

Análise Multitemporal de Mudanças nas Ilhas Costeiras do Estado do Amapá Aplicando Dados de Sensores Remotos

Marta Vieira da Silva¹
Valdenira Ferreira dos Santos²
Odete Fátima Machado da Silveira³

^{1,2} Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá
Núcleo de Pesquisas Aquáticas NuPAq
Laboratório de Sensoriamento Remoto e Análises Espaciais Aplicado a Ambientes Aquáticos
Rod. JK, km 10, s/n 68903-280 Macapá Amapá - Brasil
mvsilva.ap@hotmail.com;
valdenira.ferreira@iepa.ap.gov.br

³ Universidade Federal do Pará UFPA
Instituto de Geociências - IG
Caixa Postal 1611 66075-110 - Belém Pará - Brasil
silveira@ufpa.br

Abstract. A multitemporal analysis based on mosaics of optical and radar sensors representing the period of 36 years (1972-2008) were used to quantify the area changes in the coastal islands at the Amapá State littoral. The mosaics were built from: RadarGems 1000 images, band X, from RADAMBRASIL project; CIRCA data from 1999 and 2000 from Global Land Cover Facility and a LANDSAT TM5 mosaic elaborated by SIPAM. The mosaics were registered among each other based on the CIRCA data 2000. The coastline was extracted on hand using as a geoinicator of changes in the coastline marker, the boundary between the vegetation and the water (or intertidal zone). The results presented accretionary, erosional and migration patterns of the coastal islands, according its geographical positioning at the littoral, and, according the natural environmental constraints. The islands under marine influence as Maraca and Jipioca the erosional processes predominate with a 2.7 km ($\pm 0,0769$ km) maximum linear erosion between 1972 and 2008 northward Maraca Island. The coastal islands under fluvial-estuarine influence as the islands belonging to the Bailique Archipelago, Pedreiras, Santana, Periquitos and Cajari the accretionary processes dominate with a maximum 9,8 km ($\pm 0,0769$ km) between 1972 and 2008. Natural hydrodynamic and oceanographic factors are considered as the main dynamic responsible by changes in the coastal islands.

Palavras-chave: coastal islands, coastal process, remote sensing, ilhas costeiras, processos costeiros, sensoriamento remoto

1. Introdução

A região costeira do Estado do Amapá apresenta uma dinâmica costeira marcada pela interação de processos atmosféricos, oceanográficos e amazônico. Neste último o Sistema de Dispersão do rio Amazonas é observado como um dos agentes responsáveis pela geração de novas terras ao longo do litoral amapaense (SILVEIRA & SANTOS, 2006). É neste cenário dinâmico que formam-se as ilhas na costa do Amapá que compõem a fisiografia do litoral norte amazônico.

Estudos aplicando dados orbitais (óticos e radar) demonstrando as mudanças que ocorrem na configuração das ilhas costeiras já foram conduzidos por Faria (2005) na costa do Pará e por Silveira *et al.* (2002), ZEE (1998) e Silva (2010) na costa do Amapá. Estes estudos apontam para alterações na morfologia e localização geográfica das ilhas costeiras ao longo da costa amapaense.

Na costa do Amapá destacam-se seis ilhas: ilha de Maracá, ilha Jipióca, ilhas Pedreiras, ilha de Santana, ilha Periquitos e ilha Cajari; e o arquipélago do Bailique (Figura 1).

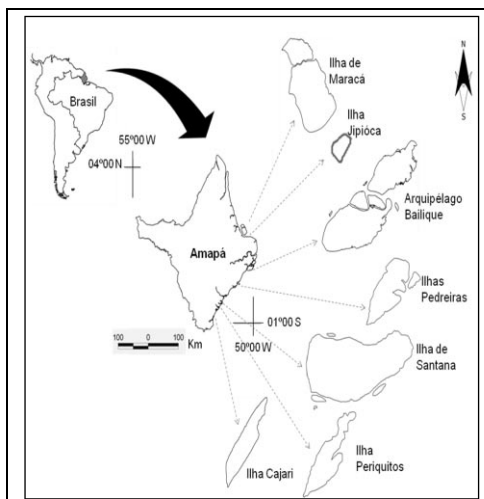


Figura 1: Mapa de localização das ilhas costeiras no litoral amapaense elaborado a partir de imagens Landsat ETM +7 (2000) disponibilizado pelo GLCF em <http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma análise quantitativa das mudanças nas linhas de costa das ilhas costeiras mencionadas, através de análise multitemporal utilizando dados de sensores remotos (óticos e radar).

2. Metodologia de Trabalho

O desenvolvimento deste estudo foi realizado nas seguintes etapas: 1) aquisição de dados bibliográficos e de imagens; 2) pré e processamento digital das imagens e 3) análise dos resultados (Figura 2).

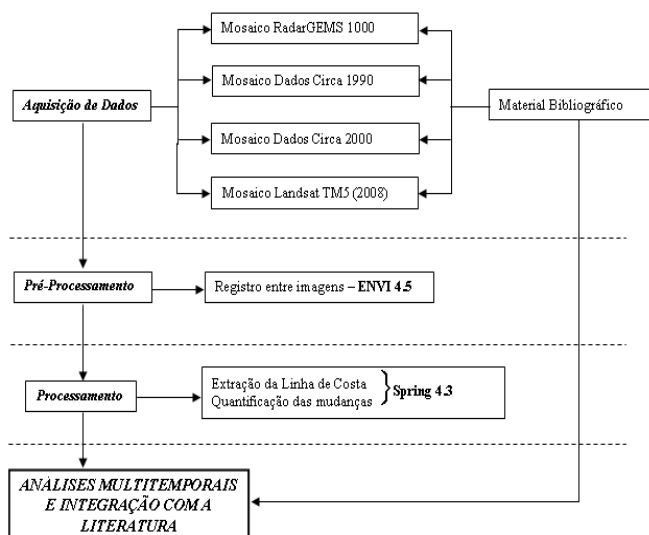


Figura 2: Fluxograma metodológico das etapas de realização deste estudo.

Na etapa de aquisição de dados, os mosaicos Dados Circa 1990 e 2000 foram obtidos através de *download* do site da *Global Land Cover Facility* GLCF (<http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>). Um mosaico Landsat TM5 com imagens do ano de 2008 foi cedido pelo Sistema de Proteção da Amazônia - SIPAM/CR-BE. O mosaico RadarGEMS 1000 utilizado foi o mesmo elaborado por Silva (2010), cujas cenas originalmente foram produzidas como subsídio aos levantamentos do Projeto RADAM (1974) (Tabela 1).

Tabela 1: Características dos dados utilizados.

Satélite	Sensor	Folhas/Ponto Órbita/	Data	Resolução Espacial (m)	Bandas (RGB)
Radar	GEMS 1000	NA-22-Y-B NA-22-Z-A NA-22-V-B SA-22-V-B	Janeiro/1972	28,5	X
Mosaico Dados Circa 1990	TM 5	225/59 225/60 226/60	08/08/1992 15/07/1986 23/08/1986	28,5	7, 4, e 2
Mosaico Dados Circa 2000	ETM+7	225/59 225/60 226/60	18/11/2000 31/10/2000 19/08/2000	28,5	7, 4, e 2
Mosaico Landsat	TM 5	225/59 225/60 226/60	29/09/2008 11/07/2008 19/08/2008	28,5	5, 4 e 3

Na etapa de Pré-processamento realizou-se o processamento digital de imagens através do registro. Este processamento caracteriza-se como o ajuste entre as imagens quanto ao sistema de coordenadas dado em pixel/linhas, tomando uma imagem como referência no processamento (CRÓSTA, 1992). Neste estudo adotou-se o mosaico Dados Circa 2000 (Tabela 01) como referência para o registro dos demais dados usados, a utilização deste dado deve-se ao mesmo encontrar-se originalmente com correção de alta precisão e com erro menor que 50 metros (TUCKER *et al.*, 2004).

O registro entre imagens foi realizado no *software* ENVI v. 4.5, na função *Registration*. Com a realização deste procedimento gerou-se o quadro de erros no registro das imagens (Tabela 2) e com isto analisar os erros inerentes ao processamento e às imagens, evitando assim não confundir-lo com modificações nas ilhas costeiras.

Tabela 2: Cálculo dos erros geométrico individual e cumulativo após a etapa de pré-processamento (Registro).

Mosaico/ano	Erro Geométrico Individual				Erro Geométrico Cumulativo	
	Resolução (m)	RMS (pixel)	Erro Linear (km)	Erro (km ²)	Períodos Analisados	Erro (km ²)
RadarGEMS (1972)	28,5	1.8	0,0513	0,0026	1972-1986	+/-0.0031
Dados Circa 1990 (1992) (225/59)	28,5	0.8	0,0228	0,0005	1972-1992	+/-0.0031
Dados Circa 1990 (1986) (225/60 e 226/60)	28,5	0.8	0,0228	0,0005	1986-2000	+/-0.0028
Dados Circa 2000	28,5	1,7	0,0484	0,0023	1992-2000	+/-0.0028
Landsat TM5 2008	28,5	0.9	0.0256	0.0006	2000-2008	+/-0.0029
					1972-2008	+/-0.0032

O quadro de erros geométricos máximos (cumulativos) implica, por exemplo, que para a análise multitemporal nos períodos de 1972-1986 e 1972-1992, mudanças nas ilhas iguais ou menores que +/-0.0031km² não foram consideradas como variações da linha de costa.

As linhas de costa foram extraídas manualmente no *software* Spring v. 5.0 considerando a linha de vegetação, marcador de mudanças do geoindicador linha de costa (BERGER, 2006). Para quantificação das mudanças foram gerados polígonos que

posteriormente foram exportados para o *software* ArcView v. 3.2, para geração dos mapas de mudanças.

A análise da dinâmica de mudanças das ilhas costeiras foi realizada por regiões, baseando-se na localização geográfica e na divisão da costa em função das características do litoral quanto à ação dos processos estuarinos e marinhos predominantes de acordo com dados de MMA (1996), Silveira (1998) e Santos (2006). Assim, foi realizada a análise das ilhas costeiras de influência marinha (ilhas de Maracá e Jipióca) e das ilhas costeiras de influência flúvio-estuarina (ilhas do arquipélago do Bailique, ilhas Pedreiras, ilha de Santana, ilha Periquitos e ilha Cajari).

3. Resultados e Discussão

3.1. Ilhas costeiras de Influência Marinha

As ilhas de influência marinha, ilha de Maracá e ilha Jipióca, fazem parte de uma unidade de conservação denominada Estação Ecológica de Maracá e Jipióca (ESEC Maracá-Jipióca), criada em 02 de Junho pelo Decreto Federal nº 86.061 (DRUMMOND *et al.*, 2008).

3.1.1. Ilha de Maracá

A ilha de Maracá apresentou aspecto predominantemente erosivo principalmente no período de 1972-2008, que registrou uma erosão linear de 2.7 km (+/-0.0769 km) (Tabela 3 e Figura 3A).

Tabela 3: Quantificação das mudanças na área da ilha de Maracá.

Ano	Área (km ²)	Intervalos de Análise	Erosão (km ²)	Erro (+/-km ²)
1972	592,4	1972-1992	51,6	0.0031
1992	540,8	1992-2000	26,9	0.0028
2000	513,9	2000-2008	17,5	0.0027
2008	496,4	1972-2008	96	0.0058

As áreas erosivas concentram-se nas porções Norte e Leste que são marcadas segundo FARIA Jr. *et al.*, 1990b pela ocorrência de terraços de abrasão marinha, expostos em maré baixa, sendo vinculados a ação diária de ondas e correntes de marés. Essa caráter erosivo do setor onde a região costeira onde a ilha de Maracá está inserida é demonstrado por Mendes (1994) quando classifica a linha costa nesse setor como do tipo denteada (dente de serra).

3.1.2. Ilha Jipióca

A ilha aparece apenas em três mosaicos referentes aos anos de 1972, 1992 e 2000. No ano de 1972 esta ilha posicionava-se em uma zona diferente de sua localização atual. No ano de 2008, a ilha não foi registrada no mosaico. As mudanças de áreas para esta só foram registradas então para o período de 1992-2000, com perdas de áreas de 12,8 km² (+/-0.0028 km²) (Tabela 4 e Figura 3B).

Tabela 4: Mudanças identificadas na área da ilha Jipióca.

Ano	Área (km ²)	Intervalos de Análise	Erosão (km ²)	Erro (+/-km ²)
1972	3,5	1972-1992	-	0.0031
1992	14,2	1992-2000	12,8	0.0028
2000	1,41	2000-2008	-	0.0027

2008	-	1972-2008	-	0.0058
------	---	-----------	---	--------

A dinâmica de mudanças na ilha de Jipióca já tinha sido detectada nos estudos de ZEE (1998) que considera a área onde a ilha está inserida como vulnerável à erosão. Miranda (2009) advoga que a dinâmica de mudanças natural a esta ilha pode estar associada a presença do Canal do Varador que separa esta ilha do continente e que pode funcionar como um receptor e/ou dissipador de material em suspensão oriundo do rio Amazonas, que adentram o canal pela porção Sul.

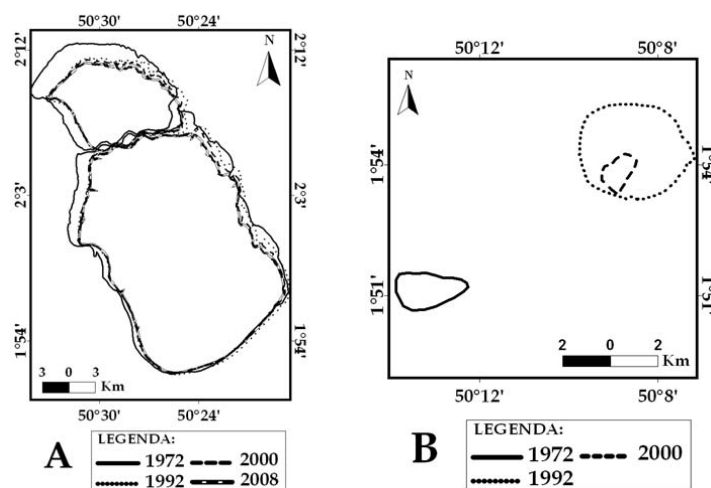


Figura 3: Principais modificações na linha de costa das ilhas costeiras de influência marinha nos anos de: 1972, 1992, 2000 e 2008. **A** – Ilha de Maracá e **B** – Ilha Jipióca.

3.2. Ilhas costeiras de Influência Fluvio-Estuarina

As ilhas costeiras de influência fluvio-estuarina localizam no setor estuarino da costa do Amapá, são influenciadas pelo Canal Norte do rio Amazonas, portanto, regidas principalmente pelos processos fluviais (MMA, 1996). No entanto esta área também é atingida por processos oceanográficos associados às marés que adentram o rio Amazonas por cerca de 800 km (SANTOS, 2006) até a cidade de Óbidos. As ilhas que fazem parte deste setor costeiro são: ilhas do arquipélago do Bailique, ilhas Pedreiras, ilha de Santana e ilha Cajari.

3.2.1. Arquipélago do Bailique

As ilhas que compõem o arquipélago do Bailique são: Curuá, Marinheiro, Bailique, Franco, Brigue, Faustino, Meio e Parazinho (SILVEIRA *et al.* 2002). Entretanto, para facilitar a análise multitemporal destas ilhas são consideradas as mudanças espaciais para todo o arquipélago nos períodos analisados.

As zonas de maiores mudanças localizaram-se na porção nordeste no arquipélago (Tabela 5 e Figura 4A). Nesta área entre os anos de 1972 a 2008 o crescimento linear foi de aproximadamente 9,8 km (+/-0.0769 km). Ressalta-se ainda que também registrou-se áreas erosivas na porção a Sul do Arquipélago, na ilha do Curuá, na ordem de 1,2 km (+/-0.0769 km) entre os anos de 1972 a 2008.

Tabela 5: Mudanças identificadas na área do arquipélago do Bailique.

Ano	Área (km ²)	Intervalos de Análise	Acresção (km ²)	Erro (+/-km ²)
1972	567,0	1972-1992	53,4	0.0031
1992	620,4	1992-2000	11,4	0.0028

2000	631,8	2000-2008	18,1	0.0027
2008	649,9	1972-2008	82,9	0.0058

Para Silveira *et al.* (2002) a dinâmica de mudanças no arquipélago é potencializada pelo sistema de dispersão do rio Amazonas aliado aos ventos alísios de sudeste que convergem para a região, gerando modificações nas redes de drenagens locais e por conseguinte na morfologia das ilhas.

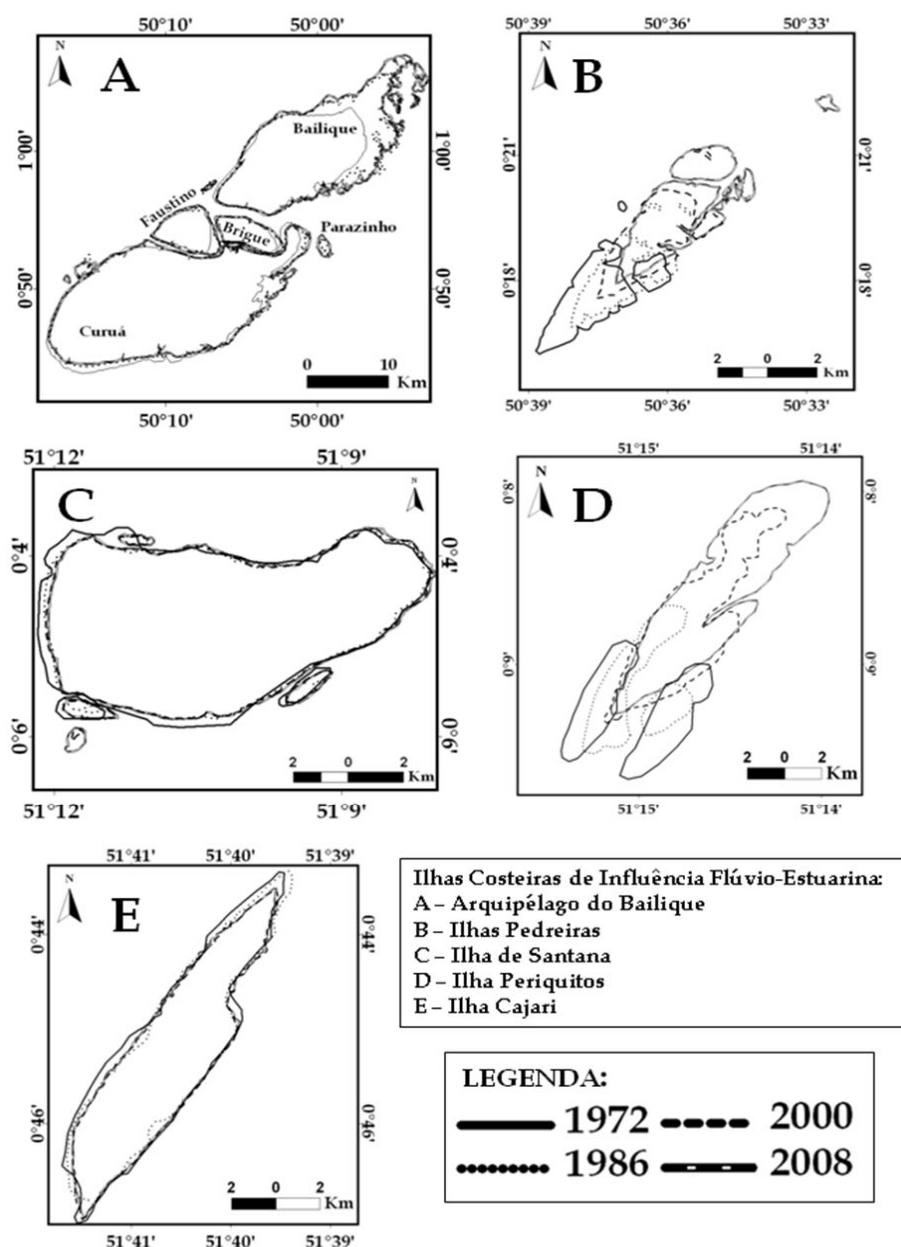


Figura 4: Principais modificações na linha de costa das ilhas costeiras de influência Flúvio-Estuarina nos anos de 1972, 1992, 2000 e 2008. A) Arquipélago do Bailique, B) Ilhas Pedreiras, C) Ilha de Santana, D) Ilha Periquitos e E) Ilha Cajari.

3.2.2. Ilhas Pedreiras

As ilhas Pedreiras, localizadas a Norte da cidade de Macapá, apresentaram nos períodos analisados mudanças em áreas acrescidas e erosivas e uma visível migração de sua localização geográfica (Tabela 6, Figura 4B).

O deslocamento da ilha entre 1972 e 2008 foi de 4,3 km (+/-0,0769 km) com um acréscimo de 3,9 km² (+/-0.0058 km²) em área.

Tabela 6: Mudanças identificadas na área das ilhas Pedreiras.

Ano	Área (km ²)	Intervalos de Análise	Acresção (km ²)	Erosão (km ²)	Erro (+/-km ²)
1972	10,14	1972-1986	-	2,46	0.0031
1986	7,68	1986-2000	2,57	-	0.0028
2000	10,25	2000-2008	3,83	-	0.0027
2008	14,08	1972-2008	3,94	-	0.0058

Torres & El-Robrini (2006) destacam que a migração da ilha Pedreiras ocorre devido a erosão de sua porção Sul e a posterior deposição em sua porção Norte. Os autores destacam ainda que a dinâmica espacial desta ilha esta intrinsecamente ligada à interação de processos fluviais e costeiros por efeito da maré.

3.3.3. Ilha de Santana

A ilha de Santana está separada do continente pelo canal de Santana, recebe a influência direta dos rios Matapi e Vila Nova que deságuam na área. Esta área é estratégica para o Estado, pois nela localiza-se o porto de embarque e desembarque de cargas e pessoas (Santos e Figueira, 2000). As maiores mudanças concentraram-se na porção Oeste e em pequenas ilhas que localizam-se próxima a ilha de Santana (Tabela 7, Figura 4C), com áreas erosivas próximo a confluência do canal de Santana com a foz do rio Matapi, indicando que as mudanças registradas podem estar associadas a direções de encontro de correntes registrada no canal de Santana.

Tabela 7: Mudanças identificadas na área da ilha de Santana.

Ano	Área (km ²)	Intervalos de Análise	Acresção (km ²)	Erosão (km ²)	Erro (+/-km ²)
1972	21,6	1972-1986	-	1,39	0.0031
1986	20,2	1986-2000	0,05	-	0.0028
2000	20,3	2000-2008	0,3	-	0.0027
2008	20,6	1972-2008	-	1,0	0.0058

3.3.4. Ilha Periquitos

A ilha Periquitos, localiza-se cerca de 5,8 km da ilha de Santana. No ano de 1972 esta ilha apresentava-se morfologicamente compartimentada em duas com um canal separando-as, permanecendo desta forma até o ano de 1986. Nos anos seguintes de análise (2000 e 2008) as duas ilhas consolidam-se em uma única área (Tabela 8, Figura 4D,). Registrou-se um deslocamento de 0,7 km (+/-0,0769 km) entre 1972 e 2008.

Tabela 08: Mudanças identificadas na área da ilha Periquitos.

Ano	Área (km ²)	Intervalos de Análise	Acresção (km ²)	Erro (+/-km ²)
1972	0,9	1972-1986	0,19	0.0031
1986	0,7	1986-2000	0,58	0.0028
2000	1,3	2000-2008	0,60	0.0027
2008	1,9	1972-2008	0,99	0.0058

Silva (2010) destaca que eventos deposicionais podem ser os responsáveis pelo fim do canal que dividia a ilha e conseqüentemente foi responsável por sua atual morfologia, que aparentemente segue o deslocamento do sistema de dispersão do rio Amazonas neste setor costeiro.

3.3.5. Ilha Cajari

A ilha Cajari no canal Norte do rio Amazonas. Esta ilha apresentou as menores mudanças de áreas em função da erosão comparada as demais ilhas costeiras de influência fluvio-estuarina. Em todos os períodos analisados, a erosão foi predominante e concentrou-se na porção Norte da ilha Cajari (Tabela 9, Figura 4E). Diferentemente das demais ilhas costeiras de influência fluvio-estuarina que apresentaram um padrão de crescimento, a ilha Cajari vem diminuindo a sua área, sobretudo em sua porção Norte, que entre 1972 e 2008 a erosão recuou cerca de 0,3 km (+/-0,0769 km).

Tabela 9: Mudanças identificadas na área da ilha Cajari.

Ano	Área (km ²)	Intervalos de Análise	Acresção (km ²)	Erosão (km ²)	Erro (+/-km ²)
1972	8,5	1972-1986	-	0,8	0.0031
1986	7,7	1986-2000		0,2	0.0028
2000	7,5	2000-2008	0,07	-	0.0027
2008	7,6	1972-2008	-	0,9	0.0058

4. Conclusões

Nas ilhas costeiras de influência marinha (Maracá e Jipióca) a erosão foi a mudança predominante, nestas ilhas a dinâmica de mudanças ocorreu mais significativamente na porção Leste, o que permite indicar a influencia de forçantes de ondas desencadeadas pelos ventos alíseos vindos de Nordeste e marés no processo de mudanças, já discutidos por vários autores.

Nas ilhas costeiras de influência fluvio-estuarinas (arquipélado do Bailique, Pedreiras, Santana, Periquitos e Cajari) a acresção foi a mudança preponderante, destacando-se transformações morfológicas, como no arquipélago do Bailique. Nas ilhas dentro do Canal do Norte (Pedreiras e Periquitos) identificou-se um deslocamento espacial, correlacionado provavelmente à correntes fluviais do rio Amazonas.

Vale ressaltar que em estudos desta natureza é indiscutível o papel que o sensoriamento remoto e os Sistemas de Informações Geográficas SIG's representam como instrumentos de monitoramento espacial das áreas costeiras, capazes de mensurar e acompanhar as mudanças na linha de costa e seu deslocamento, sendo, portanto, ferramentas na geração, atualização de informações e desenvolvimento de cenários de mudanças em função de prováveis mudanças globais.

Agradecimentos

As autoras agradecem ao projeto Integração de Dados Geológicos, Geofísicos e Geoquímicos na Reconstrução da Paleogeografia da Costa Amazônica do Neógeno ao Recente - AMASIS, onde este estudo esteve vinculado e ao Laboratório de Sensoriamento Remoto Aplicado a Ambientes Aquáticos IEPA/NuPAq, local de realização deste estudo.

Referencias Bibliográficas

- Crósta, A. P. 1992. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas. SP: IG/UNICAMP. 170p.
- Berger, A. R. 1996. **The geoinicator concept and its application: an introduction**. In.: A. R. BERGER & W. J. IAMS (eds.). *Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems*. Rotterdam, A. A. Balkema. p.1-14.
- Drummond, J. A.; Dias, T. C. A. C.; Brito, D. M. C. 2008. **Atlas das Unidades de Conservação do Estado do Amapá**. MMA/IBAMA-AP, GEA/SEMA. 128p.
- Faria Jr., L. E. do C.; Nittrouer, C.A.; Rine, J.M.; Allison, M.A.; Kuehl, S.A.; Segall, M.P.; Mendes, A.C.; Vital, H.; Ferreira, M.R. & Figueiredo, A.G. 1990b. **Evolução Geológica Recente da Costa do Amapá - Região da Ilha de Maracá/Cabo Norte**. IN.: 36º Congresso Brasileiro de Geologia. Natal/RN. V.2. p. 662-675.
- Faria, M. M. 2005. **A dinâmica das ilhas na desembocadura norte do rio Amazonas**. In. : X Congresso ABEQUA. Guarapari-ES, ABEQUA, Cd-Rom.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, DOS RECURSOS HIDRICOS E DA AMAZÔNIA LEGAL. **Perfil dos Estados Litorâneos do Brasil: subsídio para implementação do Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro**, Brasília, Brasil,1996.
- Miranda, A. G. O. 2009. **Morfodinâmica no Canal do Varador da Estação Ecológica Maracá/Jipiôca-Ap**. Relatório Técnico do Projeto AMASIS. Macapá: IEPA/UFRN/UFPA.
- Silva, M. V. 2010. **Análise Multitemporal Quantitativa da Linha de Costa Amapaense Aplicando Dados de Sensores Remotos Óticos e Radar (1972-2000)**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Amapá. Macapá. 122 p.
- Silveira, O. F.; Santos, V. F. 2006. **Aspectos Geológicos-Geomorfológicos da Região Costeira entre o Rio Amapá Grande e a Região dos Lagos do Amapá**. In: Projeto de conservação e utilização sustentável da diversidade biológica brasileira – PROBIO. Macapá, AP. Relatório Técnico-Científico Meio Físico. 196p.
- Silveira, O. F.; Santos, V. F.; Martins, M. H. A.; Monteiro, C. J. 2002. **Dinâmica Morfológica na Foz do Rio Amazonas através de Análises Multitemporais de Imagens de Satélites**. IN: VI WORKSHOP ECOLAB: Ecossistemas Costeiros Amazonicos.
- Silveira, O. F. M. *et al.* 2002. **Estudo de Criação da Unidade de Conservação da Foz do rio Amazonas**. IN.: Programa de Desenvolvimento do Ecoturismo na Amazônia Legal – PROECOTUR. Macapá, AP: MMA/PROECOTUR/GEA/SETEC/SEICOM.
- TORRES, A. M.; EL-ROBRINI, M. 2006. **Amapá**. IN: MUEHE, (org), 2006. *Erosão e Progradacão do litoral Brasileiro*. Brasília: M.M.A. 475p.
- Tucker, C. J.; GRANT, D. M. & DYKSTRA. 2004. **NASA'S Global Orthorectified Landsat Data Set**. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70 (3): 313-322.