

PROCESSOS COSTEIROS: EROSÃO EM ATAFONA E PROGRADAÇÃO EM GRUSSAÍ, SÃO JOÃO DA BARRA (RJ) – MORFOMETRIA PARA RETRATAÇÃO ESPACIAL DESSES EVENTOS E IDENTIFICAÇÃO DE SUA TENDÊNCIA EVOLUTIVA

RIBEIRO, G. P.

UERJ, Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Cartográfica
UFF, Instituto de Geociências, Departamento de Análise Geoambiental
Tel.: (21) 2629-5942, 2587-7716 – pessanha@uerj.br, gilberto@vm.uff.br

FIGUEIREDO JR., A. G. DE

UFF, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia
Laboratório de Geologia Marinha - LAGEMAR
Tel.: (21) 2629-5938 – alberto@igeo.uff.br

ROSAS, R. O.

UFF, Instituto de Geociências, Departamento de Geografia
Laboratório de Geografia Física Aplicada
Tel.: (21) 2629-5944 – reiner@vm.uff.br

RESUMO

O trabalho consiste na apresentação dos resultados obtidos através de pesquisa aplicada desenvolvida pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) – Faculdade de Engenharia e Universidade Federal Fluminense (UFF) – Instituto de Geociências, onde foi analisada a evolução dos processos de erosão e de progradação observados nas praias de Atafona e de Grussaí, respectivamente, localizadas no município de São João da Barra (RJ), no norte-fluminense. A planície quaternária do rio Paraíba do Sul é caracterizada por terraços Pleistocênicos e por uma seqüência de cordões arenosos na planície Holocênica. Ela tem sido pesquisada por meio de imagens sensoriais, com o propósito de identificação da configuração espacial de feições costeiras relacionadas com a tendência da variação da linha de costa nos últimos anos. Também tem sido alvo de investigações sobre paleoambientes recentes diante dos agentes que interferem nos processos costeiros. Na metodologia empregada foram utilizadas fotografias aéreas históricas para extração da linha de costa, sendo posteriormente comparadas suas posições espaciais. Foram executados levantamentos de campo com uso do sistema GPS de posicionamento geodésico, no modo relativo e cinemático, para estabelecimento da configuração espacial da linha de costa em levantamentos mensais que foram executados desde janeiro de 2004 até dezembro de 2005. Tais resultados são apresentados graficamente e representam requisitos básicos para o mapeamento de indícios desses eventos naturais, em função de ação agressiva de ondas, ventos e marés. A análise espacial desses fenômenos permitiu conhecer a tendência de variação da linha de costa e associá-la às feições geomorfológicas contidas na zona litorânea e na planície costeira do rio Paraíba do Sul: cordões arenosos; dunas; ilhas fluviais; ilhas barreiras; depósitos lamosos; e pontal arenoso. Associar esses objetos geográficos aos agentes dos processos costeiros torna-se importante para o conhecimento da dinâmica na foz do rio e no litoral imediatamente localizado em sua parte meridional.

Palavras-chave: praias, erosão, progradação, paleoambientais recentes.

INTRODUÇÃO

A dinâmica costeira observada na zona litorânea, exatamente na parte meridional da foz do rio Paraíba do Sul, no norte-fluminense, nos últimos anos tem sido objeto de investigação, estudos e também recentes pesquisas aplicadas com o propósito de reunir informações que permitam conhecer o seu comportamento ao longo do tempo. A partir de janeiro de 2004 vem sendo desenvolvido projeto de pesquisa, financiado pelo CNPq, liderado pelo Departamento de Geologia da Universidade Federal Fluminense (UFF), com

parceria formal do Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), onde foram produzidos mapas temáticos que retrataram a tendência da linha de costa, numa extensão aproximada de 8 km, compreendendo áreas urbanas das praias de Atafona e de Grussaí, localizadas no município de São João da Barra (RJ). Objetos extraídos de imagens digitais (essencialmente fotografias aéreas métricas) foram analisados e associados às feições costeiras importantes para a busca de entendimento sobre os processos costeiros envolvendo erosão e progradação nessas praias urbanizadas, com ocupação caracterizada basicamente por casas de veranistas, isto é, população temporária flutuante. Os agentes, isto é, as forças oceanográficas, têm atuado nesta zona litorânea com intensidades variáveis ao longo do tempo. A frequência, direção e intensidade dos ventos, associados ao regime de ondas e às marés são fatores contribuintes diretamente nesses processos.

A foz do rio Paraíba do Sul, onde a área de estudo se localiza é tratada como delta em cuspide, dominado por ondas (Suguió, 1981) e possui um cenário de vegetação de mangue, ilhas fluviais e zonas arenosas (pontal e esporão). Dias (1981) afirmou que, aparentemente, o fator que provoca erosão em Atafona é o desequilíbrio do balanço entre o aporte sedimentar e a deriva litorânea. Estudos sobre o balanço sedimentar na foz estão em desenvolvimento e têm tido apoio de coleta de sedimentos de fundo do rio para associação com sua vazão nos últimos anos. O fenômeno erosivo está ainda sendo submetido a pesquisas especializadas nas áreas de Geologia e Geomorfologia, pois há hipóteses ainda não completamente testadas. Dentre as causas naturais da erosão costeira há aquelas relacionadas com circulação costeira; morfodinâmica praial; aporte sedimentar ineficiente com retenção de sedimentos na plataforma continental e/ou nos campos de dunas; modificações na deriva litorânea; balanço sedimentar negativo; elevação do nível do mar; e, por último, fatores tectônicos (Souza *et al.* 2005). Resta saber em que medida os fatores que atuam e já atuaram na área de estudo influenciam os cenários analisados, tendo como base as épocas em que se extraiu valores a partir das fotografias aéreas. A complexidade do conjunto de fatores que modificam o cenário estimula pesquisas aplicadas que direcionam idéias e testam hipóteses sobre as causas e os prováveis futuros efeitos sobre a área urbana existente e o cotidiano da população local. O presente trabalho contribui na apresentação de resultados conclusivos a partir da aplicação de métrica sobre as feições costeiras, estabelecendo sua relação com os indícios existentes na planície costeira que apontam sua origem e as caracteriza como sujeitas a eventos naturais. Para isso foram realizados levantamentos topográficos locais com estação total, com precisão milimétrica, onde foi

possível obter o mapeamento do relevo em 3D, com uso de interpolador vinculado à modelagem numérica do terreno. Para as épocas de 1954, 1964, 1974 e 2000 foi extraída, de fotografias aéreas georreferenciadas com pontos de campo com GPS geodésico, a linha de costa que sofreu variações expressivas de posição. Essas fotos foram registradas a partir de pontos de controle medidos com o sistema GPS no campo, no modo relativo estático com precisão nominal de $5\text{mm} \pm 0,5\text{ppm}$.

Planos diretores municipais e projetos técnicos associados às diretrizes de ocupação e uso do solo podem e devem ter apoio científico nos resultados alcançados em pesquisas dessa natureza. Atividades extensionistas têm sido executadas também junto à comunidade local, informando, por exemplo, através de mapas temáticos impressos, sobre o comportamento dos processos costeiros lá em curso.

O propósito geral é apresentar, através de mapas temáticos, a evolução dos processos de erosão e progradação na zona litorânea entre Atafona e Grussaí, como subsídio para interpretações geológicas e geomorfológicas. Como objetivos específicos: (a) descrição das etapas adotadas no processo de georreferenciamento de imagens digitais; (b) descrição do processo de tratamento das imagens de forma que garanta métrica segura; (c) relato sobre método de extração da linha de costa a partir das imagens; (d) estratégia para o estabelecimento da posição espacial atual da linha de costa e da falésia ativa com uso do sistema GPS, modo relativo cinemático; (e) apresentação gráfica da mobilidade da linha de costa sua tendência evolutiva; e (g) interpretação dos resultados obtidos, com foco nos processos costeiros e seus possíveis agentes, analisando aspectos geomorfológicos.

ÁREA DE ESTUDO

A Figura 1 a seguir ilustra a área de estudos, localizada no município de São João da Barra (RJ), no trecho compreende as citadas praias.

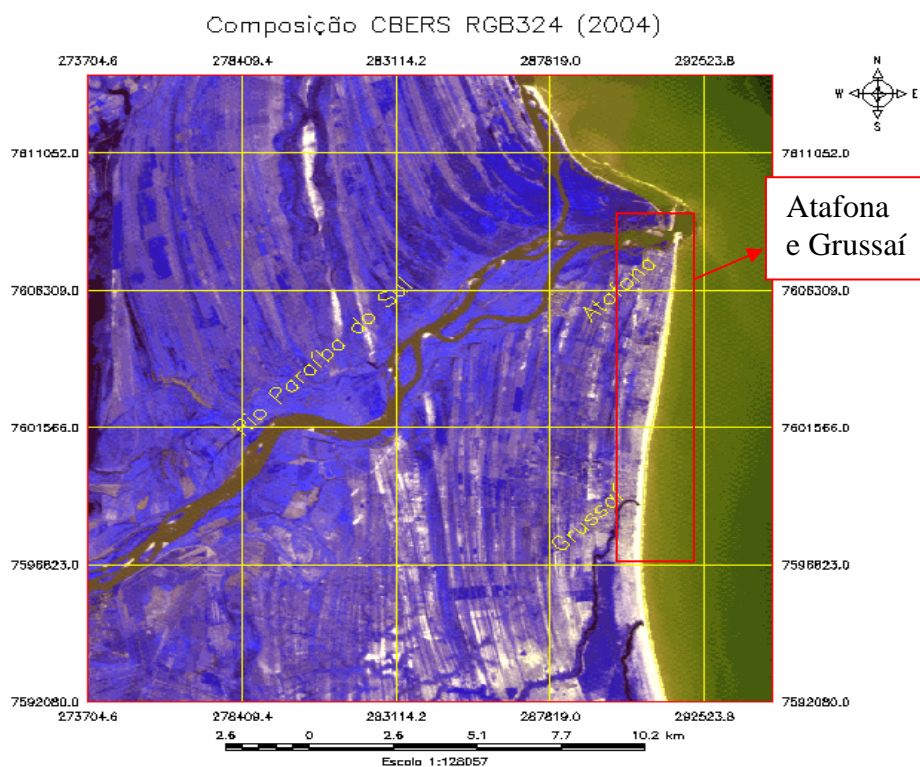


Figura 1: Localização da área de estudos.

Diante do cenário dramático em Atafona, com destruição, desde a década de 50, pela ação efetiva das ondas, de 183 construções, distribuídas em 14 quadras, a população local, seus dirigentes e administradores públicos indagam sobre suas causas e sua evolução para os próximos anos. A velocidade com que a erosão tem atuado na área de estudos chega a alcançar uma taxa de 7,8m/ano, em pontos mais críticos, próximos ao pontal arenoso, imediatamente na parte meridional da foz do rio Paraíba do Sul. Essa velocidade se reduz quando se desloca para sul, possuindo valores médios de 3m/ano e 4/ano em trechos já estudados de forma sistemática. A reunião de dados físico-ambientais contínuos em séries históricas possibilitar análise completa para compreensão dos fenômenos em questão. O uso de imagens digitais georreferenciadas para os anos de 1954, 1964, 1974 e 2000, com extração de objetos através de sua geometria, tem permitido a realização de análise da tendência da variação da linha de costa, para essas épocas específicas.

METODOLOGIA

A planície Quaternária do rio Paraíba do Sul é limitada pelos terraços Holocênico e Pleistocênico. É caracterizada por feições costeiras marcantes do processo de evolução do delta, a saber, cordões arenosos compostos por cristas e cavas distribuídos por feixes com divergências ou discordâncias em sua orientação azimutal. Esses cordões são paleopraias que sofreram no passado geológico ação de agentes que provocaram outros episódios

erosivos, muito possivelmente semelhantes ao atual, durante a formação da planície deltaica, por ação marinha. Diante das fotografias aéreas disponíveis e de uso de tecnologias digitais de geoprocessamento foi possível determinar a configuração espacial da linha de costa e compará-las entre si. Desde janeiro de 2004 foram medidas com GPS, no modo relativo cinemático, as posições da linha d'água e da falésia ativa (escarpa erosiva) com precisão geodésica. O propósito foi a determinação posicional da tendência da linha de costa, o que foi alcançado plenamente. Foi feito planejamento de pontos de controle, distribuídos de forma uniforme na zona litorânea de interesse imediato sobre a qual foram executadas operações métricas. Foram escolhidas estações no campo com facilidade de identificação nas imagens fotográficas. Criou-se um banco de dados no ambiente do sistema SPRING contendo as posições espaciais dessas feições e imagens digitais georreferenciadas, tendo como referências o sistema terrestre de coordenadas geodésicas e o sistema geodésico SAD-69 (datum horizontal). Em função de metodologia validada por Ribeiro *et al.* (2005) foram executados os processamentos das imagens previamente e a elaboração dos mapas representativos dos fenômenos estudados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da extração da linha de costa sobre as fotografias aéreas foi possível a elaboração dos mapas no SPRING que indicaram a tendência da sua variação ao longo do tempo. As Figuras tiveram como origem a linha de costa extraída das fotografias aéreas históricas. As medições feitas no campo com GPS foram necessárias para a geração dos mapas apresentados nas Figuras 6 e 7. Essas figuras 6 e 7, diferente das demais, possuem a linha de costa de 2004 e de 2005 plotadas nos mapas a partir dos levantamentos GPS executados no campo com precisão na ordem de $5\text{mm} \pm 5\text{ppm}$, no modo cinemático. Foi utilizada taxa de 2° para o armazenamento de coordenadas nos rastreadores GPS Ashtech Reliance e uma máscara de elevação dos satélites de 10° , isto é, não foram considerados durante o rastreamento os sinais de satélites GPS com altura menor do que 10° .

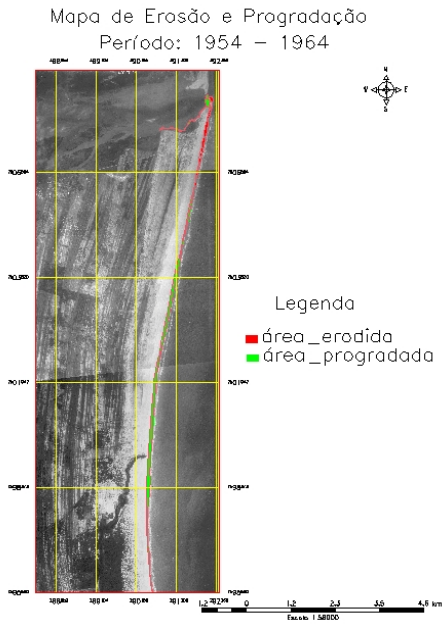


Figura 2: Variação entre 1954 e 1964.

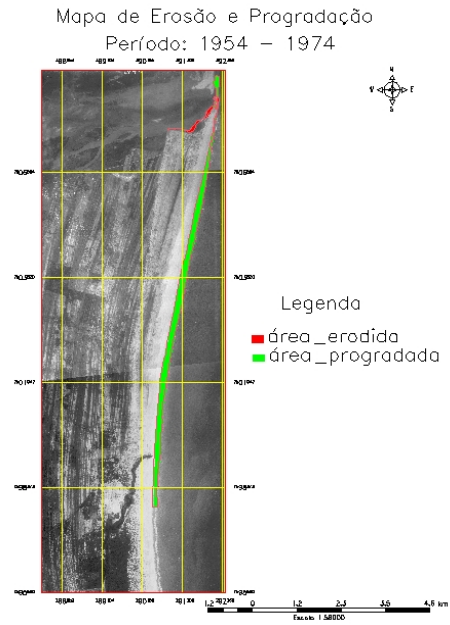


Figura 3: Variação entre 1954 a 1974.

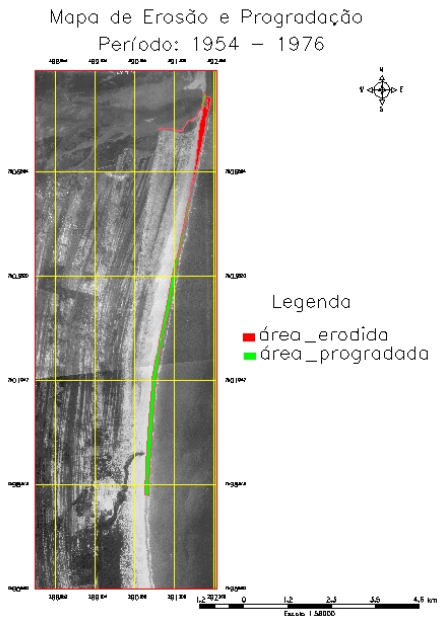


Figura 4: Variação entre 1954 e 1976.

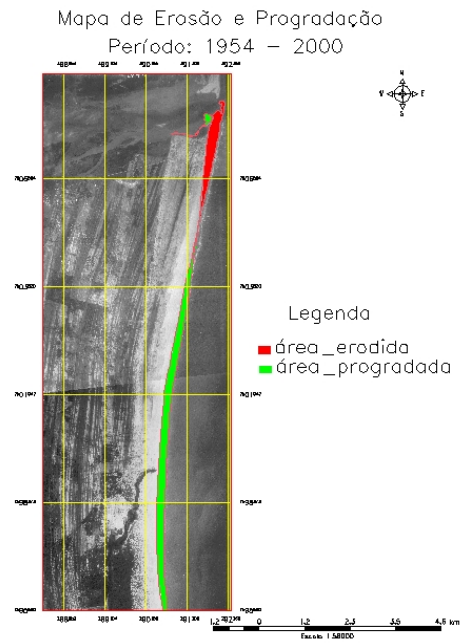


Figura 5: Variação entre 1954 e 2000.

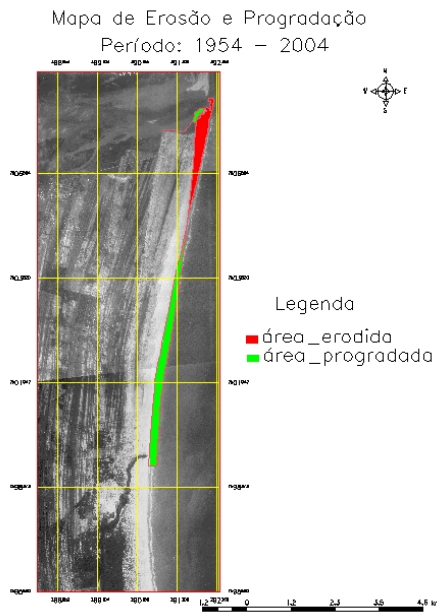


Figura 6: Variação entre 1954 a 2004.

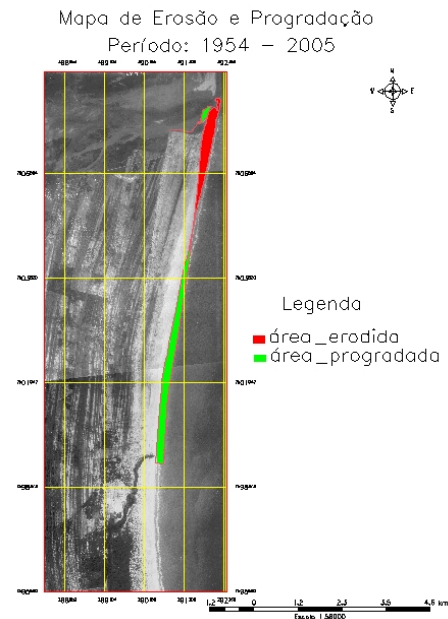


Figura 7: Variação entre 1954 e 2005.

A variação da linha de costa, nesta zona litorânea de aproximadamente 8 km, produziu os valores medidos de erosão e de progradação apresentados nas tabelas a seguir.

Tabelas 1: Áreas erodidas e perímetros correspondentes aos polígonos vetorizados, tendo como referência o cenário de 1954 em relação a outras datas posteriores.

Ano	1964	1974	1976
Área (m ²)	13.978	73.157	243.577
Perímetro (m)	6.135	3.611	7.779

Ano	2000	2004	2005
Área (m ²)	919.082	562.910	584.462
Perímetro (m)	8.581	7.514	8.039

Tabelas 2: Áreas progradadas e perímetros correspondentes aos polígonos vetorizados, tendo como referência o cenário de 1954 em relação a outras datas posteriores.

Ano	1964	1974	1976
Área (m ²)	546.549	1.456.685	689.672
Perímetro (m)	26.014	23.960	18.567

Ano	2000	2004	2005
Área (m ²)	1.725.906	1.110.602	1.053.747
Perímetro (m)	23.258	14.425	13.978

A execução do mapeamento do pontal arenoso de Atafona com o propósito de conhecer a mobilidade da linha de costa, revelou que o pontal teve sua forma muito alterada ao longo desses anos. O mesmo ocorreu na escala de tempo mensal, sendo que em menores proporções. Para o monitoramento da linha de costa no pontal arenoso de Atafona medidas com o sistema GPS, no modo relativo cinemático, as posições da linha de costa. Comprovaram caráter efêmero e dinâmico do contorno do pontal ao longo do tempo. A Figura 8, a seguir, indica a posição da linha de costa associada aos levantamentos mensais executados durante o ano de 2004. As linhas mensais estão apresentadas através de linhas contínuas coloridas.

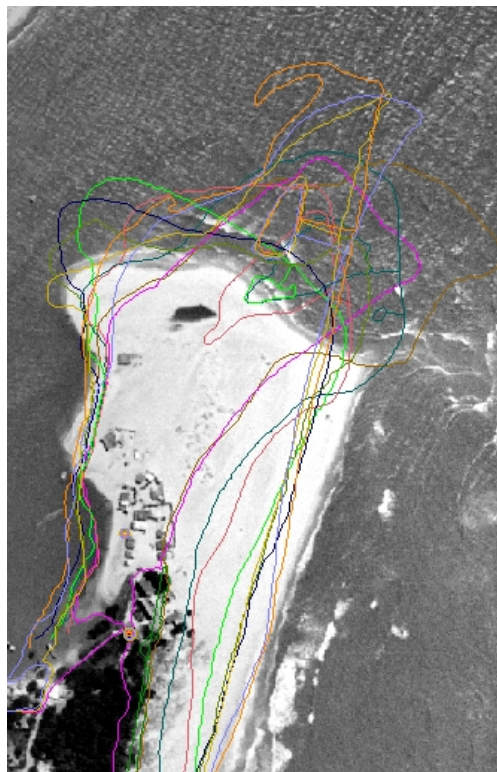


Figura 8: Variação da linha d'água a partir de levantamentos mensais executados com GPS em 2004, no pontal arenoso de Atafona.

Ao longo dos anos estudados o pontal arenoso se apresentou com formas diferentes, caracterizando erosão e progradação em épocas específicas (1954, 1964, 1974, 1976 e 2000). As condições ambientais e hidrodinâmicas a que este esteve submetido nas épocas são ainda desconhecidas, mas há os agentes fluvial e marinho presentes com influência marcante da ação de ondas e de variações na intensidade do molho hidráulico do rio Paraíba do Sul. Observou-se que na década de 70 (ano 1974) houve progradação do pontal, o que na ocasião estimulou a sua ocupação por quiosques e bares, além de construções populares (Figura 3). De 2000 até os dias de hoje a escarpa erosiva está localizada sobre a área urbana constituída de construções de

classes média, predominantemente de veranistas. A estratégia de ocupação futura deve levar em conta essa história recente de variação da linha de costa, permitindo identificar áreas de alto risco à população local.

A partir de análise da Figura 9 em laboratório de geoprocessamento, com uso do SPRING, mediu-se a taxa já citada de 7,8 m/ano. O fenômeno de erosão tem relação com a própria formação gradual do delta do rio Paraíba do Sul. Eventos dessa natureza já ocorreram e há cicatrizes disso na planície costeira. Analisando fotografias aéreas do ano de 2000 observou-se a existência de uma série de cordões arenosos que foram praias do passado. Foram identificados 13 sistemas de cristas.

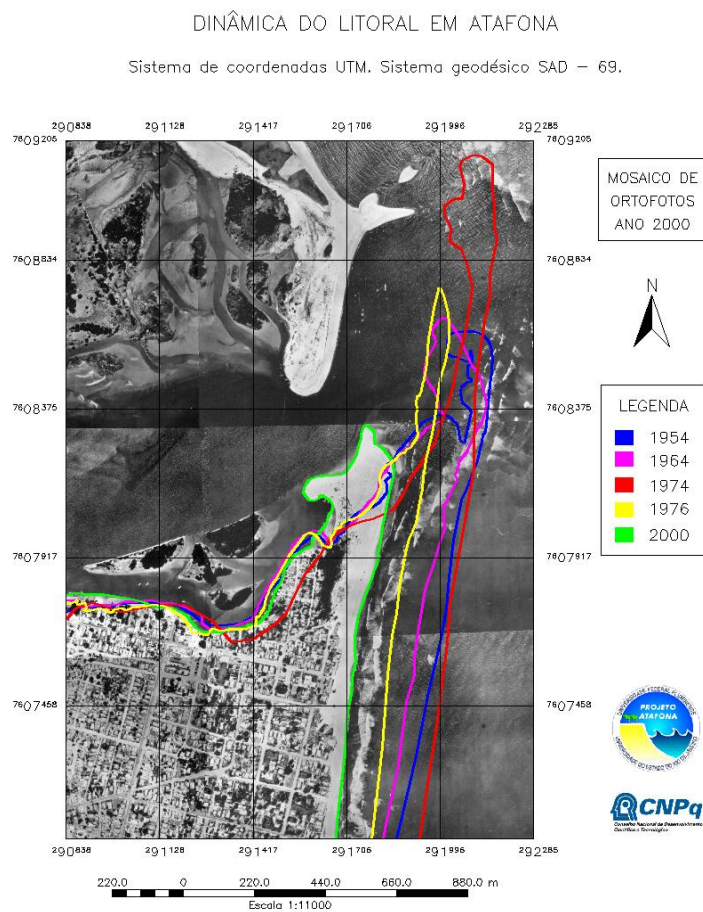


Figura 9: Variação do pontal arenoso.

A Figura 10 a seguir ilustra um conjunto de cristas de praia vetorizadas a partir das fotografias, caracterizando feixes que possuem orientações distintas (Vasconcelos *et al.*, 2005). Sobre esse mapa foi feito o planejamento e a execução de sondagens geológicas, onde foram coletados 25 testemunhos, com seleção de 10 amostras destinadas à datação. Essa etapa está em desenvolvimento e os resultados indicarão os

períodos estimados dos eventos erosivos do passado geológico, e permitirão compará-los com o evento que se vive hoje em Atafona. A integração desses dados com outros relativos à morfometria da feições indicará o que se busca: a posição estimada da linha da escarpa erosiva para os próximos anos sobre a área urbana.

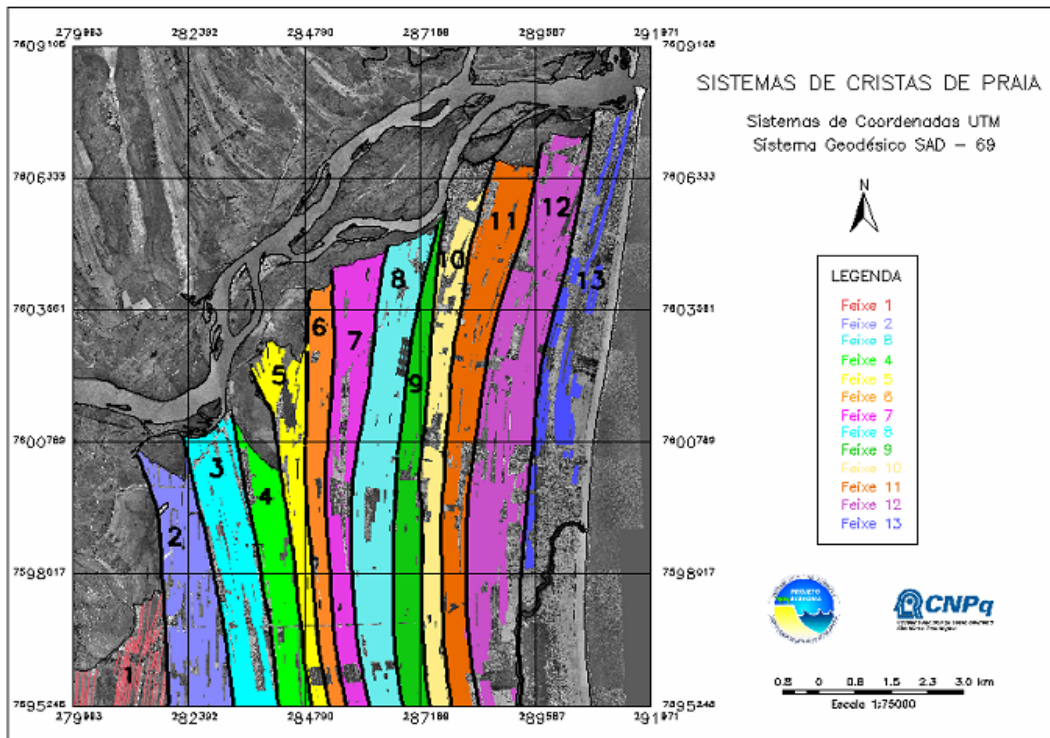


Figura 10: Mapa de cristas de praia.

CONCLUSÕES

O estágio atual do processo erosivo em Atafona é marcado pela ação ainda agressiva das ondas. Não há indícios de que o processo está estagnando. Interpretar os processos costeiros do ponto de vista geológico induz a entender que esses fenômenos geográficos dinâmicos possuem causas naturais. A partir da métrica obtida foi possível estimar a velocidade da erosão na zona de risco à erosão, o que permitirá revisão do plano diretor municipal. As taxas de erosão conhecidas ao longo da costa são pontuais, isto é, com a continuidade do levantamento das linhas no campo foi possível determinar a taxa por ponto na costa, por exemplo, na zona das caixas d'água (infraestrutura urbana localizada na zona de alto risco) é da ordem de 2,7m/ano. Determinar limites para áreas de construções leves e pesadas é uma saída para direcionar estratégias na ocupação. Medidas preventivas são bem vindas, diante do cenário crônico que hoje se vive em Atafona.

Desta forma o trabalho se torna pioneiro do ponto de vista de mapeamento, uma vez que foram produzidas apresentações gráficas das feições de interesse em mapas digitais. Como a erosão está diretamente associada ao ataque das ondas, que por sua vez tem sua intensidade e direção definida predominantemente pelos ventos, é imprescindível monitorar o seu comportamento ao longo do tempo. A erosão nessa zona diminui à medida que migramos para sul. A planície costeira e a área oceânica adjacente ao continente são ainda palcos de investigações, pois há temas como deriva litorânea e ação dos ventos que devem ser, com mais profundidade, investigados. Modelagem desses dados requer conhecer séries históricas de dados modelados a partir de esforços observacionais de campo por meio do uso de estações meteorológicas. Essa frente de trabalho está em curso e contribuirá com novos parâmetros físicos capazes de contribuir para a resposta da grande indagação da população local: “o mar vai destruir minha casa quando?”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ribeiro, Gilberto Pessanha *Tecnologias digitais de geoprocessamento no suporte à análise espaço-temporal em ambiente costeiro*. Tese de doutorado Programa de Pós-Graduação em Geografia UFF, 215p., 2005.

Ribeiro, Gilberto Pessanha; Figueiredo Jr, Alberto Garcia de; Vasconcelos, Sérgio Cadena de; Santos, Ricardo Alvares dos; Almeida, Anderson Gomes de. *Análise da configuração espacial da falésia ativa em Atafona, São João da Barra (RJ), a partir de dados DGPS de janeiro de 2004 a fevereiro de 2005*. In: X CONGRESSO DA ABEQUA, 2005, Guarapari (ES). Anais do X CONGRESSO DA ABEQUA, meio digital, 2005.

Ribeiro, Gilberto Pessanha; Pereira, Claudio Quaresma; Amorim, Sandro de Souza; Figueiredo Jr, Alberto Garcia de; Vasconcelos, Sérgio Cadena de; Santos, Ricardo Alvares dos. *Monitoramento espacial do pontal arenoso e da escarpa erosiva em Atafona, São João da Barra (RJ), com o apoio do sistema GPS e de estação total*. In: IX SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2005, Niterói (RJ). Anais do IX SIGEOSE, meio digital, 2005.

Ribeiro, Gilberto Pessanha; Rocha, Carlos Henrique de Oliveira; Figueiredo Jr., Alberto Garcia de; Silva, Cleverson Guizan; Silva, Suzana Hinds Ferreira da; Moreira, Priscila da Silva Costa; Guimarães, Maurício de Souza Dias; Aline Paraná; Pinna, Almeida, Anderson Gomes de; Pinna, Bruno Garbéro; Sousa, Cintia Faria de; Silva, Corbiniano; Santos, Ricardo Alvares dos; Vasconcelos, Sérgio Cadena de. *Análise espaço-temporal no suporte à avaliação do processo de erosão costeira em Atafona, São João da Barra (RJ)*. In: REVISTA BRASILEIRA DE CARTOGRAFIA, 2004, Presidente Prudente (SP), nº 56/02 – dezembro 2004, p. 129-138.

Vasconcelos, Sérgio Cadena de; Figueiredo JR, Alberto Garcia de; Ribeiro, Gilberto Pessanha; Silva, Cleverson Guizan; Almeida, Anderson Gomes de; Santos, Ricardo Alvares dos; Silva, Corbiniano; Silva, Suzana Hinds Ferreira da; Moreira, Priscila da

Silva Costa; Guimarães, Maurício de Souza Dias; Pereira, Aline Paraná; Pinna, Bruno Garbéro; Sousa, Cíntia Faria de. *Análise da erosão costeira em Atafona, São João da Barra (RJ), através de medições periódicas da linha d'água e da falésia ativa*. In: 42° CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2004, Araxá (MG). Anais do 42° Congresso Brasileiro de Geologia, meio digital. 2004. v.1, p.1-2.

VASCONCELOS, Sérgio Cadena de; Figueiredo Jr, Alberto Garcia de; Ribeiro, Gilberto Pessanha; Santos, Ricardo Alvares dos. *Análise da morfologia e dinâmica do delta do rio Paraíba do Sul (RJ) com suporte de tecnologias digitais de geoprocessamento*. In: XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 2005, São Paulo (SP). Anais do XI SBGFA 2005, meio digital, 2005.