



DOI: 10.31416/rsdv.v9i3.234

Tecnologias de Geoinformação na análise espacial de riscos ambientais na bacia hidrográfica do rio Cuiá

Geoinformation technologies in space analysis of environmental risks in the Cuiá river hydrographic basin

SILVA, Leonardo Pereira e. Doutor/Eng. Civil e Ambiental

Universidade Federal da Paraíba - UFPB - Campus I - PPGCAM. Lot. Cidade Universitária - João Pessoa - Paraíba - Brasil. CEP: 58.051-900 / Telefone: (83) 3216.7750 / E-mail: lpsjampa@gmail.com

XAVIER, Ana Paula Campos. Doutoranda/Eng. Civil e Ambiental

Universidade Federal da Paraíba - UFPB - Campus I - PPGCAM. Lot. Cidade Universitária - João Pessoa - Paraíba - Brasil. CEP: 58.051-900 / Telefone: (83) 3216.7750 / E-mail: anapcxavier@gmail.com

LIMA, Eduardo Rodrigues Viana de. Professor Doutor/Geografia

Universidade Federal da Paraíba - UFPB - Campus I - Departamento de Geociências. Lot. Cidade Universitária - João Pessoa - Paraíba - Brasil. CEP: 58.051-900 / Telefone: (83) 3216.7750 / E-mail: eduvianalima@gmail.com

RESUMO

Este artigo teve por objetivo realizar um levantamento e avaliação dos riscos ambientais na bacia do rio Cuiá, utilizando uma metodologia que classifica as informações em inventário, monitoria, prospecção ambiental e incongruências de uso e ocupação. Baseado nisso, o estudo foi feito com dados coletados no intervalo dos anos de 1985 e 2005. A bacia do rio Cuiá, localizada na cidade de João Pessoa, no estado da Paraíba, possui uma área de 40 km². No desenvolvimento do trabalho foi feito um levantamento das condições ambientais da área de estudo. O inventário foi realizado com o objetivo de levantar todas as características físicas e representá-las em mapa. A planimetria foi gerada para identificar a extensão territorial dos fenômenos; e o monitoramento para avaliar a evolução do uso do solo através do tempo. A prospecção ambiental foi realizada no sentido de obter os riscos ambientais decorrentes da ocupação urbana e a incongruência de uso mostra os conflitos existentes devido a ocupação de área inadequadas. O trabalho demonstrou resultados satisfatórios na análise do risco ambiental, as áreas com o baixo risco foram encontradas nos limites da bacia, representando 79,23 % de toda área da bacia e as áreas com risco alto, podem ser encontradas nas encostas do vale do rio principal e representam cerca de 7,12% da área. Demonstrando que as áreas propícias de ocupação urbana, são de uma forma geral, relacionadas ao baixo planalto costeiro e as demais áreas devem ser tratadas de forma diferenciada em função da sua fragilidade natural.

Palavras-chave: Geoprocessamento. Riscos ambientais. Bacia hidrográfica.

ABSTRACT

This article aimed to carry out a survey and assessment of environmental risks in the Cuiá river basin, using a methodology that classifies information into inventory, monitoring, environmental prospecting and use and occupation inconsistencies. Based on this, the study was carried out with data collected between 1985 and 2005. The Cuiá river basin, located in the city of João Pessoa, in the state of Paraíba, has an area of 40 km². In the development of the work, a survey of the environmental conditions of the study area was carried out. The inventory was carried out with the aim of surveying all physical characteristics and representing them on a map. The planimetry was generated to identify the territorial extension of the phenomena; and monitoring to assess the evolution of land use over time. The environmental survey was carried out in order to obtain the environmental risks arising from urban occupation and the incongruity of use shows the existing conflicts due to the occupation of inappropriate areas. The work showed satisfactory results in the environmental risk analysis, the areas with low risk were found in the basin limits, representing 79.23% of the entire basin area and the areas with high risk, can be found on the slopes of the river valley main and represent about 7.12% of the area. Demonstrating that areas suitable for urban occupation are, in general, related to the low coastal plateau and the other areas should be treated differently due to their natural fragility.

Keywords: Geoprocessing. Environmental risks. Watershed.

Introdução



As bacias hidrográficas são consideradas elementos naturais que são delimitadas por linhas divisórias topográficas e têm sido amplamente utilizadas como unidades para o estudo de problemas ambientais, uma vez que se constituem em ambientes com características e limitações claramente definidas no espaço.

A bacia hidrográfica é considerada por muitos estudiosos uma unidade básica de estudo no contexto ecológico, tornando-se uma área prioritária para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos, pois fornece vários produtos e serviços que sustentam a população humana em uma área delimitada. Além disso, deve ser vista como prioritária para a gestão urbana, pois essa mesma população reside no interior de bacias e relacionam-se com o sistema hídrico estabelecido no regime natural (LOPES et al., 2020). Essas áreas sujeitas ao processo de habitação humana são submetidas a vários problemas ambientais, como atividades que desestabilizam as encostas dos rios, causando movimentos de massa, inundações, poluição da água, entre outros, eventos que desestabilizam o ambiente e alteram significativamente a paisagem local.

A bacia do rio Cuiá, localizada na cidade de João Pessoa, no estado da Paraíba, é o objeto deste estudo. Vem passando por um processo de ocupação urbana desordenada, que tem provocado um grande impacto nos processos ambientais que ocorrem na área. A bacia do rio Cuiá se destaca no contexto municipal pelo fato de seus vales serem considerados como Zonas Especiais de Preservação Ambiental pelo Plano Diretor do Município de João Pessoa (1992). Apesar dessa proteção, existe um processo acelerado de degradação de seus recursos naturais, devido a problemas causados pelo uso e ocupação do solo.

A necessidade de um estudo na área tornou-se essencial, pois a qualidade do ambiente em que vive a população é determinada pela maneira como o ambiente é ocupado e utilizado. Através da análise integrada de mapas, pode-se identificar diferentes formas de habitação e os aspectos naturais da bacia, além de detectar os espaços com conflitos de uso (SILVA, 2002). Segundo Pereira et al. (2019), as variáveis que envolvem o estudo de riscos ambientais são muitas, complexas, e importantes nos estudos sobre essa temática, principalmente considerando o mapeamento que pode ser feito com o uso do SIG.

Dessa forma, o SIG possibilita a utilização de uma gama de dados e informações, principalmente com relação a estudos de riscos ambientais, que podem inclusive auxiliar no processo de tomada de decisão por gestores públicos. Na literatura destacam-se vários estudos utilizando SIG's em análises sobre riscos ambientais em bacias hidrográficas. Lima et al. (2015) utilizaram as geotecnologias na bacia do Córrego Santa Fé, para verificar o Potencial Ambiental e a Fragilidade Ambiental, e como resultado indicaram que a área estava em equilíbrio. Valle et al. (2016) mapearam a Fragilidade Ambiental na bacia do rio Aldeia Velha. Os resultados do estudo mostraram que mais de 70% da bacia apresenta fragilidade ambiental, bem como processos erosivos aparentes.

Esse trabalho possibilitou um diagnóstico para um possível zoneamento acessível e de fácil atualização para a prefeitura. Com relação aos estudos sobre a bacia do rio Cuiá, Silva e Santos (2010) realizaram uma análise espacial dos riscos de erosão e inundação e para os autores cerca de 10% da área da bacia está enquadrada na classe de solo com mais de 95% de impermeabilidade, isso

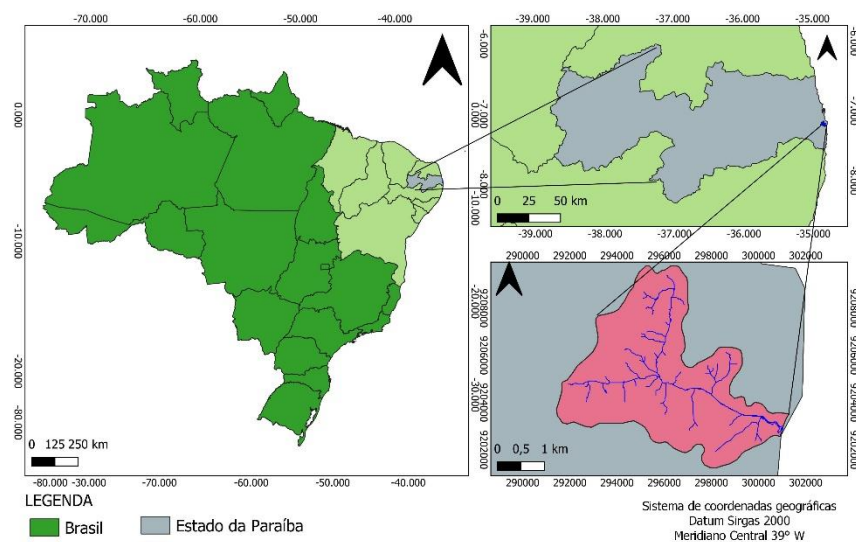
devido à antropização existente na bacia. Silva et al. (2010) realizaram um trabalho de mapeamento e análise na bacia do rio Cuiá a partir de imagem do satélite Quickbird. Buscaram analisar os usos e a ocupação do solo e concluíram que a área é ocupada por conjuntos habitacionais de forma desordenada e sem infraestrutura adequada.

Considerando a necessidade de se trabalhar com a informação espacial e sua dinâmica temporal, e a representação e integração de dados numa bacia urbana, este trabalho teve por objetivo aplicar a metodologia desenvolvida pelo Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ - LAGEOP/UFRJ. Com essa metodologia foi possível fazer um levantamento e avaliação dos riscos ambientais na bacia do rio Cuiá, através de um Banco de Dados Georeferenciados (BDG) com inventário, monitoria, avaliação ambiental e análise das incongruências de uso e ocupação entre os anos de 1985 e 2005.

Material e métodos

A bacia hidrográfica do rio Cuiá está localizada na Meso-região do Litoral Paraibano, no município de João Pessoa, na parte sul do litoral paraibano, entre as coordenadas métricas de 302.000E / 9.210.000N e 292.000E / 9200.000 N (Figura 1). Limita-se a norte com a bacia do rio Jacarapé, a sul com a bacia do rio Gramame, a oeste com o bairro do Ernany Sátiro e a leste com o Oceano Atlântico. A Bacia do rio Cuiá possui uma área de aproximadamente 40 km², com uma altitude média de 5 m, onde estão inseridos os conjuntos habitacionais dos Grotões, Ernesto Geisel, José Américo, Valentina de Figueiredo e Mangabeira.

Figura 1 - Localização geográfica da bacia do rio Cuiá, estado da Paraíba.



Fonte: Dados da pesquisa.

Segundo a classificação de Köppen, a bacia objeto de estudo possui um clima do tipo As', que significa um clima tropical chuvoso, com temperatura média anual de aproximadamente 26 °C

(PARAIBA,1985). Com base nos estudos de Mabesoone e Alheiros (1988), a bacia do rio Cuiá está situada na bacia sedimentar Paraíba-Pernambuco-Rio Grande do Norte e na sub-bacia sedimentar Alhandra, sendo encontradas as unidades litológicas, Formação Barreiras, Terraços Marinhas Holocênicos, Depósitos de Mangue, Depósitos Aluviais e Depósitos de Praia.

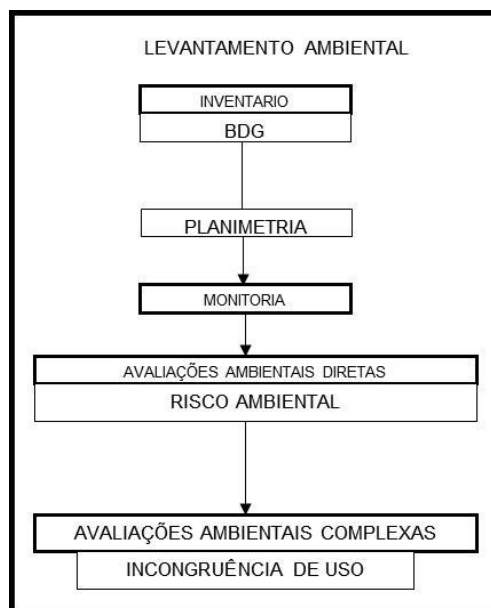
A geomorfologia da bacia do rio Cuiá é constituída pelos compartimentos geomorfológicos dos Tabuleiros Costeiros, Terraços Marinhas, Terraços Marinhas, Planície Fluvial, Planície Marinha, Planície Flúvio-Marinha, Falésia e Manguezal (MELO, 2001). A vegetação existente na área de estudo consiste em quatro tipos de formações vegetais: vegetação capoeira, vegetação herbácea, mata e mangue (SILVA, 2002).

Com base no Boletim Técnico nº 15, do Levantamento Exploratório e de Reconhecimento dos Solos do Estado da Paraíba (BRASIL,1972) e Sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA,1999), a bacia do rio Cuiá apresenta os seguintes solos: Podzólico Vermelho-Amarelo e Associações (Argissolos), Solo de Mangue (Organossolos), Solo Aluvial Eutrófico (Neossolo Flúvico) e as Areias Quartzosas Marinhas Distróficas (Neossolo Quartzarênico).

Estrutura metodológicos aplicada

Para analisar o risco ambiental na bacia do rio Cuiá foi utilizada a metodologia de análise ambiental baseada em Sistema de Análise Geo-Ambiental, desenvolvida por Silva (2001), do Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ - LAGEOP/UFRJ, essa metodologia permite a construção de uma estrutura de dados simplificada e útil com apoio à decisão ao risco ambiental, é as etapas estão descritas no fluxograma disposto na Figura 2.

Figura 2 - Metodologia do LAGEOP



Fonte: Dados adaptado de Silva (2001).



De maneira geral a metodologia consiste em realizar um levantamento ambiental composto basicamente por um inventário, monitoria e avaliações ambientais diretas, para em seguida se obter o diagnóstico de risco ambiental da área de estudo.

Dessa forma, foi necessário usar uma base cartográfica preexistente, constituída por cartas planimétricas da Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária - EMPAER, na escala 1:10.000 (folhas J-11, J-12, -J-13, K-11, K-12, K-13, L-11, L- 12, L-13), além de fotografias aéreas do ano de 1985 na escala 1:40.000 (Faixa 11, fotos nº 10 e nº 11 e Faixa 10, foto nº 15), uma imagem pancromática do Satélite SPOT, com resolução de 10 metros, e para integrar as informações se fez necessário a utilização de software do tipo *Computer Aided Design* (CAD), do Sistema de Informação Geográfica (SIG), SPRING 4.0 desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, e de um equipamento (GPS) *Global Positioning System de Navegação*.

O levantamento ambiental neste estudo consiste na construção de um Banco de Dados Georeferenciados (BDG), que contém todas as informações básicas do meio ambiente, levando em consideração os aspectos físico, biótico e socioeconômico.

Inventário

Um inventário pode ser definido como uma investigação qualitativa e quantitativa das condições vigentes do local a ser diagnosticado, traduzido em forma de mapas temáticos como rede de drenagem, geologia, geomorfologia, uso do solo, solos, declividade, dentre outros (SILVA, 2001). Esses mapas são associados a um BDG que contém dados alfanuméricos com informações sobre cada tema.

Para a criação do mapa de rede de drenagem e do mapa altimétrico foi realizada digitalização utilizando mesa digitalizadora, com o auxílio de software do tipo CAD e das cartas planimétricas da EMPAER. Os mapas de geologia e geomorfologia foram digitalizados através de uma mesa digitalizadora, com o auxílio do software CAD, tendo como base os mapas do trabalho realizado por MELO (2001).

O mapa de solos foi digitalizado usando uma mesa digitalizadora, com o auxílio do CAD, tendo como base o mapa de limitações ao uso do solo da bacia utilizado por MELO (2001), e adaptado a partir do Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba e o mapa altimétrico da área. O mapa de uso do solo de 1985 foi obtido a partir das fotografias aéreas da área de estudo, que foram digitalizadas (escaneadas) e, em seguida, foram transformadas para o formato adequado para o SPRING 4.0 através do módulo IMPIMA.

Em seguida foi realizado procedimento de registro de imagem. As informações espaciais referentes ao uso do solo foram obtidas a partir de interpretação visual diretamente no monitor do computador, e a digitalização foi feita utilizando mouse, via tela. A legenda utilizada nesse mapa foi a mesma do mapa de uso do solo de 2005 e constou dos seguintes itens:

- Culturas - Área para o cultivo, agriculturas;
- Mata- Formação vegetal arbórea;



- Vegetação Herbácea - formação correspondente ao revestimento de gramíneas dos fundos de vale e de pastagem das áreas de criação de gado;
- Mangues - Manguezal que ocorre nas áreas alagadas de influência marinha;
- Áreas com ocupação urbana e em expansão - correspondem as áreas já ocupadas, principalmente por conjuntos habitacionais, e em processo de ocupação.

Uso do solo de 2005: Foi utilizada imagem orbital SPOT Pancromática do ano de 2005, obtida junto ao Laboratório de Ensino e Pesquisa em Análise Espacial LEPAN - UFPB, que propiciou a análise de uso e ocupação da área estudada. Foi feita uma preparação da imagem antes da interpretação. Dessa forma, no programa IMPIMA a imagem foi convertida para o formato GRB do SPRING. Após essa etapa foi realizado o georreferenciamento. Foram adquiridos pontos conhecidos da área de estudo com GPS e plotados na imagem para obter a imagem corrigida. Com a imagem orbital georreferenciada foi utilizada a legenda do mapa de uso do solo mencionada anteriormente. Para a elaboração do mapa de declividade foi feito um mapa base com todas as curvas de nível da área de estudo. Esse mapa foi obtido em uma mesa digitalizadora com o programa CAD, com base nas cartas planialtimétricas da EMPAER. Com todas as curvas digitalizadas, foi atribuído a cada curva o seu "Z" ou a elevação, transformando para a extensão *Drawing Interchange Format (DXF)*.

Os dados na extensão DXF foram transferidos para o SPRING para gerar uma grade triangular e posteriormente uma grade retangular dos valores de declividade. Com base nas grades geradas foi construído o mapa da declividade que tomou como referência as classes de declividade utilizadas pela EMBRAPA (1984), e adaptadas por Melo (2001) para a região tropical úmida, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Classes de declividade

Classe	Declividade	Classificação
01	0 a 3%	Muito baixa
02	3 a 8%	Baixa
03	8 a 15%	Média
04	15 a 25%	Média alta
05	25 a 45%	Alta
06	> 45%	Muito alta

Fonte: MELO (2001).

Planimetrias

As planimetrias foram executadas no software SPRING sobre os mapas temáticos e constou da identificação das áreas de ocorrências dos fenômenos naturais, na extensão territorial da bacia e foram realizadas nas feições geológicas e geomorfológicas, nos tipos de solos e do uso e ocupação do solo da área de estudo, sendo esses dados coletados de suma importância para a análise ambiental servido como base exploratória para as monitorias realizadas.

Monitorias

Para a realização da monitoria, foram utilizados dois mapas de uso do solo da área,



referentes aos anos de 1985 e 2005. Isso foi possível porque ambos tinham a mesma legenda. O software SPRING foi escolhido para a implementação dos mapas de monitoramento, utilizando a técnica de álgebra de mapas através da Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (Linguagem LEGAL) (Silva et al., 2006).

Foram definidas quatro categorias para esses mapas, onde a categoria “Permaneceu” refere-se às áreas que não se alteraram ao longo do tempo; “Deixou de ser” refere-se àquelas áreas que apresentavam a categoria monitorada no mapa mais antigo e não apresentam a mesma categoria no mapa mais recente; “Tornou-se” são as áreas para as quais a categoria considerada no mapa mais antigo passaram a apresentá-la no mapa mais recente; “Não encontrado” representam as outras categorias que não incidem sobre a categoria monitorada, ou seja, áreas que não continham a categoria monitorada no mapa mais antigo. Uma representação esquemática da linguagem usada é a seguinte:

“Permaneceu” = $(A = (\text{interseção}) = B)$;

“Tornou-se” = $(B = (\text{união}) = A) = (\text{união}) = (B = (\text{união disjunta}) = A)$;

“Deixou de ser” = $(B = (\text{união disjunta}) = A) = (\text{união}) = (B = (\text{união}) = A)$;

“Não Encontrada” = $(A \cap (\text{união}) \cap B)$.

Onde “A” representa a categoria do mapa mais antigo e “B” a categoria do mapa mais recente.

Incongruências de uso

Para os mapas de incongruência de uso quanto à ocupação e expansão urbana, foram utilizados os mapas de uso do solo de 1985 e de 2005, e o mapa das áreas de risco a ocupação urbana. Para a execução dos mapas de incongruência de uso foi utilizado o software SPRING através do princípio da álgebra de mapas. Foram definidas duas categorias para esses mapas, onde a categoria “Há Incongruência” refere-se às áreas que não atendem a ocupação urbana ou expansão, e a categoria “Não há Incongruência” refere-se a áreas que apresentam espaços adequados para a expansão e ocupação urbana. Abaixo segue uma exemplificação:

“Há Incongruência” = $((A = (\text{união}) = A') \cap (\text{interseção}) (B = (\text{união}) = B' = (\text{união}) B))$;

“Não há Incongruência” = $((A = (\text{união}) = A') \cap (\text{interseção}) = (B))$.

Onde na categoria “Há Incongruência”, A representa a categoria ocupação e A' a expansão, B a categoria de muito alto risco, B' a categoria de alto risco, B'' a categoria de médio risco; e para “Não há Incongruência”, A representa a categoria de ocupação e A' a de Expansão e B a categoria de baixo Risco.

Riscos ambientais

O presente estudo considera os riscos ambientais existentes na área estudada, com base na ocupação urbana e todos os problemas que podem advir dessa ocupação em áreas com características físicas que não suportem esse tipo de ocupação. Assim, para obtenção do mapa de



risco à ocupação urbana foram utilizados os mapas de geologia, solos, geomorfologia e declividade.

Assim, foi utilizada a técnica de suporte à decisão (AHP) ou processo analítico hierárquico. Foram definidos pesos para os mapas baseados na lógica da comparação pareada.

Foram definidos pesos para os mapas baseados na lógica da comparação pareada. Para a declividade foram atribuídos pesos, conforme a metodologia, de 0,470, para a geologia 0,294, para a geomorfologia 0,154 e para os solos 0,083. O resultado do uso da técnica AHP foi a geração de um programa em LEGAL. No programa LEGAL foram definidos pesos para as classes temáticas dos mapas:

- No mapa de declividade o peso 0,1 para a categoria de 0 - 3%, 0,2 para a categoria de 3 - 8%, 0,3 para 8 - 15%, 0,4 para a de 15 - 25%, 0,5 para a 25 - 45%, e 0,6 para a categoria > 45%.
- No mapa de geologia os pesos foram 0,1 para a Formação Barreiras, 0,3 para os Terraços Marinho do Holoceno, 0,5 para os Depósitos de Fluvio Aluvial, 0,6 para as categorias de Depósitos de Mangue e Depósitos de Praia.
- No mapa de geomorfologia os pesos foram 0,6 para Falésias, 0,6 para Manguezal, 0,3 para Planície Fluvial, 0,5 para Planície Flúvio-Marinha, 0,6 para Planície Marinha, 0,1 para Tabuleiros, e 0,5 para Terraços Marinhos.
- No mapa de solos foram definidos os pesos de 0,1 para Podzólico Vermelho Amarelo e Associações (Argissolos), 0,3 para Solo Aluvial Eutrófico (Neossolo Flúvico), 0,5 para Areias Quatzsosas Marinhas Distróficas (Neossolo Quartzarênico), 0,6 para Solo de Mangue (Organossolos).

Resultados

Inventário

Os mapas do inventário formaram a base cartográfica para a realização do trabalho. Assim, no mapa geológico a unidade mais representativa é a Formação Barreiras, e a menos representativa são os Terraços Marinhos. Na planimetria obtida no mapa geomorfológico, às unidades de relevo mais representativas são os Tabuleiros Costeiros e as menos representativas são as das Planícies Marinhas e a das Falésias, que não foram quantificadas porque são representadas por linhas e não por polígonos. No mapa de solos, o tipo de solo com maior área, cerca de 86% da área da bacia é o Podzólico Vermelho-Amarelo e as associações (Argissolos), e o de menor área são as Areias Quatzsosas Marinhas Distróficas (Neossolo Quartzarênico) representando 0,58% da área da bacia. No mapa de declividade a classe de maior expressão é a de 0 - 3% e a de menor expressão a classe > 45%, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Classes declividades

Classes de declividades	Áreas km ²
0 - 3%	25,75
3 - 8%	7,88

8 - 15%	3,79
15 - 25%	1,77
25 - 45%	0,77
> 45%	0,07

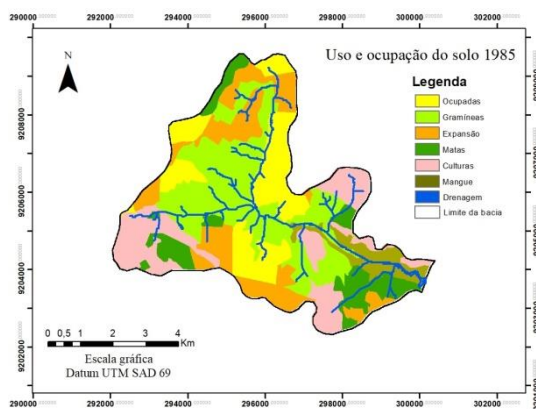
Fonte: Dados da Pesquisa

No mapa de uso do solo de 1985 a classe temática com maior representação é a de formação herbácea e o mangue a de menor representação Figura 3a. E no mapa de uso do solo de 2005 a classe temática mais representativa é a de ocupação urbana e a menor, manguezal Figura 3b.

Planimetrias

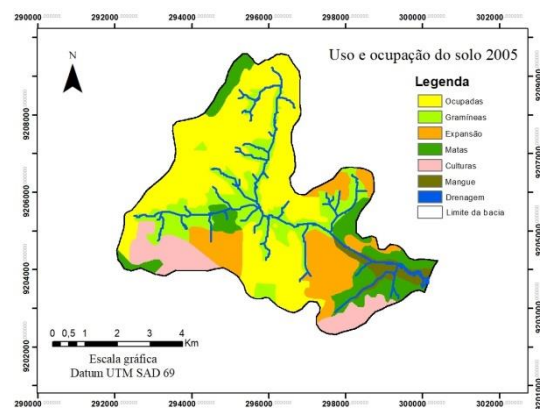
A espacialização das classes temáticas para os anos de 1985 e 2005 e as áreas de ocupação para cada classe, são apresentadas nas figuras 3a e 3b, e na tabela 3, respectivamente. As figuras 3a e 3b mostram espacialmente que a classe “Ocupadas” que representa as áreas com habitações, e foi a que sofreu a maior alteração entre 1985 e 2005, com variação de 130,71%, indicando assim a grande expansão habitacional na bacia do rio Cuiá. No entanto a classe Culturas corresponde às áreas ocupadas pela agricultura, resultando numa variação de -49,64% no período analisado. Outra modificação significativa observada foi a redução das áreas de Mangue, com variação de -36,57%.

Figura 3a - Uso e ocupação do solo 1985



Fonte: Dados da Pesquisa.

Figura 3b - Uso e ocupação do solo 2005



Fonte: Dados da Pesquisa.

Monitorias

A Figura 4 (a, b, c, d, e, f) mostra os resultados das monitorias para cada classe de uso e ocupação do solo usando linguagem Legal. Verificou-se que as áreas de culturas apresentaram redução, sobretudo na porção nordeste da bacia, enquanto que ao sul houve aumento no período analisado. As áreas de expansão diminuíram consideravelmente de 1985 para o ano de 2005, principalmente na porção noroeste.

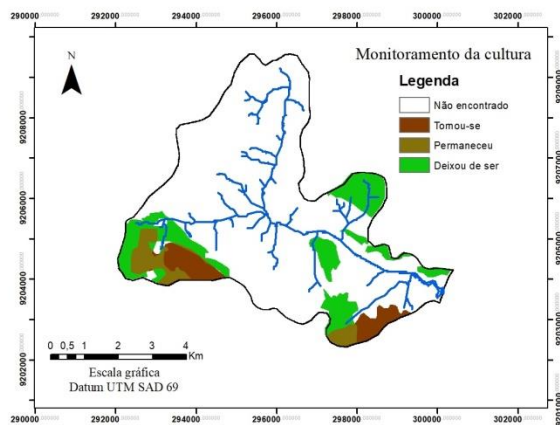
Esse resultado está relacionado ao aumento das áreas de ocupação destinada para habitação. As áreas com vegetação herbácea aumentaram na porção nordeste, devido a transição da classe de cultura (em 1985) para herbácea (em 2005), no entanto houve redução da classe herbácea (noroeste da bacia), em virtude da ocupação habitacional. As áreas de Mangue também diminuíram

em algumas porções durante o período analisado, todavia a maior parte da classe de Mangue permaneceu entre 1985 e 2005.

Para a classe de Mata, observou-se redução e permanência da classe na bacia, sendo que o percentual de redução foi maior que o de permanência, com variação de -38,52%. As áreas de ocupação sofreram o maior aumento entre 1985 e 2005, principalmente ao norte e próximo ao limite da bacia. Verificou-se que esse aumento se deu principalmente nas áreas que antes eram destinadas para expansão de conjuntos habitacionais.

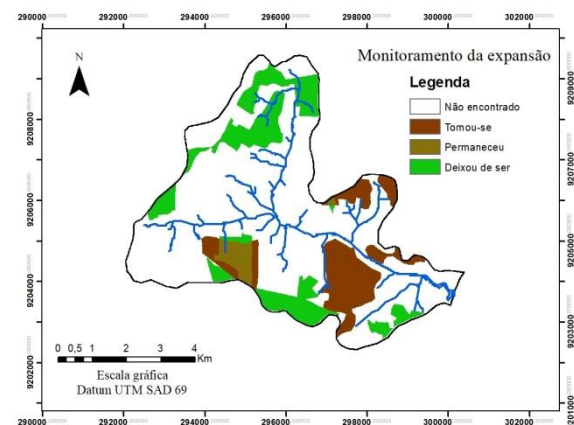
Segundo Centeno et al. (2003), as bacias hidrográficas vêm passando por um processo de modificação das condições normais do uso do solo devido à ocupação, que em grande maioria se destina para habitação aumentando as áreas impermeáveis e conseqüentemente um aumento do escoamento superficial e das enchentes. O que corrobora os resultados dos ocorridos para a bacia do rio Cuiá que mostram um aumento um expressivo das áreas destinadas para habitação e uma diminuição da vegetação nativa.

Figura 4a - Monitoramento da cultura



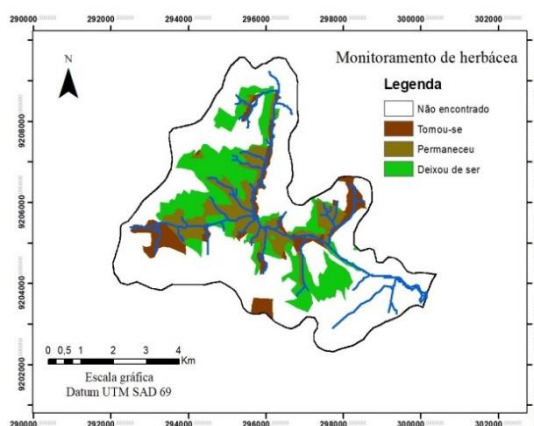
Fonte: Dados da Pesquisa.

Figura 4b - Monitoramento da expansão



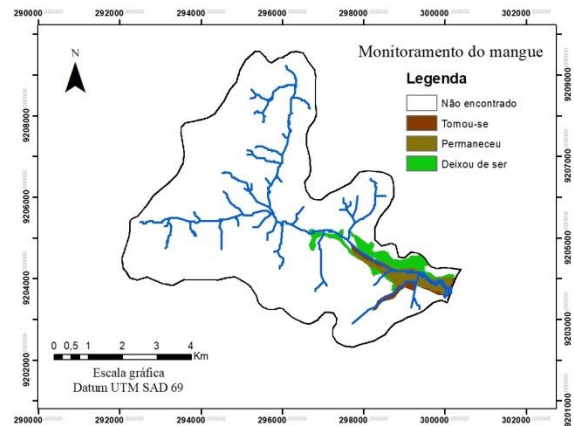
Fonte: Dados da Pesquisa.

Figura 4c - Monitoramento de herbácea

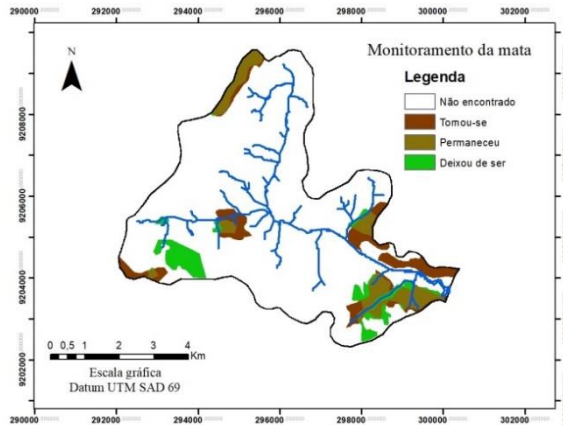


Fonte: Dados da Pesquisa.

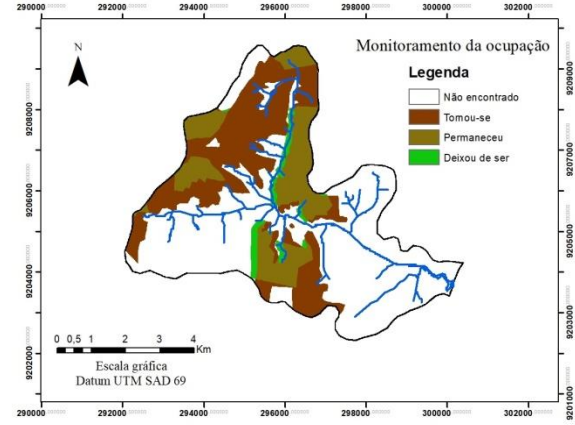
Figura 4d - Monitoramento do mangue



Fonte: Dados da Pesquisa.

Figura 4e - Monitoramento da mata

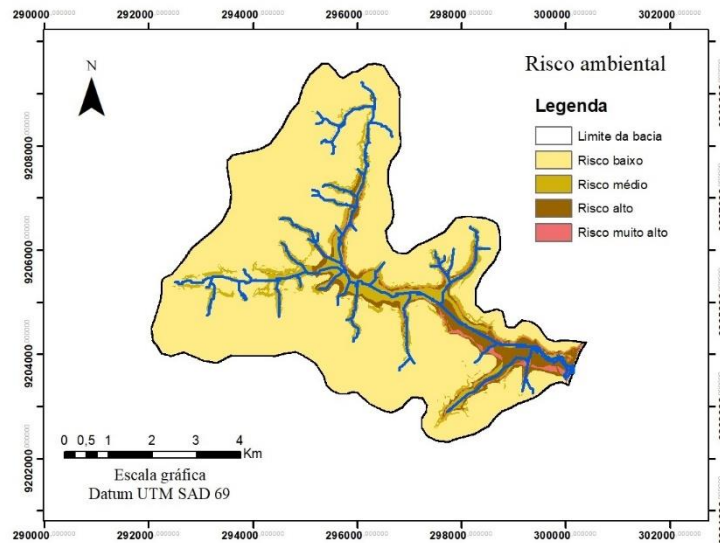
Fonte: Dados da Pesquisa.

Figura 4f - Monitoramento da ocupação

Fonte: Dados da Pesquisa.

Riscos ambientais

Como resultado da aplicação da linguagem LEGAL, foi gerado um produto no modelo numérico que, após fatiamento, possibilitou a geração de um mapa do modelo temático. O mapa mostra as áreas de risco para a ocupação urbana, definidas como risco muito alto, alto, médio e baixo (Figura 5).

Figura 5 - Mapa de risco ambiental para bacia do rio Cuiá

Fonte: Dados da Pesquisa

As áreas com o baixo risco foram encontradas nos limites da bacia, onde ocorrem as categorias com peso = 0,1, representando 79,23 % de toda área da bacia. Já as áreas com risco médio, cujas categorias foram classificadas com peso = 0,2, podem ser encontradas mais no centro da bacia e representam 12,17% de toda área. As áreas com risco alto, com peso = 0,3 podem ser encontradas nas encostas do vale do rio principal e representam cerca de 7,12% da área. As áreas com risco muito alto onde existe peso mais alto, podem ser encontradas nas encostas do vale do rio principal e próximas ao exutório da bacia em áreas de solos de mangue, com cerca de 1,48% de toda

área da bacia. Baseado no mapa de risco ambiental obtido neste estudo pode-se afirmar que a bacia do rio Cuiá tem a maior parte de sua área com risco ambiental baixo para ocupação urbana, levando em consideração os aspectos físicos da bacia.

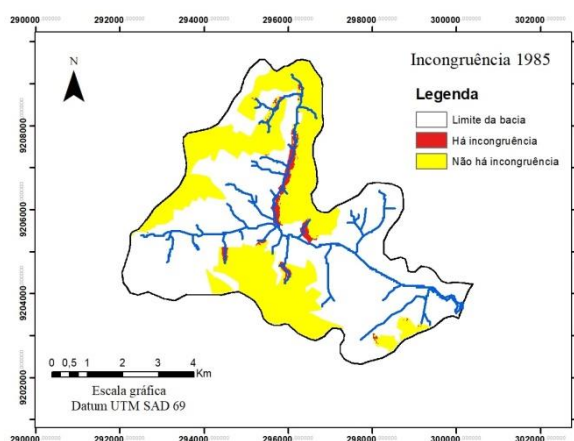
Incongruência de uso

Os mapas de incongruência de uso mostram, em dois momentos, as áreas de ocupação e expansão urbana, com interseção dos riscos muito alto, alto e médio, definidas como as áreas onde há incongruência. As áreas onde não há incongruência de ocupação e expansão urbana definidas pela interseção das áreas de baixo risco para ocupação humana, são aquelas que não apresentam incongruência de uso para ocupação humana (Figuras 6 e 7).

Para o ano de 1985 observou-se maiores áreas com incongruências (em vermelho), comparando-se com o ano de 2005. Verifica-se que próximo aos limites são áreas que apresentaram risco ambiental alto, devido a ocupação, sobretudo na planície de inundação da bacia. Para 2005 as áreas com incongruências se deram de forma esparsa em algumas porções da bacia com alto risco ambiental. Observou-se ainda que para 2005 houve aumento de área das classes de ocupação e expansão, principalmente nas porções que já haviam mostrado incongruências em 1985. Esse resultado mostra a expansão e ocupação dos conjuntos habitacionais em áreas inapropriadas de vertentes e de planície de inundação, que resultaram em alto risco ambiental.

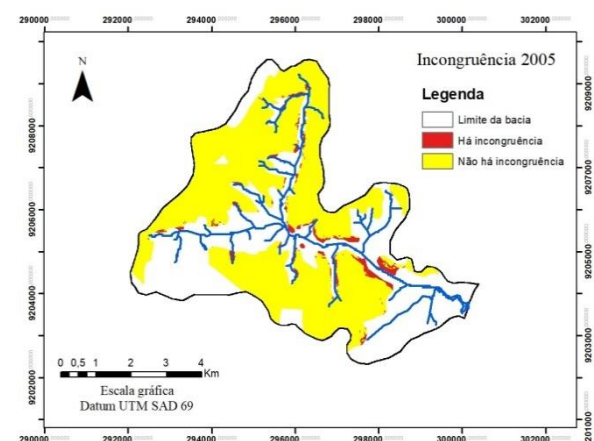
Para Silva (2002), os riscos ambientais podem ser considerados decorrentes de diversos tipos de atividades humanas. No presente trabalho são considerados os riscos existentes na área sob estudo, a partir da ocupação urbana e todos os problemas que podem advir dessa ocupação em áreas com características físicas que não suportem esse tipo de ocupação.

Figura 6 - Mapa de incongruência de uso do solo no ano 1985



Fonte: Dados da Pesquisa.

Figura 7 - Mapa de incongruência de uso do solo no ano 2005



Fonte: Dados da Pesquisa.

Considerações finais

O artigo apresentou uma análise do risco ambiental em bacias hidrográficas utilizando SIG. Os resultados mostraram a existência de problemas ambientais na bacia do rio Cuiá, resultantes dos diferentes tipos de ocupação existentes na área, como a ocupação indevida das áreas de nascente



do rio Cuiá e de seus afluentes, a ocupação das vertentes, das áreas de falésia e da planície de inundação, fatos observados nos mapas de incongruência do uso do solo de 1985 e 2005.

As características naturais da área apresentam condições de abrigar uma ocupação urbana, desde que corretamente orientada. Essa ocupação urbana pode ocorrer em áreas de tabuleiros costeiros com uma inclinação entre 0 e 3%.

De acordo com os procedimentos técnicos e metodológicos aplicados, verifica-se que os mapas obtidos em ambiente SIG podem auxiliar na tomada de decisão com relação as possíveis áreas que podem ou não ser destinadas para ocupação, principalmente em bacias urbanas, onde a dinâmica de uso e ocupação é sempre significativa.

Referências

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento Exploratório e de Reconhecimento dos Solos do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro. Convênio MA/CONTA/USAID/BRASIL, 1972 (Boletins DPFS-EPE-MA, 15 - Pedologia, 8).

CENTENO J.A.S, ANTUNES A.F.B, TREVISAN S, CORREA F. Mapeamento de áreas permeáveis usando uma metodologia orientada a regiões e imagens de alta resolução. **Revista Brasileira de Cartografia** 2003; 55(1):48-56.

EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Levantamento e reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Curitiba, 1984. (Boletim técnico, 57).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, Embrapa Produção de Informação, 1999. 412 p.

PARAÍBA - Secretaria da Educação - UFPB. **Atlas geográfico da Paraíba**. João Pessoa. Grafset, 1985.

LIMA, S. F. de, ÁGUAS, T. de A, COSTA, K. C. P. **Uso de Geotecnologias para análise ambiental da bacia hidrográfica do córrego Santa Fé**. forum_ambiental. V 11. N 05, 2015. Disponível em:<http://amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/viewFile/1184/1207> acessado em: 25 de outubro de 2019.

LOPES, E.R.N.; SOUZA, J.C.; ALBUQUERQUE FILHO, J.L.; LOURENÇO, R.W. Gestão de bacias hidrográficas na perspectiva espacial e socioambiental. **Economia, sociedad y territorio**. v.20, nº 62, 2020. <http://dx.doi.org/10.22136/est20201353>

MABESOONE, J. M. & ALHEIROS, M. M. 1988. Origem da bacia sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba. **Rev. Bras. Geoc.** São Paulo. 18(4):476-482.



SILVA, L. P.; XAVIER, A. P. C.; LIMA, E. R. V. De. Tecnologias de Geoinformação na análise espacial de riscos ambientais na bacia hidrográfica do rio Cuiá (2021).

MELO, N. A. **Diagnóstico Geoambiental da bacia hidrográfica do rio Cuiá - João Pessoa/PB.** Dissertação (Mestrado) UFPE, Recife, 2001.

PEREIRA, F.M.S.; ARAÚJO, S.H.; CUNICO, C. Mapeamento de áreas propensas ao risco ambiental no Município de Santa Rita (PB) pelo uso de Sistema de Informações. **Revista Regne**. V.5, Nº Especial, 2019.

SILVA, J. **Geoprocessamento para análise ambiental:** Rio de Janeiro: Edição do Autor.2001.

SILVA, L. P. e. **Análise espacial de riscos ambientais na bacia do rio Cuiá através de técnicas de geoprocessamento** - João Pessoa, 2002. Monografia de graduação (Geografia) - Universidade Federal da Paraíba/ UFPB Campus I, João Pessoa - PB. 57p.

SILVA, L.P.; SANTOS, C.A.G; LIMA, E.R.V. **Aplicação de Geoprocessamento no monitoramento da dinâmica do uso do solo da bacia do rio Cuiá em João Pessoa-PB.** In: 3 Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, Aracajú, 2006.

SILVA, L. P. e; SANTOS, C. G. Análise espacial dos riscos de erosão e inundação na bacia do rio Cuiá. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 15, p. 21-32, 2010.

SILVA, M. C. M.; AZEVEDO, V. C. F.; LEITE, E. P. F. **Mapeamento e análise do uso e ocupação do solo da bacia do rio Cuiá a partir de imagem do satélite quickbird.** In: V Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica, 2010, Maceió - AL. V Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica - CONNEPI - 2010, 2010.

VALLE, I. C.; FRANCELINO, M. R.; PINHEIRO, H. S. K. Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ. **Floresta Ambient.** [online]. 2016, vol.23, n.2, pp.295-308. Epub Apr 01, 2016. ISSN 1415-0980. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.107714>.