ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>

Dinâmica da paisagem da bacia hidrográfica do rio Itapecuru - MA

Yata Anderson gonzaga masullo- Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos - IMESC, Autor Correspondente, email: yanderson3@hotmail.com, Leonardo Silva Soares- Universidade Federal do Maranhão - UFMA, Claudio Eduardo de Castro- Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, Elison André Leal Pinheiro- Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos - IMESC

Artigo recebido em 12/02/2019 e aceito em 22/05/2019

RESUMO

A paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados, mas sim o resultado da combinação dinâmica dos elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto singular em constante evolução (Bertrand, 2004). Diante das inúmeras atividades que produzem e ao mesmo tempo reproduzem a paisagem, faz-se necessário refletir sobre estratégias de planejamento, gestão e conservação do patrimônio natural e cultural. Observa-se nas bacias hidrográficas, a possibilidade de construir um importante instrumento de planejamento e ordenamento territorial em um contexto regional, conforme expõe a Lei Federal N° 9.433/1997 (Lei das Águas). Sob essas perspectivas a presente pesquisa surge com o objetivo de analisar a dinâmica espacial e temporal da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, a partir do processamento de imagens e do emprego de métricas da paisagem como CA (área das classes), MPS (Tamanho Médio da Classe) e NUMP (Número do Fragmento), MSI (índice de Forma Médio) SHDI (índice de diversidade Shannon). Desse modo foi possível identificar que por ano cerca de 53,5 mil hectares em média, são convertidas em pastagem ou áreas destinadas a agricultura na bacia do rio Itapecuru. Ao mesmo tempo nota-se que entre 1990 e 2016, registrou-se elevação de 5 pontos percentuais – pp de área edificada, enquanto identifica-se redução de 29,5 pp na área coberta por vegetação arbórea e mata ciliar.

Palavras chaves: Paisagem; Processamento de Imagens; Métricas; Rio Itapecuru.

Landscape dynamics of the Itapecuru river basin – MA

ABSTRACT

The landscape is not simply the addition of disparate geographical elements, but rather the result of the dynamic combination of physical, biological and anthropic elements that, by reacting dialectically with each other, make the landscape a singular, constantly evolving set (Bertrand, 2004). Given the numerous activities that produce and at the same time reproduce the landscape, it is necessary to reflect on strategies for planning, management and conservation of natural and cultural heritage. It is observed in the hydrographic basins the possibility of constructing an important instrument of planning and territorial planning in a regional context, as set forth in Federal Law N° 9.433 / 1997 (Water Law). Under these perspectives the present research arises with the objective of analyzing the spatial and temporal dynamics of the Itapecuru river basin, from image processing and the use of landscape metrics such as CA (area of classes), MPS Class) and NUMP (Fragment Number), MSI (Medium Shape Index) SHDI (Shannon diversity index). In this way it was possible to identify that about 53,500 hectares per year are converted into pasture or areas for agriculture in the Itapecuru river basin. At the same time, between 1990 and 2016, there was an increase of 5 percentage points - pp of constructed area, while a reduction of 29,5 pp in the area covered by tree vegetation and ciliary forest was identified.

Keywords: Landscape; Image processing; Metrics; Itapecuru River.

Introdução

Entre as questões mais relevantes no âmbito do planejamento em nível de bacia hidrográfica, destaca-se a necessidade de se ampliar os instrumentos de ordenamento institucional e territorial. Essa perspectiva apresenta diversas questões que se colocam em escala supramunicipal, exigindo uma abordagem mais

abrangente, no que tange a gestão integrada dos recursos hídricos e sua relevância para efetivação de políticas públicas (Botelho e Da Silva, 2004; Vorovencii, 2015).

Notadamente a esfera administrativa do município é a mais próxima da realidade social, entretanto sua escala de atuação não permite uma

visão sistêmica do território no qual está inserida. Corroborando com essa perspectiva Castro Júnior et al. (2009) demonstram que é na escala local que ocorrem as relações socioespaciais e o exercício do poder, e são a partir dos fluxos de material/informação, das ações de coerção e de ordenamento territorial, que se formam as múltiplas territorialidades da realidade multifacetada brasileira.

Nesta realidade complexa, encontra-se a bacia hidrográfica do rio Itapecuru. Sua área abrange cerca de 56 municípios do Maranhão, entre esses 39 possuem a sede localizada na bacia e 11 destas são localizadas as margens do rio, sendo: Mirador, Colinas, Caxias, Codó, Timbiras, Coroatá, Pirapemas, Cantanhêde, Itapecuru-Mirim, Santa Rita e Rosário. Nessa bacia, contabiliza-se mais de 1,2 milhões de habitantes, o que representa 17,5% da população do estado (IBGE, 2016).

Ao longo da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, observa-se principalmente nas últimas três décadas a ampliação das atividades econômicas. Esse crescimento impulsiona o avanço da urbanização das cidades em suas margens, que sem o devido ordenamento territorial e planejamento hídrico, ocasionam a supressão das áreas verdes, redução da biodiversidade, processos erosivos, a ocorrência de inundações e o assoreamento do rio e seus afluentes, além da deterioração da qualidade da água e a ampliação das áreas de risco. Tal cenário, reflete diretamente na qualidade de vida das pessoas, especialmente aquelas de menor poder aquisitivo e que vivem da subsistência dos recursos naturais.

Dentro desta perspectiva, o monitoramento destas áreas se torna de fundamental importância para o planejamento e gestão do território através da adaptação de propostas metodológicas para o desenvolvimento de indicadores mensuráveis e processados através de técnicas interligadas ao Sistema de Informação Geográfico - SIG, como constaram Luiz et al. (2016); Argyriou et al. (2016), Silva et al. (2017); Siani et al. (2017) e Borges et al. (2018).

Originário desse contexto, a presente pesquisa desenvolve-se com a finalidade de mapear e analisar a dinâmica espaço-temporal de uso e ocupação da terra da BH do rio Itapecuru. Para tanto, este artigo estrutura-se a partir da caracterização das formas de uso e sua importância,

posteriormente descreve-se os procedimentos metodológicos que direcionaram a avaliação e análise do nível de fragmentação da paisagem, a partir das dimensões de índices de forma, densidade, tamanho e diversidade.

Material e métodos

Área de Estudo

A BH do rio Itapecuru possui uma área de 53.216,84 km², correspondendo a 16% da área do estado (Figura 01). A bacia nasce no sul do Maranhão no sistema formado pelas Serras da Croeira, Itapecuru e Alpercatas, em altitude de aproximadamente 530 m, desaguando na baía do Arraial (sudeste da Ilha do Maranhão), depois de percorrer cerca de 1.050 km. Os principais afluentes pela margem direita são os rios Correntes, Pirapemas, Itapecuruzinho, e os riachos Seco, do Ouro, Gameleira, Cachimbo e Guariba. Pela margem esquerda destacam-se e os rios Alpercatas, Peritoró, Pacumã, Baixão do Vigia, Baixão da Bandeira, Douradinho, Olho D' água, Codozinho, dos Porcos, e Igarapé Grande, além dos riachos, São Felinha, da Prata e dos Cocos (NUGEO, 2009).

Através do sistema de abastecimento ITALUÍS, aproximadamente 2,00 m³/s da água da BH é captada para o fornecimento de mais de 1,6 milhões de pessoas da Região Metropolitana da Grande São Luís (CAEMA, 2016; IBGE, 2016). Convém ressaltar a existência de populações tradicionais na região da Bacia do Itapecuru como Terras Indígenas - TI, quilombolas, ribeirinhos e assentamentos, além de contar com o Parque Estadual do Mirador criado em 1980, com o intuito de proteger as nascentes dos rios Alpercatas e Itapecuru.

Entre as TIs nota-se a presença das tribos Kanela, Porquinhos dos Canela-Apanjekra, Kanela-Buriti Velho no alto curso do rio, situadas nos municípios de Barra do Corda e Fernando Falcão. Frisa-se que 4.200 km² da bacia do Itapecuru são ocupados por cerca de 130 assentamentos rurais e áreas quilombolas, localizadas com maior predominância entre o baixo e médio curso.

Figura 01. Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Itapecuru.

Procedimentos Técnicos

Com o propósito de alcançar os objetivos da pesquisa, estrutura-se uma abordagem sistêmica¹. Os procedimentos técnicos se estruturaram a partir da adaptação das metodologias consolidadas por Mcgarigal e Marks (1995); Rossi et al. (2008); Walz (2011); Batista (2014); Meyer (2015) e Pôssa et al. (2018). Dessa forma analisa-se a dinâmica da paisagem da BH do rio Itapecuru através de três características fundamentais: composição, estrutura e função². Ressalta-se que os procedimentos técnicos empregados foram divididos em 4 etapas: A) Delimitação e Setorização da Bacia Hidrográfica do Itapecuru; B) Processamento de Dados de Uso e Cobertura da Terra; C) Pós-processamento e Validação dos

Dados; D) Cálculo de métricas e fragmentos da paisagem. Isso tornou possível a mensuração e validação de variáveis associados aos fenômenos em estudo, para posterior reprodução e comparação.

A: Delimitação e Setorização da Bacia Hidrográfica do Itapecuru

A setorização da bacia hidrográfica foi sistematizada em baixo, médio e alto curso. Essa delimitação ocorreu a partir da geração do perfil longitudinal, com o objetivo de representar a declividade da área, através dos estudos entre altimetria e comprimento do curso d'água (Oliveira et al., 2010). Tais análises foram desenvolvidas da nascente até a foz, considerando as confluências

¹ De forma inclusiva, a abordagem sistêmica considera indissociável a dinâmica humana, dos sistemas sociais, políticos e econômicos, abrangendo dessa forma valores intrínsecos, instrumentais e relacionais (D'iaz et al., 2015). Assim a análise sistêmica se baseia na relação entre a natureza, economia, sociedade e a cultura, em um contexto amplificado, onde inúmeras variáveis representam a relação da natureza como um sistema e dela com o homem (Rodríguez et al., 2007).

² Composição descreve a individualidade e variedade de elementos, tais como unidades de uso da terra ou espécies dentro de uma região. Estrutura, refere-se ao arranjo ou a construção de unidades, a distribuição de elementos e sua relação uns com os outros. Função, abrange todos os processos, tais como tendências demográficas, ciclos de material ou distúrbios (Lipp, 2009).

com os rios afluentes seguindo as diretrizes expostas por Oliveira et al. (2018).

Para obtenção do perfil longitudinal da área de estudo utilizou-se informações coletadas pela *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), cedidas pelo *United States Geological Survey* (USGS) com resolução espacial de 30m. A partir da extração e análise dos dados das imagens de radar SRTM, foram gerados os cálculos das variáveis topográficas (Modelo Digital de Elevação - MDE), curvas de nível e o posterior cruzamento das informações altimétricas e de declividade.

A representação do MDE, possibilitou a interpolação das curvas de nível e pontos cotados adquiridos através da geração de malhas numéricas. Primeiramente utilizou-se o método de triangulação Delaunay, por meio de interpolador linear gerou-se a grade retangular, em seguida construiu-se a matriz contendo os valores interpolados para cada pixel onde há ausência de dados. Após esse processo os limites das sub-bacias, foram delimitados pela análise dos topos das curvas de nível. Como resultado desse processo, foram elaborados os mapas hipsométrico declividade e rede de drenagem, que se constituíram como informações de base para a caracterização morfométrica das sub-bacias do rio Itapecuru.

Para tornar possível a comparação entre as diversas fontes de dados traçou-se o perfil topográfico, de acordo com a morfologia do terreno, de modo que fosse representado os diferentes compartimentos: topo do morro, encosta e fundo do vale, uma vez que a avaliação deve

abranger diferentes morfologias do terreno, conforme Marion et al. (2011).

B: Processamento de Dados de Uso e Cobertura da Terra

Em relação aos dados de uso e cobertura da terra, estes foram analisadas por setor da bacia hidrográfica (baixo, médio e alto curso). Essas informações foram obtidas através de processamento de imagens e aplicação das métricas de paisagem, com o intuito de identificar os padrões de uso e cobertura da terra, correlacionado as classes de uso adaptadas do projeto *TerraClass*. Os dados foram obtidos através do processamento digital das imagens dos satélites *LANDSAT 5* e *LANDSAT 8*, com 30 metros de resolução espacial, cedidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. As variáveis processadas foram extraídas de imagens referente aos anos de 1990, 2000 e 2016.

Como parte do processo foram utilizados os seguintes procedimentos:

1) as imagens foram mosaicadas com auxílio de ferramentas digitais de balanceamento de cores, alteração dos efeitos de *background* e suavização das bordas considerando o contraste e a correção geométrica e atmosférica de cada uma das bandas multiespectrais. Em seguida, realizou-se uma combinação de bandas para elucidação dos alvos em estudo, de acordo com a especificidade de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do Itapecuru: área urbana e mosaico de ocupações, floresta, vegetação aberta, corpos hídricos, área não – observada, sedimentos arenosos (Quadro 01).

Quadro 01: Classes de Uso e Cobertura da Terra.

Classe	Descrição	Imagens
Área Urbana	Manchas urbanas decorrentes da concentração populacional formadora de lugarejos, vilas ou cidades que apresentam infraestrutura diferenciada da área rural apresentando adensamento de arruamentos, casas, prédios e outros equipamentos públicos.
Mosaico de Ocupações	Áreas representadas por uma associação de diversas modalidades de uso da terra, formado principalmente por povoados, distritos rurais e solo exposto.
Floresta	Áreas com vegetação florestal, com predominância de vegetação arbustiva e/ou arbórea.
Vegetação Aberta	Áreas com predominância de vegetação herbácea.

Corpos Hídricos	Área sobrepostas por cursos d'água (mar, rios, riachos e açudes)
Área não - observada	Áreas que tiveram sua interpretação impossibilitada pela presença de nuvens ou sombra de nuvens, no momento de passagem para aquisição das imagens de satélite.
Área Agropastoril	Área com predominância de atividades agrícolas e agropecuárias

2) o processamento e classificação supervisionada foram executadas segundo Nascimento et al. (2016), a partir de um sistema de amostragem por regiões, onde utilizou-se a informação espectral de cada "pixel", atrelado aos dados espaciais que envolvem a relação com seus vizinhos, neste processo foi utilizado o classificador Máxima Verossimilhança (MaxVer).

3) criação de chave de interpretação para cada uma das classes contendo: Forma, cor, contexto, textura, tamanho e utilização de técnicas agrupamento e agregação para construção de banco de dados em formato shapefile e geodatabase com base compatibilizada e servidor integrado, originando um conjunto de dados vetoriais e matriciais para publicação via web, potencializando o entendimento e a utilização de seus conteúdos geográficos;

4) coleta de dados *in loco* para dirimir dúvidas da fotointerpretação; fazer registros fotográficos com o uso de drone (DJI Phantom 4 pro) e GPS etrex 35, além de realizar entrevistas junto à comunidade local e gestores municipais;

5) sobreposição de *Layers* (camadas), para realização de testes estatísticos e apuração da eficácia das técnicas metodológicas empregadas no processamento dos dados, resultando na confecção dos *layouts* finais dos mapas temáticos.

C: Pós-processamento e Validação dos Dados

Após o processamento das imagens realizou-se primeiramente a etapa de correção e tratamento das informações por meio da construção de uma matriz de confusão para avaliação da precisão do processamento. Essa técnica representa a distribuição de porcentagens de pixels classificados de forma correta ou erroneamente (Fantinel et al., 2012). A utilização da técnica do coeficiente Kappa foi estruturado

através do *software* QGIS 2.18 com o intuito de demonstrar os elementos de maior e menor concordância a partir da matriz de confusão. Após o processo, as imagens foram selecionadas, classificadas e validadas com desempenho acima de 70% de confiança, com recorte do plano de informação utilizando os limites da área em estudo.

D: Cálculo de métricas e fragmentos da paisagem

Para o cálculo das métricas de paisagem, agregou-se as classes anteriormente divididas, através da extensão *Patch Analyst do software* Arc Gis 10.6. Como condição para sua aplicação, a imagem classificada em formato matricial (*Raster*) foi convertida para o formato vetorial (*Shapefile*), e em seguida realizou-se o cálculo de índices referentes à área, tamanho, forma e diversidade.

No quadro 03 a seguir estão relacionadas as métricas analisadas:

Quadro 3: Métricas utilizadas para caracterização da paisagem na bacia do rio Itapecuru, Maranhão.

SIGLA	MÉTRICA	UNIDADE	CÁLCULO
CA	Área da Classe	Km ²	$CA = \sum_{j=1}^n ci$
MPS	Tamanho médio da classe	Km ²	$MPS = \frac{\sum_{j=1}^n aij}{ni}$
NUMP	Número do fragmento	Km ²	$NUMP = \sum_{i=1}^n ni$
MSI	Índice de forma médio	Adimensional	$MSI = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{0.25pij}{\sqrt{aij}}}{ni}$
SHDI	Índice de Diversidade Shannon	Adimensional	$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$

Fonte: Mcgarigal e Marks, 1995; Walz, 2011; Vorovencii, 2015; Melo, 2016.

Referente ao cálculo da área das classes (CA), o mesmo foi procedido com a finalidade de quantificar o percentual da área Urbanizada/Mosaico de Ocupações, Floresta, Vegetação Aberta e a Área Natural não vegetado. Com o objetivo de demonstrar o grau de alteração na paisagem, foram analisados o percentual da área onde está mantida a cobertura vegetal e a dinâmica natural de áreas não vegetadas como praias fluviais, afloramentos rochosos.

Relativo ao grupo densidade e tamanho foram selecionadas as métricas MPS (Tamanho Médio da Classe) e NUMP (Número do Fragmento), por repassarem informações correlatas ao grau de fragmentação e heterogeneidade dos fragmentos, possibilitando a análise abrangente da configuração da paisagem, a partir da caracterização dos fragmentos da área de estudo (Melo et al., 2016).

A métrica MSI (índice de Forma Médio) demonstra o grau de alteração da região analisada, a partir da forma dos fragmentos da paisagem, mensurando a complexidade da forma comparada a um círculo (características naturais) ou a um quadrado (características antropizadas). Essa técnica, permite a análise do nível de resiliência e consequentemente a suscetibilidade ambiental (Walz, 2011).

Em referência as métricas de diversidade, estas são influenciadas pela riqueza de classes e uniformidade. O índice de diversidade Shannon - SHDI, é um indicador sintético que procura fornecer a quantidade de informações por fragmento da paisagem, o mesmo é usado como um índice relativo para comparar paisagens diferentes ou a mesma paisagem em momentos diferentes (Mcgarigal e Marks, 1995).

Resultados e Análises

Dinâmica espacial de uso e ocupação da bacia do rio Itapecuru

As bacias hidrográficas como uma unidade da paisagem são caracterizadas pela homogeneidade, formada pela interação dos

elementos que a compõem, contudo está dita uniformidade, delimita-se a partir da escala de análise e consequentemente nível de interação. Conforme Lambin e Meyfroidt (2010) e Leite (2015) pode-se visualizar os elementos e suas relações, em escalas locais ou regionais, avaliando suas especificidades e complexidades a partir da ação conjunta dos fatores, componentes e processos no tempo e no espaço, construindo dessa forma a dinâmica da paisagem.

Sob essa perspectiva observa-se alterações na dinâmica da paisagem na bacia do rio Itapecuru, decorrentes da ocupação desordenada do alto ao baixo curso que se configuram em diferentes modelos (Figura 02). Ressalta-se que a fragmentação³ e destruição de áreas de florestas, decorrentes do aumento de áreas de pastagens, de cultivos agrícolas (principalmente monoculturas) e da expansão urbana influenciaram diretamente a perda de habitat e, consequentemente, o isolamento e diminuição da oferta de recursos.

A partir de 1980, passa-se a identificar ampliação das mudanças socioeconômicas em diversas regiões do Maranhão, como resultado da instalação de grandes empresas como VALE, ALUMAR e SUZANO Papel e Celulose, além da expansão do agronegócio (soja, eucalipto e criação de bovinos). Com a consolidação desse cenário, nos anos 2000 houve maior dispersão da ocupação principalmente na região entre o baixo e médio curso, com destaque para a faixa entre a região metropolitana da Grande São Luís e os municípios de Itapecuru-Mirim, Coroatá, Codó e Caxias.

O cenário apresentado resultou do crescimento da fragmentação da paisagem em escala local e regional, com destaque para ampliação dos conflitos fundiários e para o abastecimento das cidades. Tal processo histórico de ocupação explica parte do quadro atual de uso da terra da área estudada.

No período analisado (1990 e 2016), foi possível notar o largo crescimento da urbanização, mas sobretudo das áreas destinadas as atividades ligadas a pecuária e agricultura, consolidando a tendência para transição gradual do estrato arbóreo (floresta) para arbustivo e herbáceo (vegetação aberta).

³ A fragmentação da paisagem, é um processo através do qual uma matriz de paisagem é dividida em vários componentes menores e isolados (Batistella et al., 2003).

Esse cenário é compatível com o crescimento vertiginoso da produção de grãos e bovinos, fato que projeta amazônica como a principal frente de expansão das atividades agropecuárias brasileiras, associando-se diretamente a intensificação do desflorestamento da região como identificado pelo Ipea (2013).

Com base nas propriedades espaço-temporais dos complexos territoriais, observa-se essa realidade como resultado de ações sociais e econômicas, pois sempre resultam da observação e das políticas regionais sobre o ambiente ao longo do tempo (Rodriguez et al., 2007).

Figura 02: Mapa de uso e ocupação da Bacia do rio Itapecuru 1990, 2000 e 2016.

Para avaliar esse processo, as métricas selecionadas tem por base o conceito de que grandes áreas, devem ter maior variação ambiental e consequentemente maior biodiversidade (Metzger, 1999). Ressalta-se que as métricas empregadas para análise, seguem conceitos interdependentes que permitem correlações independente dos fragmentos. Isso possibilita analisar a estrutura da paisagem através da quantificação e qualificação de padrões determinados pelo tipo de uso, mas também pela sua estrutura, ou seja, o tamanho, forma, disposição e distribuição de elementos das paisagens (Tabela 01).

Tabela 01: Comparativo percentual de tipos de uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru, 1990 a 2016.

CLASSE	1990 (%)	2000 (%)	2016 (%)
Mata ciliar	21,9	17,3	16,5
Agropastoril	10,7	12,9	14,2
Vegetação aberta	21,9	33,5	45
Floresta	41,1	27,9	17
Solo exposto	3	4,8	1,4
Área edificada	0,7	2,2	5,7

As feições vegetação aberta e por atividades agrícolas e pecuária foram o padrão de uso que mais registraram crescimento aproximadamente 26,6 pp⁴, bem como foram as classes mais comuns identificadas em campo e rotulado pela classificação. Isso significa que por ano cerca de 535 km² ou 53,5 mil hectares em média, são convertidas em pastagem ou áreas destinadas a agricultura na bacia do rio Itapecuru, indicando a importância do segmento do agronegócio no cenário produtivo local. Ao mesmo tempo nota-se no período analisado, elevação de 5 pp de área edificada, enquanto identifica-se redução de 29,5 pp na área coberta por vegetação arbórea e mata ciliar.

A Figura 03 apresenta as alterações nos elementos da paisagem na BH do rio Itapecuru, comparativamente entre período de 1990 a 2016. No que tange a forma dos fragmentos observa-se o grau de alteração da região, através da quantificação e mensuração do nível de regularidade/irregularidade dos fragmentos. O índice de forma⁵ (MSI) representa a relação perímetro/área do fragmento florestal, esta métrica mostra o índice igual a 1 (um) quando todas as manchas forem circulares e aumenta com a crescente irregularidade da forma da mancha. Assim quanto menor o valor de relação, maior será a área do fragmento florestal ou seja, quanto mais recortado e com menos área, maior o valor deste índice (Mcgarigal e Marks, 1995; Juvanhol et al., 2011).

A partir dos dados processados, observa-se que em geral, tendências à ampliação de fragmentos irregulares, com exceção da cobertura florestal que registrou em 1990 índice de forma de 1,34 e em 2016 de 1,32. Enquanto que o MSI da área edificada se amplia com a expansão da urbanização, ampliando de 1,28 em 1990 para 1,87 em 2016.

Em relação ao MPS (tamanho médio do fragmento), essa métrica resulta da soma do tamanho das manchas dividido pelo número de manchas, enquanto que o NUMP (número de fragmentos) apresenta o número total de manchas na paisagem/classe (Juvanhol et al., 2011). A correlação destas métricas apresenta uma maior/menor fragmentação ao nível da paisagem, indicando tendências para alterações da cobertura da terra e padrões espaciais que afetam a diversidade ecossistêmica, determinadas principalmente pela fragmentação de pastagens e monoculturas, bem como por avanços da urbanização (Knapp, 2008).

⁴ Pontos Percentuais – PP é a diferença, em valores, entre duas porcentagens.

⁵ Segundo Vorovencii (2015), esta técnica pode ser utilizada para analisar os dados de uso e cobertura da terra em diferentes

perspectivas, por ser um indicador sensível da biodiversidade, além de representar a complexidade geométrica da paisagem, especialmente em paisagens transformadas pela agricultura e agropecuária.

Figura 03: Gráfico de Métricas da Paisagem da bacia do Itaipucu.

Conforme McGarigal e Marks (1995) paisagens que apresentam menores valores para o tamanho médio de fragmentos, devem ser consideradas como mais fragmentadas. Ressalta-se que quando o MPS aumenta, observa-se uma convergência a homogeneização e quando este diminui há uma maior fragmentação, o que pode ser confirmado com a utilização do NUMP. Ou seja, se há elevação do MPS, existe uma tendência a redução do NUMP.

A partir desse entendimento, quando se analisa especificamente o MPS e NUMP da bacia hidrográfica do Itaipucu, observa-se aumento significativo do MPS da vegetação aberta. Ao passo que se registra redução em mesma proporção do tamanho médio dos fragmentos da cobertura florestal e da mata ciliar. Isso demonstra ampliação do isolamento das formações e populações remanescentes, alterações nos fluxos gênicos, intensificação das competições intra e

interespecíficas, alterações da estrutura e qualidade de habitats, extinções de espécies e perda de biodiversidade (Primack e Rodrigues, 2001; Pressey et al. 2015).

Análise espaço-temporal setorializada da bacia hidrográfica do rio Itaipucu

Atualmente os limites naturais tornam-se dinâmicos e flexíveis e as bacia hidrográficas, passam a constituir um território de vivência, de conflitos e de organização de novas relações sociais (Pinheiro et al., 2009). Desse modo as alterações visualizadas na dinâmica da paisagem na BH do rio Itaipucu, demonstram a necessidade de se planejar o ordenamento territorial, bem como otimizar os mecanismos e instrumentos de gestão para a conservação e proteção do ambiente natural e sociocultural. Desse modo, segue-se ampliando a

escala análise através da seguimentação do rio Itapecuru em alto, médio e baixo curso.

Alto Curso da bacia do rio Itapecuru

A região do alto curso⁶ da BH do rio Itapecuru, abrange aproximadamente 14,925 km², representando cerca de 28,1% da bacia hidrográfica. Dividida em 2 sub-bacias (Alpercatas e Alto Itapecuru), abrange 14 municípios (Tabela 02). O alto curso, é a região com o menor quantitativo populacional do Itapecuru, contabilizando aproximadamente 75 mil habitantes segundo dados do IBGE.

Tabela 2: Relação de municípios e percentual de abrangência na região do Alto Curso da bacia hidrográfica do Itapecuru.

MUNICÍPIOS	%
Colinas	3,2
Fernando falcão	13,4
Formosa da Serra Negra	1,9
Jatobá	0,5
Loreto	3,4
Mirador	55,9
Pastos bons	2,9
Sambaíba	0,7
São Domingos do Azeitão	3,7
São Domingos do Maranhão	0,01
São Félix de Balsas	2,0
São Raimundo das Mangabeiras	2,9
Sucupira do Norte	6,5
Tuntum	3,1

Esse reduzido contingente populacional no alto curso, ocorre em função da presença de áreas protegidas como terras indígenas e o Parque Estadual do Mirador, que ocupa aproximadamente 1/3 do alto curso da BH do Itapecuru. O presente estudo, identificou relativa contenção dos avanços

do agronegócio com registro de crescimento de área agrícolas de 4,4 pp, enquanto foi possível identificar decréscimo da cobertura florestal equivalente a 2,4 pp, entre 1990 e 2016 (Tabela 03).

Tabela 03: Comparativo percentual de tipos de uso e cobertura da terra no alto curso da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru, 1990 a 2016.

CLASSE	1990 (%)	2000 (%)	2016 (%)
MATA CILIAR	17,5	27,2	9,3
AGROPASTORIL	7,9	17,8	12,3
VEGETAÇÃO ABERTA	40,9	35,2	41
FLORESTA	26,7	6,9	24,3
SOLO EXPOSTO	5,8	0,5	11,8
ÁREA EDIFICADA	0,1	0,5	0,7

Nos últimos anos vem se acentuando o crescimento do solo exposto na ordem de 6 pp, com destaque para as margens do rio Alpercatas e Itapecuru, como resultado da diminuição de 8,2 pp da mata ciliar no período analisado. Destaca-se nesse contexto a abertura de áreas lazer (bares) e construções de moradias as margens do rio. Outro aspecto que possibilita essa redução da mata ciliar é o avanço de áreas destinadas a criação de bovinos, o que compromete consideravelmente a qualidade hídrica local.

A partir dos dados processados, observa-se que o MSI demonstra redução dos fragmentos irregulares, com exceção dos fragmentos de área edificada, registrando em 1990 índice de forma de 1,35 e em 2016 de 1,40. Ressalta-se que esse MSI foi o menor deste tipo de feição identificado ao longo da bacia (Figura 04).

⁶ Conforme Leinz e Amaral (1990), o alto curso das bacias hidrográficas se caracterizam pela sua proximidade as nascentes, sendo mais influenciado pela

velocidade do fluxo das águas do que por seu volume. Nestas áreas, predomina-se atividades erosivas e, portanto, de produção e transporte de sedimentos.

Figura 04: Gráfico de Métricas da Paisagem do alto curso da Bacia do Itapecuru, 1990, 2000 e 2016.

Referente ao tamanho médio e número dos fragmentos, observa-se redução significativa do MPS e aumento do número de fragmentos da cobertura florestal, demonstrando que mesmo com a conservação da área com a presença de florestas, a região vem passando por transformações constantes. Os resultados referentes à fragmentação da paisagem identificados, são comparáveis aos resultados de outras áreas, onde a fragmentação está aumentando independentemente do ganho ou perda de floresta como apresentado em Bracchetti et al. (2011); Martinez del Castillo et al. (2015) e Masullo et al. (2018).

Outro aspecto a destacar é o significativo aumento do MPS e do NUMP dos fragmentos com área edificada e vegetação aberta, resultado do avanço das áreas destinadas a agricultura extensiva e da consolidação de povoados as margens do rio Alpercatas e Itapecuru (Figura 05).

Assim como Santos e Martins (2018), constata-se que a difusão da agricultura extensiva e

monoculturas as margens de grandes rios, se justifica devido à possibilidade de mecanização das lavouras e o acesso às fontes hídricas. Atualmente, extensas áreas dos interflúvios são utilizadas para agricultura comercial, para atender a demanda internacional atualmente, complexificando a preservação dos patrimônios biológicos do cerrado nas áreas de bacias.

Figura 05: Plantação de Cana no alto curso do Itapecuru, São Raimundo das Mangabeiras - MA.

Fonte: IMESC, 2017.

Destaca-se que o PE do Mirador, se tornou uma fronteira agrícola para fazendeiros e empresários, tendo em vista que a região centro sul do Maranhão, possui solo favorável ao desenvolvimento das atividades ligadas a produção agrícola. Na região identifica-se formação geológica Mosquito, esse tipo de formação, possui composição formada por basalto que resulta em solo argiloso e eutrófico com argila 2 para 1. Essa composição possibilita alta rentabilidade para agricultura de soja, cana, milho e eucalipto.

O que favorece a expansão da produção de grãos na região são fatores como: 1) regularidade de chuvas e alta incidência de luz; 2) solos de alta fertilidade; 3) viabilidade de produzir duas ou mais safras anuais; c) escoamento de produção para o mercado internacional através do terminal do Porto do Itaqui.

Contudo deve-se é importante frisar que o nível de restrições de uso do Parque Estadual do Mirador, possibilitou a contenção dos avanços das atividades do agronegócio na região, o que amplia a resiliência e conservou as práticas socioculturais da comunidade local.

Médio Curso da bacia do rio Itapecuru

A região do médio curso⁷ da BH do rio Itapecuru, abrange aproximadamente 26,110 km², representando cerca de 49,2% da bacia hidrográfica. Dividida em 8 sub-bacias (Rio Corrente, Rio Pacumã, Itapecuruzinho, Riacho Pra Que, Riacho Douradinho, Rio Limpeza, Riacho Riachão e Rio Codozinho), abrangendo 29 municípios (Tabela 04). Nesta faixa da bacia registra-se o maior quantitativo populacional do Itapecuru, contabilizando aproximadamente 690 mil habitantes segundo dados do IBGE.

Tabela 04: Relação de municípios e percentual de abrangência na região do médio curso da bacia hidrográfica do Itapecuru.

MUNICÍPIOS	%
Aldeias Altas	1
Buriti Bravo	6,1
Capinzal do Norte	1,7

⁷ O médio curso de uma bacia hidrográfica se caracteriza por menor declividade em relação ao alto curso, o que implica na diminuição da velocidade do fluxo das águas, ocasionando a maior deposição de fragmentos e

Caxias	13
Codó	12
Colinas	5,8
Coroatá	0,2
Dom Pedro	1,2
Fortuna	2,7
Gonçalves Dias	3,3
Governador Archer	1,7
Governador Eugênio Barros	3,1
Governador Luiz Rocha	1,4
Graça Aranha	1
Jatobá	2,3
Lagoa do Mato	4
Matões	5,4
Mirador	0,4
Paraibano	2
Parnarama	11
Passagem Franca	5,2
Pastos Bons	2,4
Peritoró	0,2
Santo Antônio dos Lopes	0,2
São Domingos do Maranhão	4,4
São Francisco do Maranhão	0,2
São João do Soter	5,5
São João dos Patos	1
Senador Alexandre Costa	1,6

No médio curso do rio Itapecuru, grande parcela desta população localiza-se nos municípios de Caxias, Codó e Coroatá com sedes localizadas as margens do rio.

Essa realidade é influenciada pela dinâmica do agronegócio e implantação de grandes empresas industriais, que influenciam o crescimento da vegetação aberta e áreas urbanizadas de aproximadamente 32,3 pp no período analisado. Enquanto identifica-se na mesma série temporal, redução de 36,2 pp da cobertura florestal e mata ciliar ao longo do médio curso (Tabela 05).

Tabela 05: Comparativo percentual de tipos de uso e cobertura da terra no médio curso da bacia hidrográfica do Rio Itapecuru, 1990 a 2016.

CLASSE	1990 (%)	2000 (%)	2016 (%)
MATA CILIAR	23	17,6	6,9
AGROPASTORIL	10,8	14,9	21,1
VEGETAÇÃO ABERTA	12	34,8	27,9

consequentemente alteração da configuração do vale, decorrente do processo de deposição e erosão (Leinz e Amaral, 1990).

FLORESTA	52,9	27,6	32,8
SOLO EXPOSTO	0,4	1,9	3,8
ÁREA EDIFICADA	0,6	1,6	6,7

A figura 06 e 07 a seguir, apresentam as alterações nos elementos da paisagem no médio curso do Itapecuru, entre o período de 1990 a 2016. A partir dos dados processados, observa-se que o MSI demonstra avanços de fragmentos irregulares, com destaque para área urbanizada que registrou em 1990 índice de forma de 1,30 e em 2016 de 2,70. No mesmo período também foi identificado elevação do MSI da cobertura florestal de 1990 com 1,34, para 1,36 em 2016.

Referente ao tamanho médio e número dos fragmentos, observa-se redução significativa do MPS e aumento do número de fragmentos da cobertura florestal, demonstrando aumento da fragmentação de áreas com vegetação de menor porte, em decorrência do avanço das áreas destinadas

a pastagem, principalmente as margens dos afluentes do Itapecuru, ampliando o assoreamento do leito, além de reduzir a vazão do rio e seus afluentes. Destaca-se também o aumento do tamanho médio dos fragmentos com área edificada, demonstrando avanços da urbanização as margens do curso principal e afluentes.

A estrutura produtiva do médio curso do Itapecuru de modo geral é baseada no setor agrícola, onde se verifica o desenvolvimento tanto de agricultura de subsistência quanto de polos tecnológicos ligados à industrialização de produtos agrícolas, o que impulsiona no crescimento das cidades médias da região. Resultados semelhantes foram identificados por Betancourt e Steinke (2017) em estudo sobre a distribuição da silvicultura na bacia do Rio Jaguarão, localizada ao sudoeste do Rio Grande do Sul (Brasil) e ao nordeste do departamento de Cerro Largo (Uruguai).

Figura 06: Métricas da Paisagem do médio curso da Bacia do Itapecuru, 1990, 2000 e 2016.

Figura 07: Ocupações as margens do rio Itapecuru, Caxias - MA. Fonte: IMESC/UFMA, 2017.

Baixo Curso da bacia do rio Itapecuru

O baixo curso⁸ da bacia do rio Itapecuru, abrange aproximadamente 12,090 km², representando cerca de 22,7% da bacia hidrográfica. Dividida em 7 sub-bacias (Baixo Itapecuru; rio Peritoró; Igarapé Ipiranga; Igarapé Jundiá; rio Cachimbo; rio Gamaleira e rio Pirapemas), abrangendo 26 municípios e contabilizando aproximadamente 500 mil habitantes segundo dados do IBGE (Tabela 06).

Tabela 06: Relação de municípios e percentual de abrangência na região do baixo curso da bacia hidrográfica do Itapecuru.

MUNICÍPIOS	%
Aldeias Altas	9,6
Alto Alegre do Maranhão	3,2
Bacabal	0,5
Bacabeira	0,8
Cantanhede	6,4
Capinzal do Norte	2,3
Caxias	1,3
Codó	6,3
Coroatá	18,2
Itapecuru Mirim	9,2
Lima Campos	0,1

Matões do Norte	5,5
Miranda do Norte	2
Peritoró	6,3
Pirapemas	5,7
Rosário	5,2
Santa Rita	3,6
São Luís Gonzaga do Maranhão	2
São Mateus	2,3
Timbiras	8,1
Vargem Grande	1,4

Fonte: Elaborado pelos autores.

O baixo curso do rio Itapecuru, por abranger grande parcela da Região Metropolitana da Grande São Luís (Lei Complementar Estadual N° 174/2015), vem notadamente passando por grandes transformações, principalmente nos últimos 30 anos. Ressalta-se que a previsão é de ampliação dessas alterações, com as negociações para instalação de grandes projetos industriais (Complexo Siderúrgico, Refinaria de Petróleo e Complexo Industrial).

A partir dos dados processados, observa-se o crescimento da área coberta por vegetação aberta e áreas urbanizadas de aproximadamente 28,3 pp, ao passo que nota-se no período analisado redução de 24,9 pp na área coberta por vegetação arbórea e mata ciliar (Tabela 07). A Figura 08 ilustra as alterações nos elementos da paisagem no baixo curso do Itapecuru.

Tabela 07: Relação de municípios e percentual de abrangência na região do baixo curso da bacia hidrográfica do Itapecuru.

CLASSE	1990 (%)	2000 (%)	2016 (%)
MATA CILIAR	26,0	16,2	15,3
AGROPASTORIL	14,2	11,1	13
VEGETAÇÃO ABERTA	12,2	29,7	31,7
FLORESTA	42,4	29,1	28,2
SOLO EXPOSTO	3,2	6,4	1
ÁREA EDIFICADA	1,5	5,4	10,3

⁸ O baixo curso é a parte do sistema fluvial onde há a coexistência de processos fluviais e marinhos, situação esta que pode gerar um ambiente estuarino. Este sofre grandes variações espaciais devido à oscilação das marés e da descarga de água doce. O princípio básico

que rege a dinâmica de circulação em um estuário, é a diferença de densidade entre as águas (originária da salinidade) e os gradientes de pressão criados pela maré (Campo, 2002).

Figura 08: Métricas da Paisagem do Baixo curso da Bacia do Itapecuru nos anos de 1990, 2000 e 2016.

Com base nos dados processados o MSI verifica-se tendência à ampliação de fragmentos irregulares, com exceção da área preenchida por mata ciliar que registrou em 1990 índice de forma de 1,36 e em 2016 de 1,33. Relativo a área edificada o MSI se amplia com a expansão da urbanização, elevando de 1,28 em 1990 para 1,79 em 2016. Esse padrão também foi identificado nos fragmentos de áreas agrícolas e reconhecidos como vegetação aberta, passando a registrar em 2016, MSI de 1,35 e 1,33, respectivamente.

Referente ao tamanho médio e quantitativo dos fragmentos. Observa-se redução significativa do MPS e aumento do numero de fragmentos da vegetação aberta, demonstrando aumento da fragmentação de áreas com vegetação de menor porte, originário do aumento da área destinada a plantações e pasto. Destaca-se também o aumento do tamanho médio dos fragmentos florestais e redução do números de fragmentados. Isso demonstra ampliação da homogenização da vegetação arbórea, mesmo com a considerável redução da sua área de abrangência. O mesmo não ocorre com a mata ciliar no baixo curso do Itapecuru, nota-se tanto a sucessiva redução da área de abrangência e do MPS, quanto o aumento significativo dos fragmentos desta feição.

A consolidação desse sistema de causa e feito conforme Walz (2011), está interligada ao tipo de uso da terra, padrão, nível de isolamento e fragmentação da paisagem. Esses fatores são cruciais para a conservação da diversidade biológica, haja vista que o aumento do grau de urbanização (ampliação de proporções e tamanhos de assentamentos, além de fluxo de pessoas e veículos) correlaciona-se, diretamente com a supressão da vegetação das margens, aumento do assoreamento e diminuição da balneabilidade dos rios (Figura 09).

Figura 09: Ocupação as margens do Rio Itapecuru, município de Itapecuru – Mirim/MA. Fonte: IMESC/UFMA, 2017.

De acordo com Meyer et al. (2015), alterações como as relatadas no uso da terra, em geral são causadas pela demanda de terras para especulação imobiliária e grandes projetos habitacionais e agroindustriais. Segundo o autor essas atividades são atualmente vistas como uma das principais causas da perda contínua de diversidade biológica em todo o mundo.

Desse modo verifica-se que os processos de degradação e contaminação dos solos estão conectados à contaminação dos recursos hídricos, do lençol freático e consequentemente dos mananciais da bacia hidrográfica (Santos e Martins, 2018). Isso também ocorre devido à ocupação antrópica da região e seu uso e ocupação se o devido ordenamento territorial.

Índice de Diversidade Shannon

Como visualizamos no desenvolvimento do estudo a dinâmica territorial vigente no Maranhão, transforma as áreas em habitats fragmentados, o que representa grande ameaça para a biodiversidade do

estado. Entre as métricas utilizadas para mensurar essas transformações, utilizou-se o Índice de Diversidade Shannon - SHDI⁹. Essa métrica mede o grau de incerteza em prever a que espécie pertencerá um fragmento escolhido, ao acaso, de uma amostra com S espécies e N fragmento (Uramoto, 2005). Quanto menor o valor do índice, menor o grau de incerteza e, portanto, a diversidade da amostra é baixa. Esse índice é calculado por meio da fórmula onde pi: frequência de cada espécie, para i variando de 1 a S (Riqueza) (Gorenstein, 2009).

O SHDI quantifica a composição da paisagem. Essas medidas de diversidade são influenciadas por 2 componentes - riqueza e uniformidade. Riqueza refere-se ao número de tipos de fragmentos presentes; uniformidade refere-se à distribuição de área entre os diferentes tipos; riqueza e regularidade são geralmente referidos como componentes composicionais e estruturais da diversidade, respectivamente (Mcgarigal e Marks, 1995). A Figura 12 representa as alterações no nível de diversidade do baixo, médio e alto curso do Itapecuru.

Figura 10: Índice de Diversidade Shannon por curso da Bacia Hidrográfica do Itapecuru entre o período de 1990 a 2016.

A série temporal analisada, apresenta um cenário de redução da diversidade do alto ao baixo curso da BH do Itapecuru. Referente ao alto curso, identifica-se menor alteração do SHDI. Em 1990

registra-se índice Shannon de 1,50, enquanto em 2016 o SHDI reduziu para 1,44. A maior preservação da diversidade local, ocorre principalmente pela influência do Parque Estadual

⁹ O SHDI representa o número de diferentes classes na paisagem, sendo que o valor do índice é igual a 0, quando se tem apenas um fragmento na paisagem e aumenta de acordo com o número de classes e fragmentos na paisagem e a sua

distribuição, quanto maior o valor deste índice, maior a diversidade de formas e classes na paisagem (Rossi et al., 2008).

do Mirador, que apesar de não possuir instrumentos de gestão como plano de manejo e conselho gestor (o que impede a ampliação do nível de efetividade da área protegida), a unidade de conservação demonstra seu papel fundamental na contenção dos avanços do agronegócio na região, mesmo com a presença de diversas nascentes do rio Alpercatas e Itapecuru, localizadas as margens de seus limites (Figura 11).

Figura 11: Vista parcial da cobertura florestal do Parque Estadual do Mirador. Fonte: IMESC, 2017.

No médio curso, observa-se a maior redução do SHDI identificada entre os cursos da BH do rio Itapecuru. Em 1990 o índice de forma registrou 1,67, reduzindo significativamente em 2016, alcançando 1,24 de SHDI. Esse resultado como relatado anteriormente, é originário da expansão das atividades do agronegócio na região oeste do estado, com destaque para pecuária, produção de soja e eucalipto. A conversão da paisagem originária, em áreas com vegetação esparsadas para pastagem e produção agrícola em larga escala as margens de importantes afluentes do rio Itapecuru como Codozinho, Pacumã e Correntes, influencia não só a redução da diversidade, como atinge diretamente a vazão e abastecimento de toda a bacia hidrográfica (Figura 12).

Figura 12: Fazenda no médio curso do rio Itapecuru, Codó – MA. Fonte: IMESC/UFMA, 2017.

Ressalta-se o risco de contaminação por agrotóxicos e pesticidas oriundos das atividades agropecuárias próximas aos pontos de captação de água, que se amplifica com a deficiente infraestrutura de saneamento básico da região.

A região do baixo curso em 1990 registrava SHDI de 1,61, já em 2016 reduziu o índice de diversidade shannon para 1,44. Essa redução da diversidade identificada no baixo curso, tem como principal vetor o avanço da urbanização que se espalha seguindo a malha viária das rodovias federais, estaduais e municipais as margens do rio Itapecuru e afluentes.

Por fim o panorama apresentado no presente estudo, demonstra os impactos na biodiversidade decorrentes da fragmentação da paisagem ao longo do território em análise, que influenciaram diretamente a diminuição e até mesmo a extinção de diversas espécies. Araújo (2004), Aronson e Sasha (2013), e Pressey et al. (2015), demonstram que tais alterações nos padrões de migração e dispersão dos organismos, levam a redução no tamanho das populações de espécies endêmicas e ampliação da intrusão de espécies exóticas.

As descontinuidades e a fragmentação florestal como identificado ao longo da BH do rio Itapecuru, alteram a dinâmica da paisagem e aumentam a suscetibilidade ambiental destas áreas. Nesse contexto, há um consenso crescente de que o nível da paisagem é a escala mais importante para a gestão dos recursos naturais e para o maior monitoramento e controle do território. As ações ligadas ao planejamento, portanto, devem se concentrar no desenvolvimento de um mosaico funcional de habitats interligados como uma rede ecológica associada a diferentes escalas (Walz, 2011).

Considerações

Diante do contexto apresentado, entende-se que a não efetivação das normas de ordenamento dos usos múltiplos nos territórios das BHs ocasionam pressões em escala regional e local, seja em relação a qualidade de vida da população ou quanto ao uso sustentável dos recursos naturais. Em suma, o estudo observa dinâmicas territoriais distintas no alto, médio e baixo curso do rio, com o avanço das tensões e alterações na dinâmica da paisagem. De acordo com os resultados dos produtos oriundos das imagens de satélite e dos levantamentos de campo, pode-se notar que:

1) O alto curso, diferentemente do baixo e médio curso, nota-se menos atividades antrópicas,

devido as restrições de uso referente a terras indígenas e o Parque Estadual do Mirador;

2) O setor do médio curso, apresentou um crescente índice de ação antrópica na área com o uso intensivo do solo. Isso ocorre em parte pela agricultura através das atividades de pecuária e monocultura, seguida pela ocupação urbana as margens dos afluentes.

3) O baixo curso apresentou um relevo aplainado com avanço constante da urbanização, originário da grande demanda hídrica crescente, resultante do setor industrial e do crescente fluxo econômico da Região Metropolitana da Grande São Luís, que demandam cada vez mais o uso dos recursos hídricos.

Para ampliar o entendimento da dinâmica da paisagem da bacia hidrográfica do Itapecuru, é preciso acrescentarmos estratégias de manejo mais flexíveis. Nesse sentido, abaixo recomenda-se avanços necessários de cunho institucional para que viabilize a ampliação do nível de proteção do ecossistema, sem tolher o desenvolvimento socioeconômico:

- Elaborar e implementar o Plano de Bacia Hidrográfica do rio Itapecuru.

- Criar o Comitê da Bacia Hidrográfica do Itapecuru, com grantia da representatividade de todas as sub-bacias hidrográficas;

- Implementar e/ou fortalecer os demais instrumentos da Política Nacional e Estadual de Recursos Hídricos, tais como: o enquadramento dos corpos d'água em classes, outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos, cobrança pelo uso dos recursos hídricos e o sistema de informações sobre os recursos hídricos;

- Realizar censo para identificação e cadastro de usos e usuários dos recursos hídricos;

- Avaliar a integração das demandas de recursos hídricos, considerando os planos e programas governamentais, os projetos dos setores público e privado e a capacidade de suporte e vazão ecológica do rio Itapecuru;

- Fortalecer as ações de fiscalização e monitoramento aplicadas aos empreendimentos/usuários dos recursos hídricos da bacia;

Em suma acredita-se que os resultados obtidos através da metodologia aplicada, destaca não só as alterações no uso e cobertura da terra, como também expõe o estado atual e os problemas com os quais a gestão dos recursos hídricos no Maranhão têm de lidar, demonstrando que as medidas de ordenamento territorial, devem ser repensadas para que se otimize o planejamento e a gestão em escala regional e local.

Referências

- Aronson, J.; Sasha, A. 2013. Ecosystem restoration is now a global priority: time to roll up our sleeves. *Restoration Ecology*, v. 21, n. 3, pp. 293-296.
- Argyriou, A. V. et al. 2016. GIS multicriteria decision analysis for evaluation and mapping of landscape deformation neotectonics: A case study from Crete. *Geomorphology*. 262 –274.
- Araújo, M. A. R. 2004. Subsídios para o planejamento do sistema estadual de unidades de conservação: tamanho, representatividade e gestão de parques em Minas Gerais. Tese (doutorado). Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Biológicas. Belo Horizonte.
- Batista, M. T. F. 2014. Modelação geográfica em processos de caracterização e avaliação da paisagem numa perspectiva transfronteiriça. Tese de Doutorado em Ciências do Ambiente (Universidade de Évora).
- Batistella, M. et al. F. 2003. Settlement design, forest fragmentation, and landscape change in Rondônia, Amazonia. *Photogrammetric*

- Engineering and Remote Sensing*, 69(7), 805–812.
- Bertrand, G. 2004. Paisagem e geografia física global: Esboço metodológico. R. RA'E GA, Editora UFP. n. 8, Curitiba. 141-152.
- Botelho, R. G. M.; Da Silva, A. S. 2004. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. Reflexões sobre a geografia física no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. pp. 153-192.
- Borges, M. G. 2018. Sensoriamento remoto aplicado ao monitoramento temporal do eucalipto no município de Grão Mogol – MG. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.11, n.06. 2046-2056.
- Campos, E. V. M. O assoreamento do baixo curso do rio de contas: uma abordagem hidráulica e sedimentológica. 2002. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Bahia Instituto de Geociências Curso de Pós-Graduação em Geologia.
- Castro júnior, E. et. al. 2009. Gestão da Biodiversidade e áreas protegidas. In: GUERRA, A. J e COELHO, M. C. N. (orgs). Unidades de Conservação: abordagens e

- características geográficas. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro. pp. 25 – 66.
- Díaz, M. E. et al. 2015. Global Geosites: an active and partially achieved geoheritage inventory initiative, waiting to regain official recognition. In: CORNÉE, A., EGOROFF, G., DE WEVER, P., LALANNE, A., DURANTHON, F. (Eds.). Actes du Congrès International. Les Inventaires du G'éopatrimoine. M'emoire hors-s'erie de la Soci'et'eg 'eologique de France, Toulouse, p. 103-108.
- Gorenstein, M. R. Diversidade de espécies em comunidades arbóreas: aplicação de índices de distinção taxonômica em três formações florestais do Estado de São Paulo. 2009. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Ipea, 2013. Texto para discussão: A agropecuária na região norte: oportunidades e limitações ao desenvolvimento. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/>. Acesso em: 30 nov. 2018.
- Juvanhol, RS. et al. 2011. Análise Espacial de Fragmentos Florestais: Caso dos Parques Estaduais de Forno Grande e Pedra Azul, Estado do Espírito Santo. Floresta e Ambiente. V. 18. n. 4. 353-363.
- Knapp; S. et.al. 2010. Do protected areas in urban and rural landscapes differ in species diversity? Biodivers Conservation. 17: 2008. p. 1595–1612.
- Lambin, e. F. E Meyfroidt, P. 2015. Land use transitions: Socio-ecological feedback versus socio-economic change. Land Use Policy. 27. p. 108–118.
- Leite, V. R. A. 2015. Análise da efetividade de unidades de conservação para proteção de ecossistemas localizados em paisagens fragmentadas e sob intensa pressão antrópica no bioma da Mata Atlântica. Tese (Doutorado) em Ecologia e Recursos Naturais. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro–UENF. Campos dos Goytacazes. RJ.
- Leinz, V. E Amaral, S.E. Geologia Geral. 11ª ed. São Paulo: Editora Nacional, 1990.
- Luiz, C.H.P., Faria, S.D., Escada, M.I.S., 2016. A Expansão do Reflorestamento com Eucalipto e seus Efeitos na Estrutura da Paisagem: Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba e Região Metropolitana Vale do Aço - Minas Gerais. Geografias 12, 64-8
- Martinez del Castillo, E. et. al. 2015. Evaluation of forest cover change using remote sensing techniques and landscape metrics in Moncayo Natural Park (Spain). Applied Geography, 62, 247–255.
- Mcgarigal, K.; Marks. B. J. 1995. Fragstats Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure. Forest Science Department, Oregon State University, Corvallis.
- Mello; K. de. et al. 2016. Priority Areas for Forest Conservation In An Urban Landscape At The Transition Between Atlantic Forest And Cerrado. CERNE. pp. 277-288.
- Meyer, S. R. et al. 2015. An analysis of spatio-temporal landscape patterns for protected areas in northern New England: 1900–2010. Landscape Ecol 30. 1291–1305.
- Marion, F. A. et al. 2015. Análise de modelos digitais de elevação para modelagem do relevo no município de Francisco Beltrão – PR. Rev. Geogr. Acadêmica v.9, n.2.
- Masullo, Y. A. G. et al. 2018. O passado e o presente das Unidades de Conservação do Maranhão, Brasil. Revista Caminhos de Geografia. Uberlândia - MG v. 19, n. 66. p. 250–268.
- Metzger, J.P. 1999. Estrutura da Paisagem e Fragmentação: Análise Bibliográfica. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 71, p. 445-462.
- Nascimento, I. S. et. al. 2016. Avaliação da exatidão dos classificadores Maxver e Iso Cluster do software Arc Gis for Desktop, Com Uso De Imagem Landsat 8 do Município de Cáceres/MT. Revista Continentes (UFRRJ), ano 5, n. 8, p. 48-62.
- Oliveira, P. T. S. et al. 2010. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 14, n. 8. 819-825.
- Oliveira, A. et al. 2018. Influence of Digital Elevation Models on Landslide Susceptibility with Logistic Regression Model. Revista do Departamento de Geografia. V. 36. pp. 33 – 47.
- Pinheiro, M. R. de C. et al. 2009. Geoprocessamento aplicado à gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Macaé-RJ. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE. Natal-RN. 25 – 30.
- Pôssa, E. M. 2018. Análise de uso da terra e cobertura florestal na Amazônia central, a partir de dado polarimétrico PALSAR/ALOS-1 e coerência interferométrica TanDEM-X. Revista Brasileira de Geografia Física v.11, n. 06 2094-2108.
- Pressey, R. L. et al. 2015. Making parks make a difference: poor alignment of policy, planning

- and management with protected-area impact, and ways forward. *Phil. Trans. R. Soc.* 1 – 19.
- Primack, R. B. e Rodrigues, E. 2001. *Biologia da Conservação*. Editora Planta. Londrina.
- Rossi, P. et al. 2008. Coupling indicators of ecological value and ecological sensitivity with indicators of demographic pressure in the demarcation of new areas to be protected: The case of the Oltrep`o Pavese and the Ligurian-Emilian Apennine area (Italy). *Landscape and Urban Planning* 85. 12–26.
- Rodriguez, J. M. M. et al. 2007. *Geoecologia da paisagem: uma visão geossistêmica da análise ambiental*. EDUFC, Fortaleza.
- Saito, N. S. et. al. 2015. *Geotecnologia e Ecologia da Paisagem no Monitoramento da Fragmentação Florestal*. In: *Revista Floresta e Ambiente*.
- Santos, D. A. R.; Morais, F. 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*, v. 3, n. 4. 617-629.
- Santos, P. T. e Martins, A. P. 2018. Análise da Vulnerabilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Claro (GO) Utilizando Geotecnologias. *Revista do Departamento de Geografia* 36, 155 – 170.
- Siani, S. M. O. et al. 2017. iSAM - Um sistema de indicadores para o monitoramento da Área de Proteção Ambiental Mananciais do Rio Paraíba do Sul. *Revista do Departamento de Geografia*, 33. 63-73.
- Silva, E. V. et al. 2015. Educação ambiental aplicada ao planejamento e gestão de bacias hidrográficas. *Revista GeoAmazônia* 03, 110 – 120.
- Silva, D. C. da C. 2017. Proposta Metodológica para Análise da Inserção Social na Bacia Hidrográfica do Rio Una em Ibiúna/SP *Revista do Departamento de Geografia*, V. 33. 74-84.
- Vorovencii, I. 2015. Quantifying landscape pattern and assessing the land cover changes in Piatra Craiului National Park and Bucegi Natural Park, Romania, using satellite imagery and landscape metrics. Springer International Publishing. Switzerland. pp. 1 – 22.
- Uramoto, K. et. al. 2005. Análise Quantitativa e Distribuição de Populações de Espécies de *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae) no Campus Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP. *Revista Neotropical Entomology* 34(1):033-039.
- Walz, U. 2011. Landscape Structure, Landscape Metrics and Biodiversity. *Living Rev. Landscape Res.*, 5.