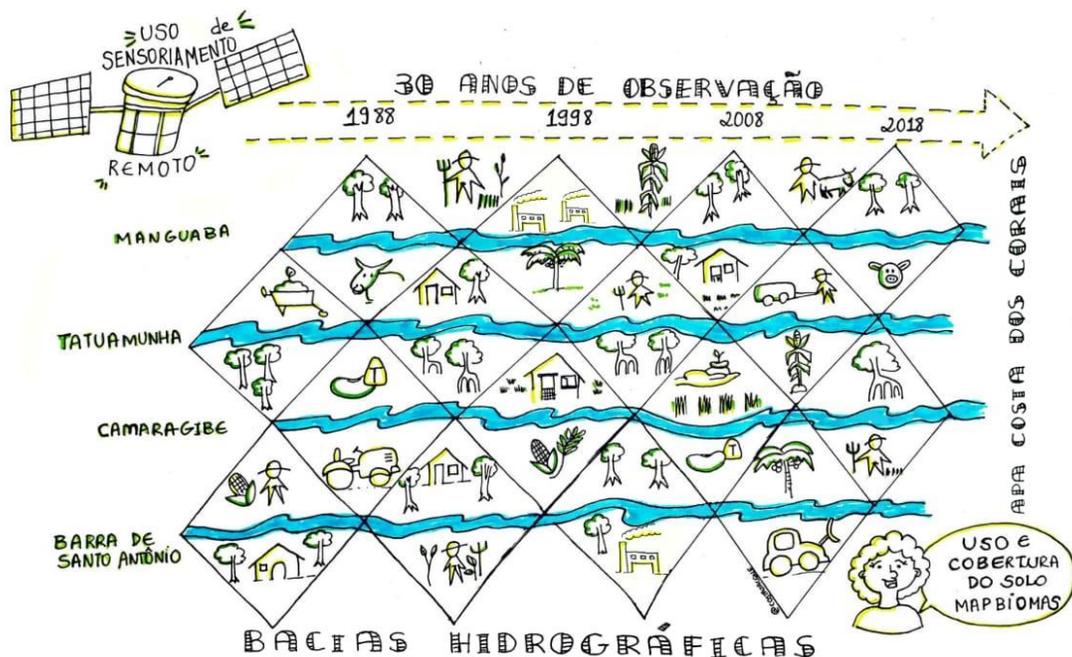




ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA INFLUÊNCIA DO USO E COBERTURA DO SOLO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS SOBRE A APA COSTA DOS CORAIS

Nicolli Carvalho, Bárbara Pinheiro, Ana Malhado e Richard Ladle

Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Laboratório de Conservação no Século XXI



RESUMO

Para manejar áreas protegidas é necessário monitoramento a longo prazo, com o intuito de entender processos socioecológicos, dentro de seus limites e em seu entorno. Porém, a Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) não prevê uma zona de amortecimento para Áreas de Proteção Ambientais (APAs) e, no contexto da APA Costa dos Corais (APACC), as Bacias Hidrográficas Costeiras podem ser instrumento de análise ambiental pois representam uma conexão entre o ambiente terrestre-costeiro-marinho. O objetivo deste trabalho foi analisar a influência do uso e cobertura do solo das Bacias dos Rios Santo Antônio (840 Km²), Camaragibe (962 Km²), Tatuamunha (288 Km²) e Manguaba (813 Km²) sobre a APACC e discutir os impactos ambientais relacionados. Este trabalho sucedeu-se nas seguintes etapas: (i) Delimitação das Bacias Hidrográficas; (ii) Análise de Mudança de Uso e Cobertura do Solo e (iii) Criação de base de dados complementar de suporte ao monitoramento das bacias hidrográficas. As ferramentas utilizadas foram o Software QGIS v. 2.18 e 3.4, a extensão TAUDEM v. 5.12, a plataforma Google Earth Engine e o software Google Earth Pro. As classificações para o uso e cobertura do solo para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018, foram adquiridas da Coleção MAPBIOMAS v.4. Ao longo dos 30 anos observados neste estudo, a área total das bacias (2903 Km²) se manteve essencialmente rural, com média de área para Agropecuária de 79%. Perdeu-se 53.5 Km² de cobertura florestal, a maior parte na Bacia Manguaba. A maior parcela de Área Não Vegetada é de Infraestrutura Urbana, que duplicou durante o período, com destaque para Bacia Tatuamunha, que cresceu 5 vezes. 89% da área de estudo não foi modificada e 6% da mudança foi resultado de desmatamento de “Floresta”; o alvo “Mangue” se manteve constante. A Bacia Camaragibe merece atenção pois existe tendência mediana a eventos de enchentes. Devido ao destaque de atividade agropecuária nas bacias, o manejo adequado dos solos é necessário, por conta do potencial erosivo da atividade. Propõe-se assim revitalizar as bacias hidrográficas, para proteção dos corpos hídricos. A área de estudo é coberta por 7 unidades de conservação e assim é possível avaliar medidas para aplicar nos limites destas áreas. Há uma necessidade de ampliação da cobertura de postos de monitoramento fluviométrico e inclusão da verificação de descarga de sedimentos para estimativa de erosão.

Palavras-chave: Áreas Costeiras, Conectividade, MAPBIOMAS, Sensoriamento Remoto

ABSTRACT

In order to manage protected areas, long-term monitoring is necessary, in order to understand socio-ecological processes, within their limits and in their surroundings. However, the National System of Conservation Units Law (SNUC) does not provide for a buffer zone for Environment Protected Areas (EPAs) and, in the Costa dos Corais EPA (EPACC) context, the Coastal Hydrographic Basins can be an instrument of environmental analysis because they represent a connection between the terrestrial-coastal-marine environment. The objective of this work was to analyze the influence of land use and land cover in the Santo Antônio, (840 Km²), Camaragibe (962 Km²), Tatuamunha (288 Km²) and Manguaba (813 Km²) Basins, on EPACC and to discuss the related environmental impacts. This work was carried out in the following stages: (i) Delimitation of the Hydrographic Basins; (ii) Analysis of Change in Land Use and Coverage and (iii) Creation of a complementary database to support the monitoring of hydrographic basins. The tools used were the QGIS Software v. 2.18 and 3.4, the extension TAUDEM v. 5.12, the Google Earth Engine platform and the Google Earth Pro software. The classifications for land use and land cover for the years 1988, 1998, 2008 and 2018 were acquired from the MAPBIOMAS Collection v.4. Over the 30 years observed in this study, the total area of the basins (2903 km²) remained essentially rural, with an average area for agriculture of 79%. 53.5 km² of forest cover was lost, mostly in the Manguaba Basin. The largest portion of non-vegetated area is urban infrastructure, which doubled during the period, with emphasis on the Tatuamunha Basin, which grew 5 times. 89% of the study area was not modified and 6% of the change was the result of deforestation; the “Mangrove” target remained constant. The Camaragibe Basin deserves attention because there is a median tendency to flood events. Due to the prominence of agricultural activity in the basins, adequate soil management is necessary, due to the activity erosive potential. Thus, it is proposed to revitalize the hydrographic basins to protect the water bodies. The study area is covered by 7 protected areas and thus it is possible to evaluate measures to apply within the limits of these areas. There is a need to expand the coverage of fluvioimetric monitoring posts and include the verification of sediment discharge to estimate erosion.

Keyword: Coastal Areas, Connectivity, MAPBIOMAS, Remote Sensing

1. INTRODUÇÃO e OBJETIVOS

Bacias hidrográficas costeiras conectam o ambiente terrestre e o costeiro-marinho através de seus fluxos biofísicos (água, sedimento, nutrientes, matéria orgânica, etc.) (NICOLODI; ZAMBONI; BARROSO, 2009). Devido às mudanças de uso e cobertura do solo, decorrentes da ocupação humana e atividades relacionadas, o ciclo hidrológico e a qualidade das águas têm sido comprometidos. O estudo do uso e cobertura do solo, em escala espaço-temporal, é um dos meios que permitem quantificar e qualificar impactos ambientais na bacia e assim direcionar estratégias de conservação. Este tipo de análise é possível por conta de produtos de sensoriamento remoto, como imagens de satélite, que permitem a coleta de informações para grandes áreas ao longo do tempo. Além disso, o conhecimento de características físicas de uma bacia contribui para entendimento da dinâmica do ciclo hidrológico no contexto desta unidade. Sendo assim, há uma necessidade de manter a bacia com uma rede de monitoramento hidrometeorológico, para fins de análises hidrológicas, de quantidade e qualidade hídrica.

A Área de Proteção Ambiental (APA) é uma categoria de Unidade de Conservação (UC) de Uso Sustentável, ferramenta legal de gestão do território e seus recursos naturais, que visa coadunar o equilíbrio entre os ecossistemas e a exploração de recursos pela população (BRASIL, 2000). É nessa categoria que a maior UC federal marinha-costeira do Brasil, a APA Costa dos Corais, se enquadra (GOMES, 2019). Inserida ao longo da costa dos estados de Alagoas e Pernambuco, conta com cerca de 400 ha de área e 120 km de extensão junto a recifes de corais e manguezais (ICMBio, 2012). Para manejar áreas protegidas, é necessário um monitoramento a longo prazo, com o intuito de entender processos socioecológicos (Tabarelli et al. 2013), e tendo por base essa justificativa, o Projeto Ecológico de Longa Duração Costa dos Corais Alagoas (PELD-CCAL) foi estabelecido em 2017. Além disso, ressalta-se a importância de monitoramento não somente dentro dos limites da Área Protegida (AP) como também em seu entorno. Porém, a Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), em seu Art. 25, não prevê uma zona de amortecimento para APAs (BRASIL, 2000) e assim, no contexto da APA Costa dos Corais, as Bacias Hidrográficas que deságuam na UC podem ser empregadas como instrumento de análise ambiental, visto que, segundo o Art 1º, V, da Lei nº 9433/1997, são as unidades territoriais norteadoras para a gestão de recursos hídricos (BRASIL, 1997).

Por se tratar de uma UC costeiro-marinha, e para garantir o alcance de alguns dos seus objetivos de criação, que é a manutenção da saúde dos ecossistemas da APACC (manguezais, prados de capim-agulha e recifes de corais) (BRASIL, 1997), é de fundamental importância zelar por uma boa qualidade da água dos rios que deságuam nesta região, uma vez que impactos como poluição e elevadas taxas de sedimentação estão diretamente ligados às bacias hidrográficas adjacentes.

De maneira geral, a região do litoral norte do estado de Alagoas se caracteriza fortemente pela atividade do plantio da Cana de Açúcar desde o século XVI e conta com a presença de três usinas sucroalcooleiras (ANDRADE, 1976; SEPLAG, 2019). Vale destacar que a região entre a foz dos Rios Camaragibe e Manguaba, a chamada Rota Ecológica dos Milagres, está inserida num contexto de visibilidade turística e, conseqüentemente, imobiliária nos últimos anos (SILVA, 2018). Desde 2015, o Rio Tatuamunha conta com uma base do projeto Peixe-Boi (BRASIL, 2015), e assim, é importante uma atenção apurada para que se assegure a qualidade ambiental deste corpo d'água. No município da Barra de Santo Antônio temos uma ampla comunidade em que sua subsistência depende dos recursos pesqueiros da região. Nesse contexto, as bacias dos Rios Santo Antônio, Camaragibe, Tatuamunha e Manguaba foram consideradas neste estudo. O objetivo deste trabalho é analisar a influência do uso e cobertura do solo destas bacias hidrográficas costeiras relacionadas à APACC e discutir os impactos ambientais relacionados.

2. METODOLOGIA

Este trabalho sucedeu-se nas seguintes etapas: (i) Delimitação das Bacias Hidrográficas; (ii) Análise de Mudança de Uso e Cobertura do Solo e (iii) Criação de base de dados complementar de suporte ao monitoramento das bacias hidrográficas. As ferramentas utilizadas foram o Software QGIS v. 2.18 e 3.4, a extensão TAUDEM v. 5.12, a plataforma Google Earth Engine, o software Google Earth Pro, e o JMP v.10

(i) Delimitação das Bacias Hidrográficas

As bacias hidrográficas de interesse foram delimitadas baseando-se na conjuntura de bacias hidrográficas do Plano Estadual de Recursos Hídricos de Alagoas (PERH) através do Modelo Digital de Elevação (MDE) (resolução de 30m) do Projeto TOPODATA. O fluxo de processamento se deu na sequência do uso dos algoritmos Pit Remove (Remoção das depressões), Flow Direction (definição das direções de fluxo), D8 Contributing Area (geração da área de contribuição) e Stream Reach and Watershed (finalização do processo), através da extensão TAUDEM v. 5.12 incorporada ao QGIS. Após a geração do raster da área foi realizada vetorização e suavização da geometria ainda no QGIS.

(ii) Análise de Mudança de Uso e Cobertura do Solo

Para esta etapa foram adquiridas, via Google Earth Engine, as classificações para o uso e cobertura do solo para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018, da Coleção MAPBIOMAS v.4, de forma que, o critério utilizado foi avaliar a mudança num período de 30 anos a cada 10 anos, com interesse de capturar mudanças significativas.

As classificações foram reprojatadas para o Sistema de Referência de Coordenadas SIRGAS 2000/UTM 25S e, de forma a prover melhores visualizações e interpretações para as classes estudadas, elas foram recodificadas através do algoritmo r.reclass do QGIS de duas maneiras conforme a Tabela 1. Fazendo uso da função r.report disponível no QGIS foram calculadas as áreas por alvo para cada ano, a nível geral e por bacia. Por meio da ferramenta “Land Cover Change” da seção “Post Processing” do plugin “Semi Automatic Classification Processing” gerou-se as transições e as matrizes de mudança por classe de pixel para os intervalos globais e específicos, para toda a área de estudo e por bacia estudada.

Tabela 1. Alvos de interesse recodificados: Versão Simplificada e Detalhada

Versão Simplificada	Versão Detalhada	
Floresta	Formação Florestal	
	Mangue	
Formação Natural Não Florestal	Outra Formação Natural Não Florestal	
Agropecuária	Pastagem	
	Cultura	Semi Perene
		Anual e Perene
	Mosaico de Agricultura e Pastagem	
Área Não Vegetada	Infraestrutura Urbana	
Corpos d'Água	Corpos d'Água	
	Outros*	

*A classe “Outros” engloba alvos que apresentaram áreas pouco significativas devido ao tamanho e tipo: Floresta (Formação Savânica), Área Não Vegetada (Praia e Duna, Outra Área Não Vegetada), Formação Natural Não Florestal (Apicum), Corpos d'Água (Aquicultura).

(iii) Criação de base de dados complementar de suporte ao monitoramento das bacias hidrográficas

a. Análise Morfométrica

Através dos produtos gerados durante a etapa (i), que foram o Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Corrigido, a área e a rede de drenagem, extraiu-se alguns atributos morfométricos, apresentados na Tabela 2, que foram usados para calcular as características das bacias hidrográficas estudadas.

Tabela 2 - Características Morfométricas extraídas das Bacias Hidrográficas

Tipo de Característica	Parâmetro	Abreviação	Equação	Unidade	Referência
Geométrica	Área	A	*	Km ²	-
	Perímetro	P	*	Km	-
	Coefficiente de Compacidade	Kc	$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$	adimensional	Villela e Matos (1975)
	Índice de Circularidade	Ic	$Ic = 12.57 \frac{A}{P^2}$	adimensional	Villela e Matos (1975)
	Fator de Forma	Kf	$Kf = \frac{A}{L_{ax}^2} **$	adimensional	Villela e Matos (1975)
Relevo	Hipsometria	H	*	m	-
	Amplitude Altimétrica	Hm	-	m	Strahler (1952)
	Declividade	S	*	%	-
Rede de Drenagem	Comprimento Total dos Cursos d' Água	Lt	*	Km	-
	Densidade de Drenagem	Dd	$Dd = \frac{Lt}{A}$	Km/Km ²	Horton (1945)

* Características extraídas via raster ou tabela de atributos no QGIS

** L_{ax}: Comprimento Axial da Bacia

b. Delimitação dos Recifes Visíveis da APA Costa dos Corais

Para dar suporte a um estudo de impacto da dispersão de pluma de sedimentos gerada pelos rios de estudo, os recifes foram delimitados utilizando o software Google Earth Pro. Por meio do recurso temporal do software, foi escolhida a imagem com melhor visibilidade para cada recife de interesse e assim feita a delimitação manual dos polígonos.

3. RESULTADOS

(i) Delimitação das Bacias Hidrográficas

As bacias hidrográficas geradas (Fig. 1) possuem 840 km² (Santo Antônio), 962 km² (Camaragibe), 288 km² (Tatuamunha) e 813 km² (Manguaba). Desta maneira, as quatro bacias totalizam uma área de estudo de 2903 km². Foi verificada a presença de 7 Unidades de Conservação, de forma parcial ou total, nos limites da área de interesse.

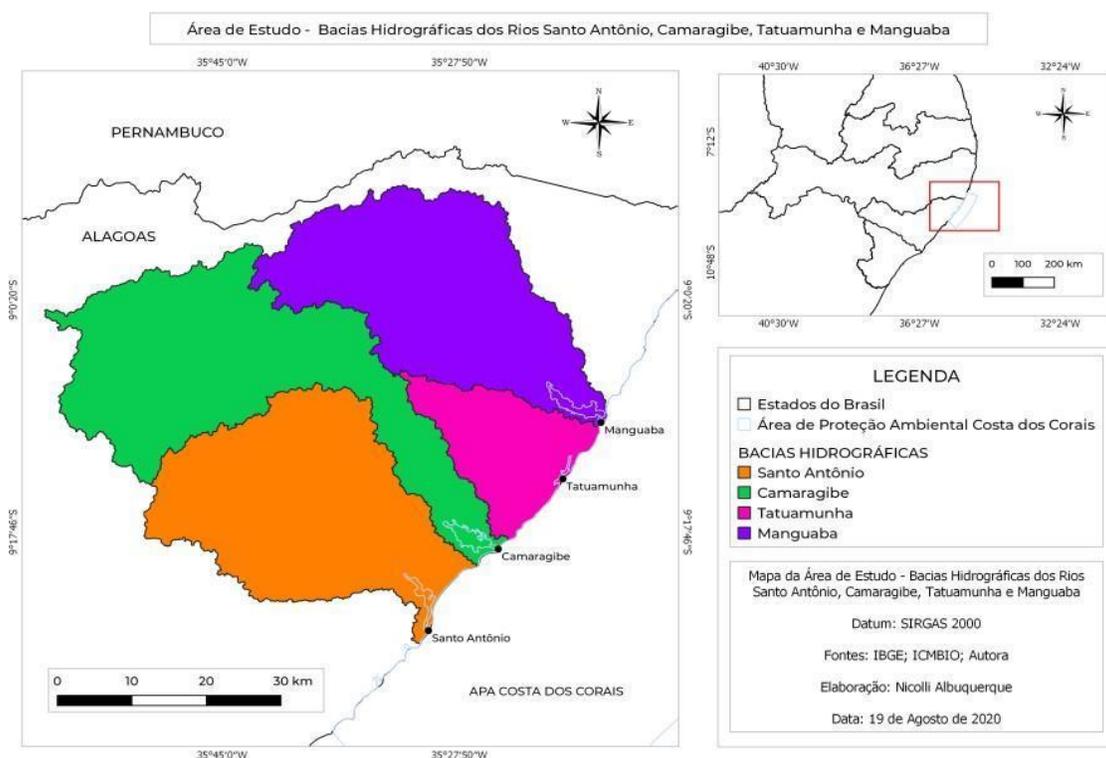


Figura 1. Bacias Hidrográficas estudadas

(ii) Análise de Mudança de Uso e Cobertura do Solo

Após a recodificação de classes foram calculadas as áreas por alvo de interesse e observou-se a predominância de área destinada a atividades agropecuárias (Fig. 2).

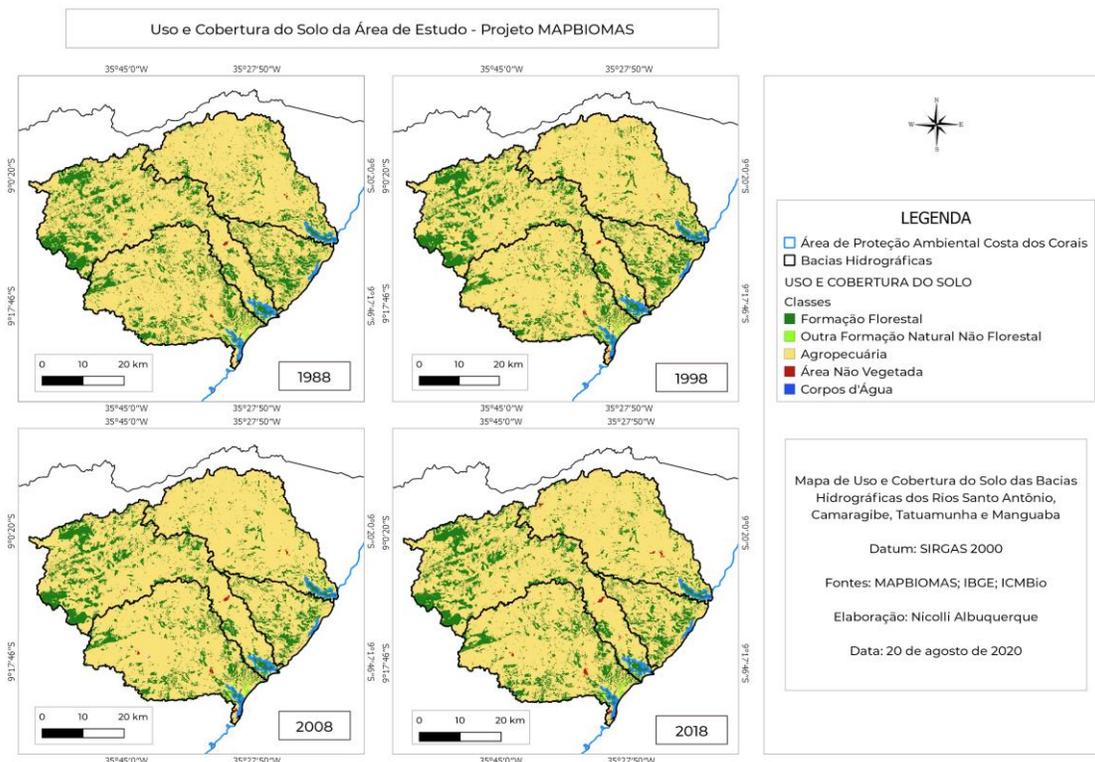


Figura 2. Uso e Cobertura do Solo - MAPBIOMAS

Visão Geral da Área de Estudo

A área de estudo é essencialmente rural, apresentando “Pastagem”, “Agricultura” e “Mosaico de Agricultura e Pastagem” como principais classes de uso e cobertura do solo, com valores sempre acima dos 77% durante o período avaliado. Observamos que a classe “Pastagem” teve um aumento de 14,34% entre 1988 e 2018, equivalente a cerca de 416 km² de área total. O alvo “Agricultura” aumentou 3,22% nos 30 anos de estudo (93,22 km²). No entanto, o responsável pela relativa estabilidade do uso da área com característica rural foi a redução de 15,82% da classe de “Mosaico de Agricultura e Pastagem”, em torno de 903 km². Foi observada uma redução de aproximadamente 2% de Formação Florestal entre os anos de 1988 e 2018, equivalente a cerca de 57 km² da área original. As classes de “Infraestrutura Urbana” e de “Mangue” se mantiveram relativamente constantes com um leve aumento contínuo durante os anos de estudo, resultando num acréscimo de 0,2 % ou 6,01 km² de área urbana e 0,11% ou 3,45 km² de manguezais (Gráfico 1).

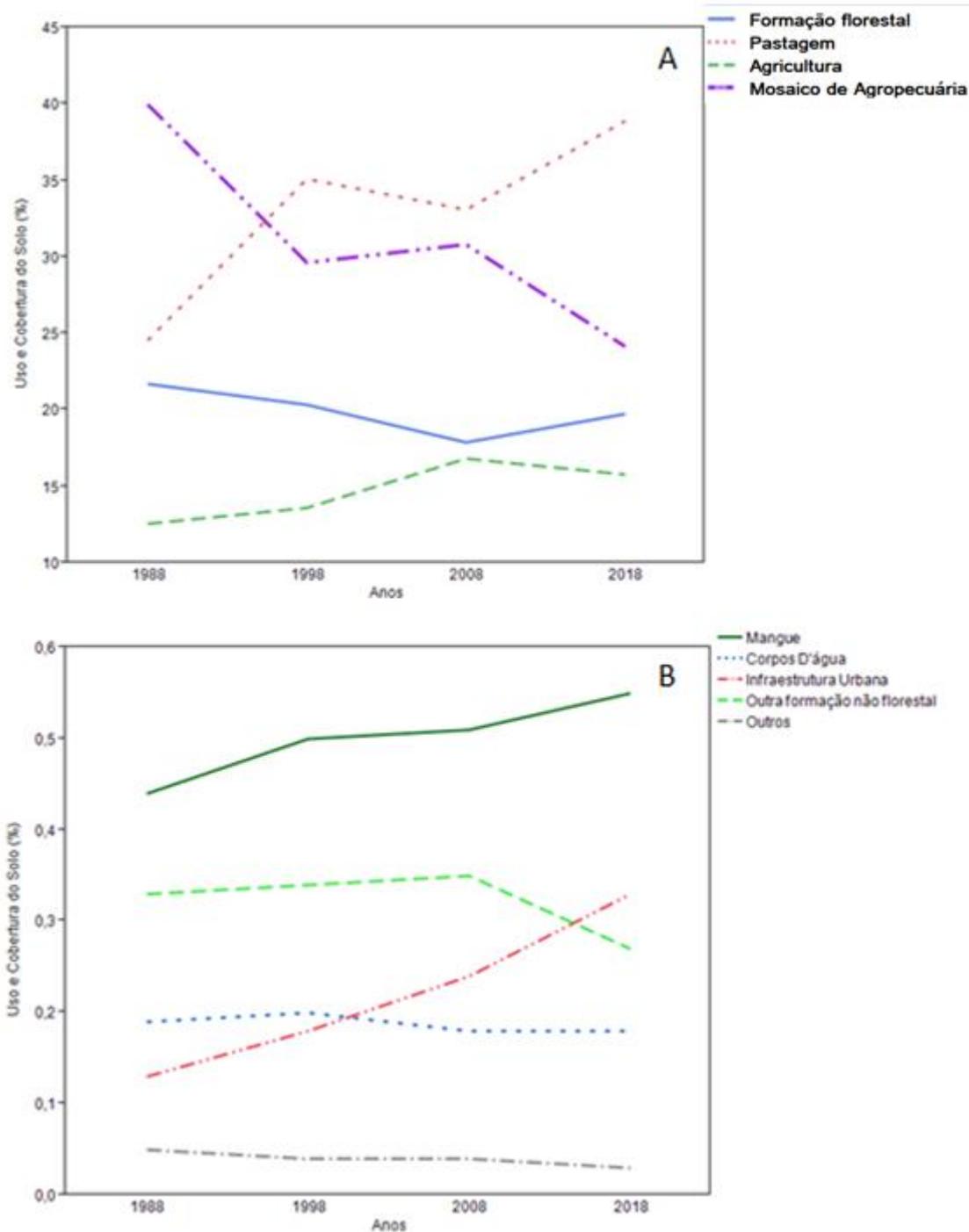


Gráfico 1. Variação do Uso e Cobertura do Solo (%) – Toda Área de Estudo (A) - Classes com cobertura acima de 10% e (B) Classes com cobertura abaixo de 1% da área total.

Para a avaliação simplificada do uso e cobertura do solo, agrupou-se as subclasses “Pastagem”, “Cultura Anual e Perene”, “Cultura Semiperene” e “Mosaico de Agricultura e Pastagem” em uma só classe “Agropecuária”. Assim, obteve-se os seguintes valores de cobertura

para as bacias: Manguaba tem em média 88,3% da área, Santo Antônio com 79,2%, seguido de Camaragibe com 73% e Tatuamunha com 70%. Foi observado um crescimento da área de cobertura e uso para essa classe simplificada em todas as bacias. No entanto, a bacia do Rio Tatuamunha apresentou o maior crescimento (3,87%), seguido da Manguaba (2,09%) e Santo Antônio (1,51%). A bacia do Rio Camaragibe foi a que exibiu menor aumento, apenas 1% durante o período do estudo.

Ao observarmos as subdivisões da classe “Agropecuária” (Pastagem, Cultura Anual e Perene e Semiperene e Mosaico de Agricultura e Pastagem), identificamos que a bacia do Santo Antônio apresenta em média ($\pm dp$) a maior cobertura ($19,45 \pm 2,4\%$) de Cultura Semiperene, o que na região estudada representa a cultura da Cana de Açúcar. Esta bacia foi também a única que teve um leve aumento (1%) da área de uso durante o período deste estudo. A bacia do Manguaba, tem a segunda maior área de cobertura, com média de $13,87 \pm 1,25\%$. Entre 1998 e 2008 ocorreu um aumento, chegando a 15,64% de sua área, mas no final do período do estudo não apresentou aumento significativo para essa categoria. A classe “Mosaico de Agricultura e Pastagem” nessa região diminuiu cerca de 14%, passando de uma área de 313,4 km² em 1988 para 199,63 km² em 2018. No entanto, a área classificada apenas como “Pastagem” nesta bacia teve um aumento de 10%, passando de uma área de 185,45 km² no início da avaliação para 270,09 km² após trinta anos. Apesar de representar de uma maneira geral uma baixa porcentagem de cobertura, a classe de “Cultura Anual e Perene” teve um aumento expressivo em todas as bacias, quando comparados os cenários de 1988 e 2018. Na bacia do Santo Antônio essa classe passou de aproximadamente 2 Km² para 35,35 Km², na Manguaba o aumento foi de cerca de 1 Km² para 28,6 Km², na Camaragibe passou de 1,38 Km² para 18,46 Km² e na Tatuamunha de uma cobertura praticamente inexistente, para uma área de 7,95 Km² no período estudado.

A bacia do Tatuamunha apresenta em média a maior área de cobertura de “Formação Florestal” ($28,76 \pm 2,8\%$), seguida de Camaragibe ($25,81 \pm 1,2\%$), Santo Antônio ($19,3 \pm 2\%$) e Manguaba ($10,4 \pm 1,6\%$). A bacia hidrográfica que teve maior taxa de desmatamento de “Formação Florestal” foi a do Tatuamunha (4%), seguida da Manguaba (2,3%), Santo Antônio (1,8%) e a que perdeu menos área foi a do Camaragibe (1%), conforme a Figura 3.

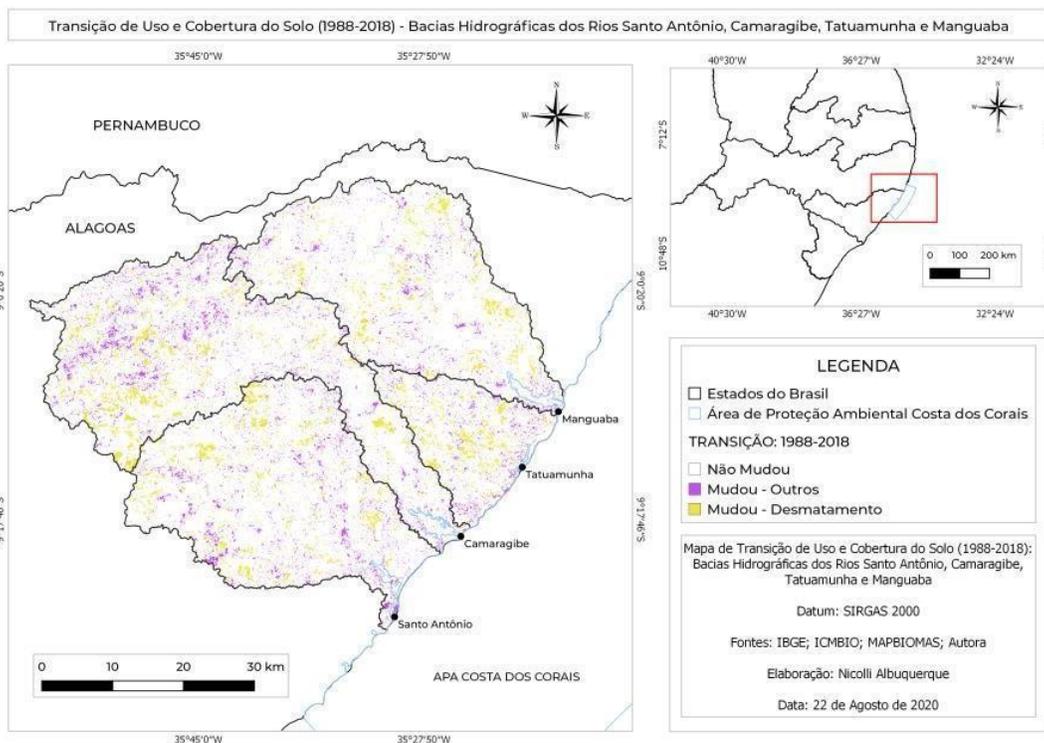


Figura 3. Transição do Uso e Cobertura do Solo (1988-2018)

Em relação a cobertura de “Mangue” nas bacias, as do Manguaba e a Camaragibe foram as que apresentaram maior cobertura em média com 0,64% e 0,57% respectivamente. E foram também as que tiveram maior crescimento ao longo do estudo, embora, de uma maneira geral, todas as bacias apresentaram leve aumento da sua área de cobertura de mangue nos 30 anos avaliados.

A classe “Área Não Vegetada”, aqui também representada pela área de “Infraestrutura Urbana”, tem uma das menores coberturas percentuais de uso do solo no estudo. Santo Antônio tem a maior área com 0,3%, seguido de Manguaba (0,2%), Tatuamunha (0,13%) e Camaragibe (0,09%), mais uma vez, evidenciando a característica essencialmente rural destas bacias. Ocorreu um pequeno aumento deste alvo em todas as bacias, no entanto a do Rio Santo Antônio apresentou o maior crescimento, seguido da Tatuamunha, e depois por Manguaba. A bacia do Camaragibe foi a que se manteve mais constante e apresentou o menor crescimento urbano durante o período do estudo.

Com relação à área de ocupação dos “Corpos d’Água”, notou-se uma diminuição da área de cobertura nas bacias no Manguaba, Tatuamunha e Santo Antônio. A mais considerável ocorreu

na Bacia do Tatuamunha. A bacia do Camaragibe foi a que apresentou um incremento durante a última década estudada.

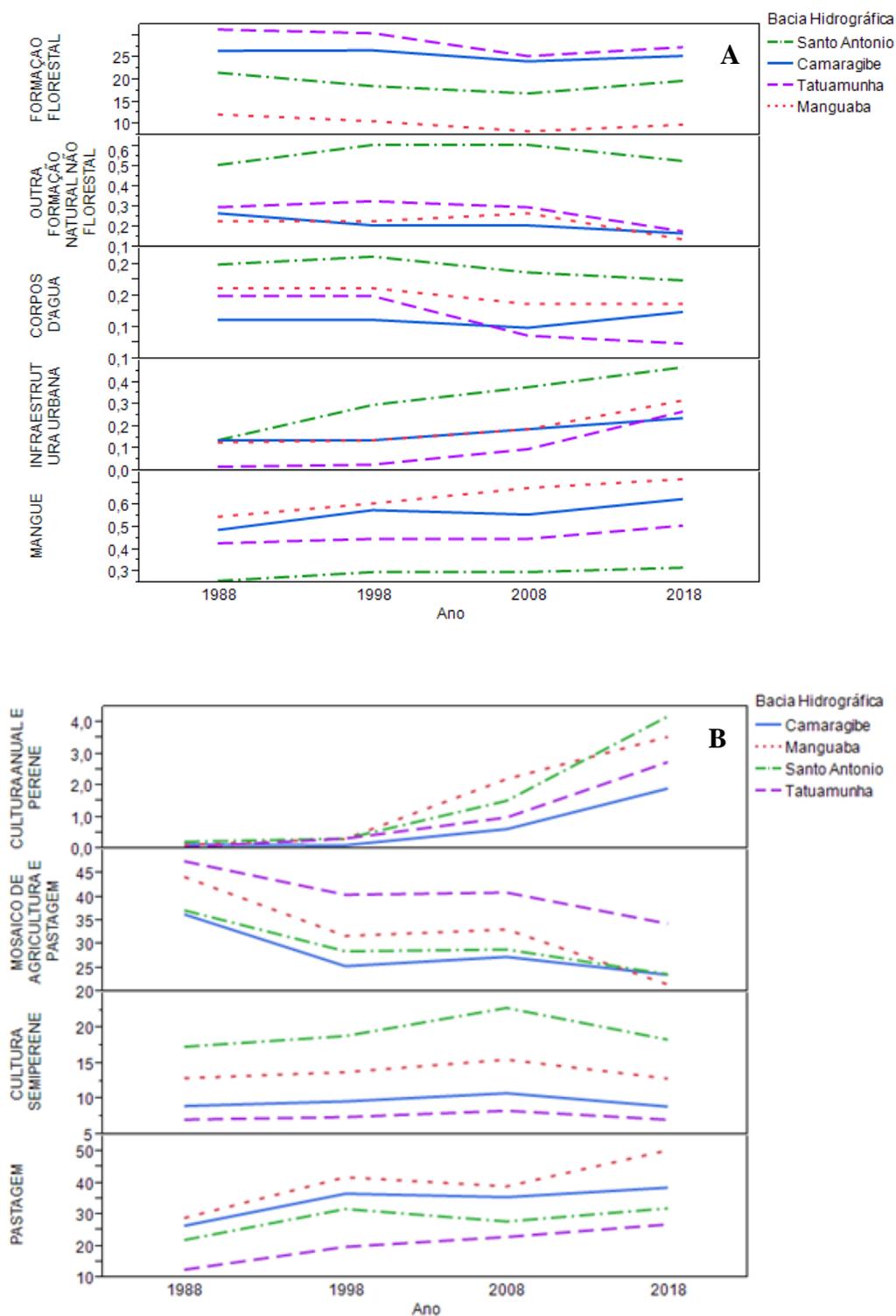


Gráfico 2. (A) e (B) Variação dos alvos estudados entre 1988 e 2018 para as bacias estudadas.

(iii) Criação de base de dados complementar de suporte ao monitoramento das bacias hidrográficas

a. Análise Morfométrica

A Bacia do Camaragibe apresentou o maior coeficiente de compacidade (K_c), fator de forma (k_f), hipsometria e comprimento total do curso d'água (Tabela 3).

Tabela 3. Características Morfométricas das Bacias Hidrográficas

	Santo Antônio	Camaragibe	Tatuamunha	Manguaba
Coeficiente de Compacidade (K_c)	1.76	2.52	1.64	1.84
Índice de Circularidade (I_c)	0.32	0.15	0.36	0.29
Fator de Forma (K_f)	0.46	0.52	0.45	0.32
Hipsometria em m	4.6 a 537.5 m	1.7 a 606.9 m	2.3 a 132.5 m	0.2 a 457.2 m
Declividade em %	0 a 90%	0 a 83%	0 a 50%	0 a 84%
Comprimento Total dos Cursos D'Água (L_t) em Km	1108.87	1274.95	385.62	1059.20
Densidade de Drenagem (D_d) em Km/Km ²	1.32	1.33	1.34	1.30

De acordo com o Coeficiente de Compacidade, as bacias estudadas não estão sujeitas a grandes enchentes. Quanto ao Índice de Circularidade elas são classificadas como alongadas. Os fatores de forma indicam que as bacias dos Rios Santo Antônio, Tatuamunha e Manguaba não são sujeitas a enchentes, porém a do Camaragibe merece atenção pois existe tendência mediana a este tipo de evento. Todas as bacias têm baixa densidade de drenagem, possuindo assim um escoamento eficiente e boa infiltração para o lençol freático.

A bacia com maior variação de altitude é a Camaragibe com 605.2 m de amplitude altimétrica, enquanto a Tatuamunha possui o menor valor, sendo de 130.2m. No geral há uma predominância dos relevos Plano a Ondulado, ou seja, na maior parte da área de estudo existem baixas declividades. Destacam as Bacias dos Rio Camaragibe e Tatuamunha com maior e menor amplitude de declividade, respectivamente.

b. Delimitação dos Recifes Visíveis da APA Costa dos Corais

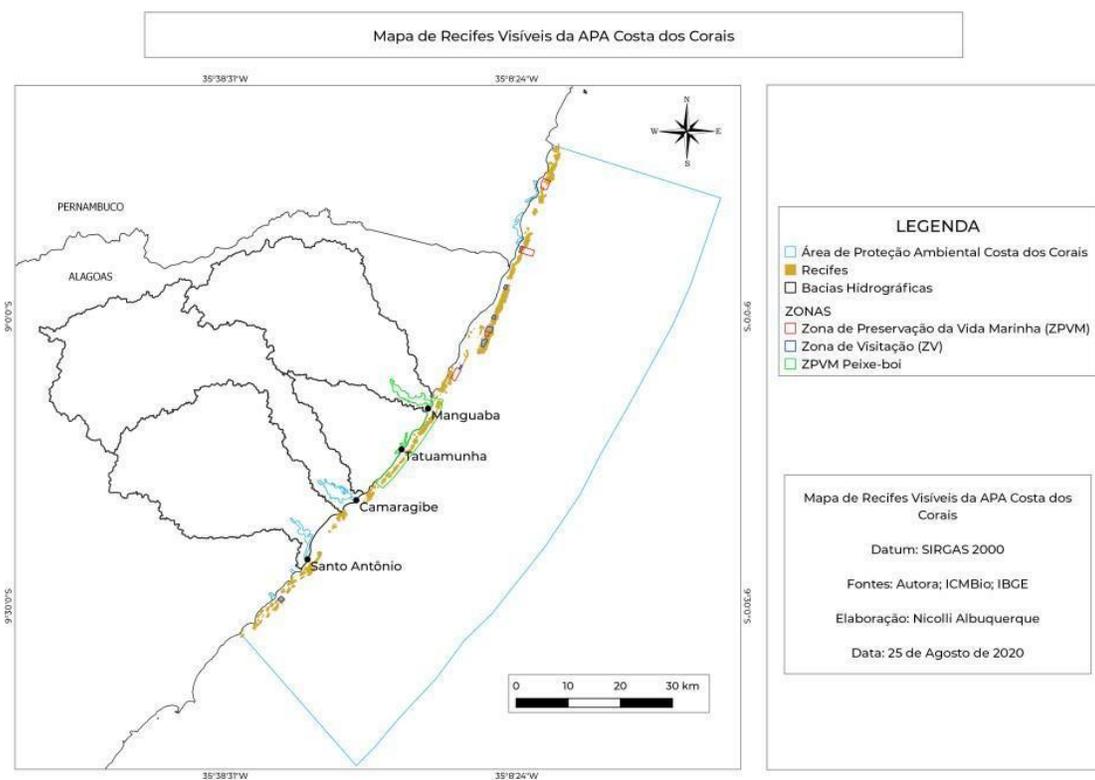


Figura 4. Delimitação de Recifes Visíveis para a APA Costa dos Corais

A delimitação gerou uma área de 39,24 km² para os recifes inseridos entre os municípios de Barra de Santo Antônio e Japaratinga, onde se obteve polígonos distando até 4 km² da linha de costa. A seguir, na Tabela 4, apresentamos a área de recifes delimitados por municípios relacionados às bacias estudadas.

Tabela 4. Área de recifes delimitados por município relacionados às bacias estudadas

	Barra de Santo Antônio	Passo de Camaragibe	São Miguel dos Milagres	Porto de Pedras	Japaratinga
Área em km ²	8,19	6,27	7,14	10,55	7,09

4. DISCUSSÃO

(i) Delimitação das Bacias Hidrográficas

Nossa pesquisa abordou a delimitação das bacias hidrográficas mais importantes para a região da APA Costa dos Corais Alagoana, o uso e cobertura do solo bem como a delimitação dos recifes visíveis que sofrem influência direta das plumas desses rios. A delimitação das bacias se apoiou na base de dados do Plano Estadual de Recursos Hídricos de Alagoas (PERH-AL) tendo em vista a necessidade de alinhamento com a gestão de recursos hídricos do estado (ALAGOAS, 2011). Como as bacias hidrográficas têm especificidade costeira, houve necessidade de agrupamento de mini bacias durante o processamento (RAY, 2019). Foram observadas algumas distinções de área em comparação com o PERH-AL e o estudo de Vieira (2019), que podem ocorrer devido ao Modelo Digital de Elevação e software utilizados no estudo (MACEDO e MOREAU, 2019; RAY, 2018). As bacias dos rios Camaragibe e Santo Antônio, que são adjacentes, foram as que apresentaram maior diferença de área; desta maneira cabe investigar as condições de relevo que levaram à discordância espacial. Atestando-se a presença de 7 unidades de conservação na área de estudo, cabe salientar a importância de adoção de estratégias sobre essas áreas protegidas e avaliação de pressão devido aos usos do solo.

(ii) Análise de Mudança de Uso e Cobertura do Solo

O reagrupamento de classes permitiu uma melhor avaliação da área de estudo tendo em vista as especificidades dos alvos e variação de área no tempo. A parcela considerável de atividades agropecuárias (sempre acima de 77% para o período) é um reflexo do histórico da região, vinculado principalmente ao plantio de cana de açúcar desde o século XVI, como menciona Andrade (1976) ao relatar o processo de ocupação no litoral norte de Alagoas. Apesar desse dado, de modo geral no estado de Alagoas o setor sucroalcooleiro tem moído menos cana nos últimos anos, o que pode indicar um desuso de locais anteriormente utilizados para plantio. Em contrapartida, todos os municípios inclusos nas bacias estudadas, têm atestado o plantio de eucalipto como potencial cultura de transição sobre a cana (SINDAÇÚCAR, 2020; LIMA e BARBOSA, 2019; GURGEL et al., 2020).

Visão Geral da Área de Estudo

A classe “Agropecuária”, devido aos tipos de alvos contemplados (em especial ao cultivo da cana de açúcar) e sua parcela representativa nas bacias estudadas, impacta os recifes de corais visto que a carga de sedimentos gerada pela intensificação de processos erosivos decorrentes destes tipos de atividade representam a principal causa de estresse recifal (MACEDO, 2009). A bacia do Tatuamunha merece destaque por se tratar de uma área de ocorrência de peixes-bois (*Trichechus manatus*, espécie ameaçada de extinção), local escolhido pelo ICMBio para instalação de um recinto de reintrodução desses animais (BRASIL, 1997; ICMBio, 2015). E mesmo se tratando da bacia com menor cobertura percentual dentre as analisadas neste estudo, ao se comparar área de uso para “agropecuária”, a bacia do rio Tatuamunha apresenta em média 70% de sua área destinada a esse uso. Tal característica pode causar uma elevada taxa de sedimentação, como evidenciado por Paiva (2018). No seu estudo, Paiva (2018) mostrou que a bacia do rio Tatuamunha apresenta um assoreamento na altura de sua foz, trazendo uma preocupação também por tratar-se de uma área de abrigo e manejo de peixes-boi. Levando em consideração este assoreamento reforça-se a necessidade de estimativa e monitoramento da produção de sedimentos para estas bacias, que atualmente não existe. Assim como o Tatuamunha se destaca pela importância ecológica, na Bacia do rio Manguaba, além da ocorrência dos peixes-bois, podemos destacar seu vasto uso como via de transporte, sendo uma das principais ligações entre os municípios de Porto de Pedras e Japaratinga (balsas); esta bacia foi a que apresentou a maior área de cobertura de agropecuária ao longo do período, sendo assim, enfatiza-se a necessidade deste tipo de monitoramento. Dependendo da espacialização deste alvo ao longo da bacia e da presença de mata ciliar, os impactos quanto à produção de sedimentos podem se demonstrar atenuados, o que corrobora demais estudos. Já se atesta a inibição de uma enzima relacionada à possível exposição dos peixes-boi aos pesticidas comumente associados ao plantio de Cana de Açúcar (ANZOLIN, 2011), cultura representada pela classe “Cultura Semiperene”, inclusa em “Agropecuária”.

Por conta da gratuidade e vasta série temporal do satélite LANDSAT, a resolução espacial de 30 m é comumente utilizada para estudos de uso e cobertura do solo. No entanto, dependendo da espacialização do alvo, pode-se acabar subestimando sua área, visto que, nesse caso, se identifica de melhor maneira os objetos com área parecida com a do pixel. Em caso de

vegetação, se a área de estudo possui áreas fragmentadas ou o pixel se apresenta em uma área de borda, perde-se informação. A perda de “Floresta” causa preocupação visto que comumente o padrão de desmatamento é de desconectividade, aumentando as bordas, o que contribui para fragilização da estrutura do ecossistema. Destacamos que, para vias de investigação de presença/ausência de mata ciliar cabe-se o uso de resoluções espaciais menores somado a trabalho de campo, para conferência de seguimento da legislação. Apesar de ser a mais conservada quanto este alvo, a bacia do rio Tatuamunha, se evidencia (4%) em relação ao fenômeno de desmatamento, e, em oposição, a Bacia do Rio Manguaba tem a menor cobertura, porém fica em segundo lugar quanto à vegetação removida; as duas bacias merecem atenção. Quanto ao alvo “Mangue”, consideramos que houve uma manutenção da área, dada a possível subestimação relacionada também à resolução espacial. Na bacia do Rio Santo Antônio, observa-se uma pressão sobre a área deste alvo principalmente em razão de sua adjacência a um núcleo urbano.

A visibilidade turística do litoral norte de Alagoas, a exemplo da Rota Ecológica dos Milagres tem contribuído para a expansão da infraestrutura urbana (SILVA, 2018), e, dessa maneira, também pode estar sendo subestimada devido à resolução de 30 m. Para via de investigação específica do alvo recomenda-se o uso de uma maior resolução espacial. Os 10 municípios adjacentes à APACC possuem menos de 40% de cobertura de saneamento básico (IBGE, 2019; COMPESA, 2019; CASAL, 2019), e especificamente, o município de Barra de Santo Antônio é o que apresenta maior cobertura de esgotamento sanitário dentre estes (IBGE, 2010). Em função do padrão espacial dos centros urbanos, com proximidade aos rios, a qualidade de água desses corpos hídricos é deteriorada pois as cargas de esgotos sanitários, causam desequilíbrio ecológico, com impacto sobre a fauna e flora afetando a população que depende de recursos pesqueiros para sobreviver. Todas as bacias apresentam uma tendência de crescimento urbano, porém o cenário mais preocupante é o da bacia do Rio Santo Antônio devido à localização do principal núcleo urbano da cidade de Barra de Santo Antônio, próximo à foz, e por possuir maior área dentre as demais.

A alteração da área de corpos d’água foi atestada, apesar da baixa cobertura capturada na classificação, principalmente na foz do Rio Tatuamunha. Esse alvo foi capturado em maior expressão na foz das bacias, onde o espelho d’água é maior, porém cabe salientar que, por tratar-se de bacias costeiras, a interação entre a vazão do rio e o prisma de maré pode influenciar no tamanho do espelho e na qualidade da água, onde a baixa vazão e/ou elevada carga de

sedimentos em suspensão pode contribuir para a não classificação dos pixels como alvo “Água”.

(iii) Criação de base de dados complementar de suporte ao monitoramento das bacias hidrográficas

a. Análise Morfométrica

A captura de características morfométricas de bacias hidrográficas possibilita o entendimento da dinâmica hidrológica e, associada a outras variáveis, como uso e cobertura do solo, gera-se informações sobre a vulnerabilidade da bacia.

Vieira (2018) realizou o cálculo de atributos morfométricos das bacias hidrográficas para o estado de Alagoas e os atributos “Coeficiente de Compacidade”, “Fator de Forma” e “Densidade de Drenagem” também foram extraídos em nosso estudo. Observamos que “Fator de Forma” foi o que apresentou maior diferença para todas as bacias estudadas e supõe-se que, devido à diferença no software utilizado, as áreas delimitadas foram diferentes e, conseqüentemente, o cálculo do comprimento axial da bacia, assim influenciando no resultado.

b. Delimitação dos Recifes Visíveis

Para efeitos de compreensão da influência do uso e cobertura do solo das bacias sobre os recifes da APACC houve necessidade de definir a área dos recifes dessa região. Apesar de não termos caracterizado a pluma de sedimentos gerada, nos aspectos hidrológicos e espaço-temporal, podemos atestar na figura 5 a expansão da pluma sobre as feições recifais próximas à foz dos rios estudados.

Os recifes de corais se caracterizam como ambientes de alta produtividade biológica e importância global. Apesar de sua relevância, do nível local ao global, estes abrigos de diversas espécies têm sofrido impactos consideráveis devido ao lançamento de efluentes não tratados, altas taxas de sedimentação de bacias costeiras, entre outros. Diante deste cenário, ressalta-se a importância do monitoramento para averiguação das condições de saúde destes ambientes.

Renó et. al (2003) encontraram uma metodologia adequada para classificação de recifes visíveis e emersos na APACC com imagens LANDSAT TM, remanejando a resolução espacial de 30 para 15 m. No entanto, algumas feições podem não ser detectadas arriscando uma superestimação da área total recifal (PRATES, 2003). Outro fator limitante é a confusão entre a

pluma de sedimentos e os recifes, como ocorreu no trabalho realizado por Braga e Gherardi (2001) para a mesma região.

Apesar da crescente disponibilidade e uso de métodos de classificação automática de imagens de satélite (COSTA, 2019), em alguns casos que exigem um certo nível de detalhamento e além disso, técnicas complexas de classificação, como em ambientes com similaridade espectral (ex. ambientes costeiros), a delimitação manual de feições pode ser utilizada como alternativa (FINKL e MAKOWSKI, 2020). Neste trabalho, observou-se a presença de muitos recifes fragmentados e, por isso, em algumas situações agrupamento de recifes próximos num só polígono foi realizado.

Fazendo uso de diversas imagens de alta resolução no tempo foi possível contemplar o último dos níveis hierárquicos contribuintes para a efetiva preservação de áreas recifais, o “Espacial” (BRAGA e GHERARDI, 2001), apoiando assim a gestão da APACC e o alcance dos objetivos do seu Plano de Manejo. Com essa base de dados será possível dar suporte estudos de conectividade entre o ambiente terrestre e costeiro-marinho, a exemplo de estudos de monitoramento de dispersão da pluma de sedimentos e condições de saúde recifal e assim direcionar estratégias de intervenção quanto à gestão costeira.



Figura 5. Dispersão da Pluma de Sedimentos para (a) Foz do Rio Santo Antônio (29/09/2019), (b) Foz do Rio Camaragibe (25/12/2019), (c) Foz do Rio Tatuamunha (21/03/2020) e (d) Foz do Rio Manguaba (16/12/2005)

5. CONCLUSÃO

As bacias analisadas se destacam por serem essencialmente rurais em todos os anos do estudo, onde a maior parcela de uso e cobertura do solo é formada por atividades agropecuárias. É essencial que haja um manejo adequado dos solos, devido à possibilidade de potencialização da erosão, junto ao esforço de conservação materializado por programas de revitalização de bacias hidrográficas, que visam recuperar a mata ciliar e proteger as nascentes.

Através da análise morfométrica atestou-se que a bacia do Rio Camaragibe merece atenção quanto a eventos de cheias, devido à tendência mediana para este tipo de evento, além de possuir o relevo mais acidentado em relação às outras bacias estudadas.

Junto às práticas mencionadas, há uma necessidade de ampliação da cobertura de postos de monitoramento fluviométrico e inclusão de verificação de descarga de sedimentos para estimativas de erosão.

Devido à presença de unidades de conservação dentro dos limites da área de estudo é estratégico tomar medidas de proteção dentro dos limites destas unidades. A infraestrutura urbana tem ocupado as áreas próximas aos corpos hídricos superficiais e a falta de saneamento adequado pode comprometer a qualidade da água.

Apesar da necessidade de alguns refinamentos nas geometrias, e considerando-se a ausência de dados neste tipo de detalhamento na APACC, a delimitação dos recifes foi bem sucedida. Dessa maneira, estudos aprofundados quanto à biota e dispersão da pluma de sedimentos sobre esse ecossistema podem ser executados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. **Decreto Federal nº. 000/97 de 23 de outubro de 1997**. Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental da Costa dos Corais, nos Estados de Alagoas e Pernambuco, e dá outras providências. Diário Oficial, Brasília, 1997.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza**: Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000; Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002; Decreto nº 5.746, de 5 de abril de 2006.

ICMBIO (Org.). **Plano de Manejo da APA Costa dos Corais**. 2012. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/apacostadoscorais/images/stories/plano_de_manejo/PM_APAC_C_2013_JANEIRO.pdf>. Acesso em: 18 de jan de 2019.

SAMPAIO, C. DA S. USO DO SOLO NO ENTORNO DO PARQUE NACIONAL DE BRASÍLIA: UMA ANÁLISE MULTITEMPORAL. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 58, n. 2, 11.

NICOLODI, João Luiz; ZAMBONI, Ademilson; BARROSO, Gilberto Fonseca. Gestão Integrada de Bacias Hidrográficas e Zonas Costeiras no Brasil: implicações para a região hidrográfica amazônica. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, {S.L.}, v. 9, n. 2, p. 9-32, 27 mar. 2009. Disponível em: <https://www.aprh.pt/rgci/rgci115.html>. Acesso em: 15 fev. 2020.

ZURQANI, Hamdi A.; POST, Christopher J.; MIKHAILOVA, Elena A.; SCHLAUTMAN, Mark A.; SHARP, Julia L.. Geospatial analysis of land use change in the Savannah River Basin using Google Earth Engine. **International Journal Of Applied Earth Observation And Geoinformation**, [S.L.], v. 69, p. 175-185, jul. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2017.12.006>.

BORELA, V. A. **BACIA DE TAQUARUÇU GRANDE: caracterização morfométrica por meio do uso do sensoriamento remoto**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil). Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas,

Tocantins, 2016. Disponível em: <<http://ulbra-to.br/bibliotecadigital/publico/home/documento/457>>. Acesso em: 5 mai. 2020

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGRAWHill do Brasil, 1975. 245p

STRAHLER AN. **Quantitative analysis of watershed geomorphology**. Trans Am Geophys Union n.38, p.913–920, 1957.

HORTON, R.E. **Erosional development of streams and their drainage basin: Hydrophysical approach to quantitative morphology**. Geol. Soc America Bulletin, v.3, n.56, 1945.

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*.

Tabarelli, M., da Rocha, C.F.D., Romanowski, H.P., Rocha, O., de Lacerda, L.D. eds., 2013. Dez Anos do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração no Brasil: Achados, Lições e Perspectivas. Editora UFPE, Recife, Brasil.

“QGIS.org (2016). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.org>”.

“QGIS.org (2018). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.org>”.

Tarboton, David G.; 1997. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water Resources Research*, 33, 309–319. [10.1029/96WR03137](https://doi.org/10.1029/96WR03137)

GOMES, Celso Cardoso. **OS MÚLTIPLOS USOS DO TERRITÓRIO DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DA COSTA DOS CORAIS (ALAGOAS – PERNAMBUCO):** Reestruturação Produtiva e Turismo. 2019. 359 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade de Brasília, Brasília,

2019. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/39307>. Acesso em: 2 jan. 2021.

SILVA, Adriana Thiara de Oliveira. **AValiação de Impactos Socioambientais do Turismo na Rota Ecológica dos Milagres (AL)**. 2018. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Sociedade, Tecnologia e Políticas Públicas, Centro Universitário Tiradentes, Maceió, 2018. Disponível em: <https://openrit.grupotiradentes.com/xmlui/bitstream/handle/set/3600/Disserta%20a7%20a3o%200-%20Adriana.pdf?sequence=1>. Acesso em: 20 dez. 2020.

BRASIL. Icmbio. Ministério do Meio Ambiente. **INAUGURAÇÃO DA BASE DA APA**. 2015. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/apacostadoscorais/destaques/91-inauguracao-de-base-da-apa.html>. Acesso em: 23 jan. 2021.

VIEIRA, Vânia Priscila dos Santos. **DETERMINAÇÃO DE REGIÕES HOMOGÊNEAS DO ESTADO DE ALAGOAS ATRAVÉS DA ANÁLISE ESPACIAL DA MORFOMETRIA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS**. 2017. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Geografia: Dinâmica Socioambiental e Geoprocessamento, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/5763>. Acesso em: 15 dez. 2020.

ALAGOAS. Semarh. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Alagoas. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Alagoas**. 2011. Disponível em: <http://perh.semarh.al.gov.br/>. Acesso em: 19 out. 2019.

RAY, Litan Kumar. Limitation of automatic watershed delineation tools in coastal region. **Annals Of Gis**, [S.L.], v. 24, n. 4, p. 261-274, 2 out. 2018. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/19475683.2018.1526212>.

Samuel de Amaral Macedo; Maurício Moreau. **DESEMPENHO DOS SOFTWARES: ARCSWAT, ARCHYDRO, TAUDEM, GRASS E IDRISI NA DELIMITAÇÃO AUTOMÁTICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS**. In: ANAIS DO XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2019, Santos. Anais eletrônicos... São José dos

Campos, INPE, 2019. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/desempenhos-dos-sofware--arcswat--archydro--taudem--grass-e-idrisi-na-delimitacao-automatca-de-bacias-hidrograficas>> Acesso em: 08 jan. 2020.

MACEDO, Eduardo Cavalcante de. **UM ENSAIO SOBRE A SEDIMENTAÇÃO E SUAS IMPLICAÇÕES ECOLÓGICAS NOS RECIFES COSTEIROS DA BAÍA DE TAMANDARÉ/PE**. 2007. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/8315/1/arquivo1460_1.pdf. Acesso em: 17 abr. 2020.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DO AÇÚCAR E DO ALCOOL NO ESTADO DE ALAGOAS (Alagoas). Sindaçúcar (org.). **EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE CANA, AÇÚCAR E ETANOL NO ESTADO DE ALAGOAS**. 2020. Disponível em: <http://www.sindicucar-al.com.br/wp-content/uploads/2011/06/95-96-%C3%A0-19-20.pdf>. Acesso em: 4 jan. 2021.

GURGEL, Verônica Amaral; SANTOS, Rochana Campos de Andrade Lima; SALOMON, Karina Ribeiro. **AVALIAÇÕES DE IMPACTOS NAS IMPLANTAÇÕES DO CULTIVO DO EUCALIPTO NA MESORREGIÃO LESTE DO ESTADO DE ALAGOAS**. *Revista de Geografia*, Recife, v. 1, n. 1, p. 1-22, 02 mar. 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/viewFile/238427/34700>. Acesso em: 29 nov. 2020.

LIMA, Lucas Gama; BARBOSA, Jéssica Lima. **DO MONOCULTIVO DA CANA AO MONOCULTIVO DO EUCALIPTO, DUAS FACES DE UMA MESMA TRAGÉDIA: : considerações sobre o complexo madeira-papel-celulose em alagoas. : considerações sobre o complexo madeira-papel-celulose em Alagoas**. 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Lucas_Lima25/publication/337797068_DO_MONOCULTIVO_DA_CANA_AO_MONOCULTIVO_DO_EUCALIPTO_DUAS_FACES_DE_UMA_MESMA_TRAGEDIA_consideracoes_sobre_o_complexo_madeira-papel-celulose_em_Alagoas/links/5dea613f299bf10bc3453070/DO-MONOCULTIVO-DA-CANA-AO-MONOCULTIVO-DO-EUCALIPTO-DUAS-FACES-DE-UMA-MESMA-TRAGEDIA_consideracoes-sobre-o-complexo-madeira-papel-celulose-em-Alagoas.pdf. Acesso em: 25 jul. 2020.

FINKL, Charles W.; MAKOWSKI, Christopher. Lateral Extrapolation of Coastal Catenary Sequences Using the Biophysical Cross-shore Classification System (BCCS) to Create Shore-parallel Situational Zonation Mapping Units. *Journal Of Coastal Research*, [S.L.], v. 36, n. 3, p. 457-471, 4 fev. 2020. Coastal Education and Research Foundation. <http://dx.doi.org/10.2112/jcoastres-d-19a->

[00012](#).

COSTA, Bryan. Multispectral Acoustic Backscatter: how useful is it for marine habitat mapping and management?. **Journal Of Coastal Research**, [S.L.], v. 35, n. 5, p. 1062-1079, 20 maio 2019. Coastal Education and Research Foundation. <http://dx.doi.org/10.2112/jcoastres-d-18-00103.1>.

BRAGA, Cláudia Zuccari F.; GHERARDI, Douglas Francisco Marcolino. **Mapeamento de Recifes Costeiros Utilizando Imagens Orbitais**. 2001. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2001/09.19.12.05/doc/0759.767.267.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2020.