apresentam baixa resistência aos processos erosivos (Crepani et al., 2001). Dessa forma, a sub-bacia apresenta alta instabilidade predominando a morfogênese. Resultado semelhante foi encontrado por Almeida et al (2008), que, ao avaliarem a vulnerabilidade geológica da APA de Tambaba, no estado da Paraíba, classificaram a geologia da área como instável.

Os índices morfométricos adquiridos na análise geomorfológica conferem estabilidade geomorfológica para sub-bacia e corroboram com a instabilidade da geologia, principalmente ao analisarmos os valores de baixa densidade de drenagem encontrados. Silva et al. (2010) afirmam que os “índices de densidade de drenagem encontram-se subordinados ao substrato rochoso, declividade do terreno e, principalmente, ao grau de permeabilidade das formações superficiais”. Áreas com predominância de rochas sedimentares têm maior probabilidade de altas taxas de infiltração e baixo escoamento superficial (Christofoletti, 1969 *apud* Santos, 2012), apresentando uma menor esculturação do relevo e, conseqüentemente, menor densidade de drenagem.

Altos ou baixos índices morfométricos têm relação direta com a erosão e, como a área de estudo é geomorfológicamente estável, este componente tem grande influência na dinâmica ambiental da sub-bacia, trazendo equilíbrio aos componentes classificados como intermediário e instável.

A pedologia apresenta maior heterogeneidade das classes ecodinâmicas. Os neossolos e o solo indiscriminado de mangue são considerados solos jovens e pouco desenvolvidos, são naturalmente vulneráveis (instáveis) e ocorrem na área do manguezal, desta forma para conservação desses solos é fundamental a preservação da cobertura vegetal. Os argissolos e o espodossolos são solos que estão em equilíbrio entre os processos pedogenético e morfogenéticos, dessa forma para a manutenção do equilíbrio ambiental é necessário o manejo adequado dos usos nesses ambientes (Crepani, 2001). Caso contrário, o uso desordenado associado à média estabilidade desses solos e aos valores de intensidade pluviométrica irão favorecer os processos erosivos.

A precipitação é um dos principais elementos climático na erosão dos solos, sendo a

intensidade o fator pluviométrico mais importante na erosão (Bertoni, 2010). Almeida et al. (2008) destacam que o potencial de erosividade da chuva depende da energia potencial da precipitação (que está relacionada com a intensidade pluviométrica) que, em contato com o solo, é transformada em energia cinética, a qual é responsável pelo movimento de massa (erosão).

A presença da cobertura vegetal contribui para reduzir os processos mecânicos que atuam de modo lento, os efeitos da chuva sobre o solo, evitando índices elevados de erosão laminar e ravinamento, aumenta a porosidade do solo e a capacidade de infiltração da água, além de fornecer suporte para manutenção da biodiversidade. Almeida et al. (2008) evidenciam que a cobertura vegetal desempenha um importante papel na proteção do solo contra os processos erosivos, tendo em vista que a cobertura vegetal reduz os impactos das gotas d'água sobre a superfície do solo e aumenta a capacidade de infiltração evitando o escoamento superficial.

Apesar da importância da cobertura vegetal e desta classe ser considerada estável apenas 34% da sub-bacia está com cobertura vegetal natural e, de acordo com Brasil (2014, p. 84) vem sendo negativamente impactada, pois “...o incremento do cultivo da cana-de-açúcar na APA de Mamanguape, tem aumentado a degradação dos remanescentes florestais do Tabuleiro Costeiro e da Mata Atlântica, gerando fragmentos descontínuos, altamente impactados por trilhas e caminhos ao longo das matas.”

As atividades socioeconômicas desenvolvidas indiscriminadamente causam impactos negativos para o manguezal da sub-bacia e da APA da Barra do Rio Mamanguape que sofre pressão das atividades desenvolvidas no seu entorno. Vidal (2001, *apud* Brasil, 2014, p. 82) afirma que a monocultura de cana-de-açúcar, o corte do mangue e a pesca artesanal são os impactos mais evidentes na área. Com isso, pode-se afirmar que o manguezal poderá, com o tempo, perder sua estabilidade e se tornar um ambiente instável, como consequência da continuidade e intensificação dos impactos negativos do cultivo perene da cana-de-açúcar.

A região da Mata do Oiteiro apresenta moderada estabilidade, porém esta estabilidade é aparente, levando apenas em consideração a densidade da vegetação, pois ecologicamente se trata de um fragmento isolado que conseqüentemente sofre interferências físicas com excesso de vento e luminosidade nas suas bordas afetando negativamente a permanência, desenvolvimento e fluxo gênico das espécies que habitam no fragmento. Outra questão negativa é

que uma parte do fragmento está em contato direto com o canal que passa frequentemente por queimadas, além do uso dos agrotóxicos que afetam a biodiversidade da Mata do Oiteiro.

De acordo com Costa & Andrade (2012, p. 10), “as indústrias sucroalcooleiras ao fazerem uso de agrotóxicos para promover o crescimento e proteção contra pragas nos canais causam a contaminação do solo, dos rios e dos aquíferos, além de prejudicar a saúde humana, a biodiversidade e causar danos para a própria agricultura.”

Silvestre et al. (2011, p. 30) afirmam que a APA da Barra do Rio Mamanguape é uma “área cercada por extensos canais. O grande desmatamento da Mata Atlântica nesta área foi motivado pela expansão das fazendas canavieiras, decorrentes estas da implantação do Programa Nacional do Alcool (Proálcool) em 1970 pelo Governo Federal”.

Como apresentado a principal atividade socioeconômica desenvolvida, o plantio da cana-de-açúcar, representada pelas classes cultivo e solo exposto ocupa 60% da sub-bacia. Crepani et al. (2001) ressaltam que o tipo de atividade desenvolvida em uma determinada unidade de paisagem pode causar sua destruição, devido a incapacidade do ambiente em absorver os estímulos gerados, ao mesmo tempo que essa atividade em outro ambiente de menor vulnerabilidade e com práticas de manejo conservacionistas pode representar uma atividade sustentável, dessa forma percebemos a importância de conhecer a capacidade de uso de cada ambiente para o seu adequado manejo.

Conclusão

Dos componentes analisados, a geologia apresenta-se instável por ser constituída por sedimentos inconsolidados; a geomorfologia foi considerada estável, com encaves de ambientes com moderada estabilidade, condicionados pela declividade das vertentes do rio; as classes de solos oscilaram de moderadamente estável à instável.

Os principais impactos negativos na sub-bacia estão, direta ou indiretamente, relacionados com a monocultura de cana-de-açúcar.

O predomínio da média estabilidade da sub-bacia não caracteriza um equilíbrio entre os processos pedogenéticos e morfogenéticos e que existe a presença concomitante e concorrente dos dois processos. Este fato foi comprovado com o surgimento das áreas de moderada instabilidade, onde ocorre o predomínio da morfogênese.

Assim, a continuidade do uso inadequado da terra, sem nenhum manejo, pode desequilibrar

essa relação como acontece em algumas áreas mais sensíveis da sub-bacia, prevalecendo o processo morfogenético.

As atividades socioeconômicas desenvolvidas na sub-bacia hidrográfica dos rios Açu e Velho estão alterando o seu equilíbrio natural, principalmente nas áreas que apresentam uma maior vulnerabilidade a perda de solo, como nas áreas que possuem uma maior declividade, ausência de cobertura vegetal e solos recentes. Esses fatores contribuem para o aumentando dos processos erosivos e, conseqüente, assoreamento dos corpos hídricos presentes na sub-bacia. Portanto, a permanência destas práticas contribui para que a fragilidade natural da sub-bacia seja alterada.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por conceder bolsa de estudos para a autora Iara dos Santos Medeiros, ao Laboratório de Cartografia e Geoprocessamento (LCG) do Centro de Ciências Aplicadas e Educação do Campus IV da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) pelo suporte, ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (autorização de pesquisa N° 52696) e à administração da Área de Proteção Ambiental (APA) da Barra do Rio Mamanguape pelo apoio à pesquisa.

Referências

- ALMEIDA, N. V. 2012. Ordenamento territorial geoambiental da bacia hidrográfica do rio Taperoá, semiárido paraibano. Tese de doutorado em Geografia. Universidade Federal Fluminense. Niterói, Rio de Janeiro, Brasil. 238p.
- ALMEIDA, N. V. 2008. Proposta de zoneamento ecológico econômico para a Área de Proteção Ambiental (APA) Estadual de Tambaba-Paraíba. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - ProdeMa, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, Paraíba, Brasil. 186p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. 2010. Conservação do solo. 7. ed. São Paulo: Ícone.
- BRASIL. 1993. Decreto N° 924, de 10 de setembro de 1993 cria a Área de Proteção Ambiental da Barra do Rio Mamanguape, no estado da Paraíba e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF.

- BOTELHO, R. G. M. 1999. Planejamento ambiental em microbacias hidrográficas. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. Erosão e Conservação dos Solos. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil. 5a ed.
- BRASIL. 2002. Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Minas e Metalurgia. Serviço Geológico do Brasil - CPRM. Geologia e Recursos Minerais do Estado da Paraíba. Recife-PE.
- BRASIL. 2014. Plano de Manejo. Área de Proteção Ambiental da Barra do Rio Mamanguape, Área de Relevante Interesse Ecológico de Manguezais da Foz do Rio Mamanguape, Brasília-DF.
- COSTA, I. M.; ANDRADE, M. O. 2012. Sobreposição da APA Barra de Mamanguape e a TI Potiguara Monte Mor-PB: análise da legislação ambiental e dos conflitos com as atividades do setor sucroalcooleiro. Anais III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Goiânia/GO. IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, pp.1-14.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2014. Carta geológica Folha SB.25-Y-A-VII, Cabedelo, Escala 1:100.000 Disponível em: <http://geosgb.cprm.gov.br/>. Acesso: abril de 2016.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. 2001. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial. São José dos Campos: INPE. (INPE- 8454-RPQ/722).
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2013. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3ª ed. Brasília.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1979. Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Espírito Santo. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. (Boletim Técnico, 45). 379p.
- FLORENZANO, T. G. 2008. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. 2ª ed. São Paulo: Oficina de textos. 318p.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2016. População residente estimada (2016/2017). Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 28 de maio de 2017.
- ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal>. Acesso em: abril de 2015.
- JAKOB, A. A. E.; YOUNG A. F. 2006. O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas. ABEP, Caxambu-MG.
- RIBEIRO, R. J. C.; BAPTISTA, G. M. M.; BIAS, E. S. 2007. Comparação dos métodos de classificação supervisionada de imagem Máxima Verossimilhança e Redes Neurais em ambiente urbano. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, INPE. pp. 5471-5478.
- RODRIGUES, F.; CARVALHO, O. 2003. Bacias hidrográficas como unidade de planejamento e gestão ambiental: uma proposta metodológica. Revista Fluminense de Geografia, v. 2, p. 61-82.
- SANTOS, D. A. R. 2012. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio lago verde como subsídio à compartimentação do relevo da região de Lagoa da Confusão-TO. Revista Geonorte, Edição Especial, v. 3, n. 4, p. 617-629.
- SILVA, D. G.; MELO, R. F. T. de; CORRÊA, A. C. de B. 2010. Influência da densidade de drenagem na interpretação da evolução geomorfológica do complexo de Tanques do município de Brejo da Madre de Deus – Pernambuco, Nordeste do Brasil. Revista de Geografia, v. 26, n. 3 p. 294-306.
- SILVA, F. 2015. Educação Ambiental em Terras Indígenas potiguara: Concepções e possibilidades na Educação de Jovens e Adultos nas Escolas Estaduais Indígenas do município de Rio Tinto-PB. Novas Edições Acadêmicas. 144p.
- SILVA, K. R.; CECÍLIO, R. A.; XAVIER, A. C.; PEZZOPANE, J. R. M.; GARCIA, G. O. 2011. Interpolação Espacial da Precipitação no Estado do Espírito Santo. Floresta e Ambiente, pp. 417-427.
- SILVESTRE, L. C.; FARIAS, D. L. S.; LOURENÇO, J. D. S.; BARROS, S. C. A.; BRAGA, N. M. P. 2011. Diagnóstico dos Impactos Ambientais Advindo de Atividades Antrópicas na APA da Barra do Rio

Mamanguape. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer-Goiânia, v. 7, n. 12, p. 1-11.

SNUC. 2000. Sistema nacional de unidades de conservação: texto da Lei 9.985, de julho de 2000, e vetos Presidência da República ao PL aprovado pelo congresso nacional. São Paulo: Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. 2ª Ed. ampliada.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. 2007. O Conceito de Bacia Hidrográfica e a Importância da Caracterização Morfométrica para o Entendimento da Dinâmica Ambiental Local. Revista UNIARA, v. 11, n. 1, p. 137-156.

TRICART, J. 1977. Ecodinâmica. Rio de Janeiro, IBGE, Diretoria técnica, SURPREN. 97p.