

ANÁLISE DE SUPERFÍCIES DE TENDÊNCIA COM DADOS SRTM: ESTUDO DE CASO - DELTA DO RIO DOCE (ES)

Silvia Palotti Polizel ¹

¹ Divisão de Sensoriamento Remoto – DSR
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
polizel@dsr.inpe.br

Abstract: Trends in macro-scale relief may mask important forms of geomorphology that exist at smaller scales. Theoretically, the techniques of trend surface analysis are used to remove the global component of spatial data, in order to better understand local characteristics. Features of the coastal environment, such as deltas, provide a unique opportunity to test the trend surface analysis, since they usually contain large depositional units that hide local characteristics. The recognition of these local characteristics is fundamental to understanding the evolution of the landscape in the delta. The present work describes the application of the concept of trend surface to the delta of Rio Doce in municipality of Linhares in the state of Espírito Santo using altimetry data from a source remote sensing. Elevation data of the DEM - SRTM data were processed to obtain a surface of the tendency along the Delta of Rio Doce. A mask was applied to the DEM - SRTM to avoid areas of high relief and non-depositional land within the region. The trends were obtained in the data set through the application of polynomial regression equations. The analysis of the line adjustments and comparison of trends generated from the DEM - SRTM reveal that the surfaces of the second order were more accurate. Algebra maps with a simple subtraction of these trends MDE - SRTM was made, revealing the forms of relief sites along the delta of the Rio Doce. On the map of wastes generated by the trend surface of the second degree were classified components of the coastal deltaic feature. The results suggest that local topography plays an important role in understanding the regional relief and characterization of existing coastal environmental features in the delta of the Rio Doce.

Keywords: Geomorphology; Delta; Digital Elevation Model; Geoprocessing.

1. Introdução

1.1. Motivação

As regiões costeiras constituem um mosaico de diversos elementos, sendo alguns contemporâneos, enquanto outros são vestígios antigos, decorrentes de períodos em que o clima e o nível do mar poderiam ter sido semelhante ou diferente comparado com o verificado hoje. (GOUDIE, 2004).

Frequentes mudanças espaciais e temporais caracterizam o ambiente costeiro, resultando em uma variedade de feições geomorfológicas e geológicas. A complexidade de interação dos processos erosivos e deposicionais ocasiona o grande dinamismo costeiro. Em relação à zona costeira, ela pode sofrer à influência de fluxos de sedimentos advindos do sistema fluvial, os quais se relacionam de forma direta com os processos litorâneos, produzindo acentuada diversidade de ambientes deposicionais e, por consequência, de feições geomorfológicas (ROSSETTI, 2008).

Sobre as feições geomorfológicas, pode-se aferir que a geomorfologia estuda a forma do relevo para compreender os processos que o constituíram. Esta proposta irá considerar a geomorfologia costeira, a qual trabalha com o estudo da superfície costeira, com seus componentes, feições e processos. O crescimento das indústrias, das atividades agrícola, de transporte, recreação e o crescimento da população humana estão exercendo enormes pressões sobre os recursos costeiros. Para gerenciar essas atividades com o intuito de minimizar os impactos decorrentes destas, necessita-se compreender mais precisamente a natureza da dinâmica do relevo do litoral e da interação entre processos marinhos e terrestres.

A linha de costa sofre alteração devido às variações no nível do mar relativo, em direção à bacia oceânica e também em direção ao continente, configurando eventos de transgressão e regressão, respectivamente. Na área selecionada para esse trabalho, o delta do Rio Doce, verifica-se o processo de regressão. As regressões podem ser verificadas mesmo sob condições de elevado nível eustático, em situações de soerguimento e/ou elevado suprimento sedimentar (ROSSETTI, 2008).

Segundo Rossetti (2008), os deltas são configurados como ambientes deposicionais situados na foz de um rio, pois o acúmulo de sedimento é mais rápido do que seu retrabalhamento por processos atuantes na bacia de deposição, a qual pode ser caracterizada por um lago ou oceano. Os deltas provenientes de sistemas fluviais que desembocam em bacias marinhas são mais complexos que os deltas lacustres, devido sofrerem a influência dos diversos processos atuantes no litoral.

A constituição da morfologia deltaica pode ser compreendida pela análise da Figura 1. A morfologia deltaica origina-se de regimes deltaicos que são provenientes de alterações no clima e topografia. Essa morfologia pode ser construída por processos fluviais e/ou marinhos.

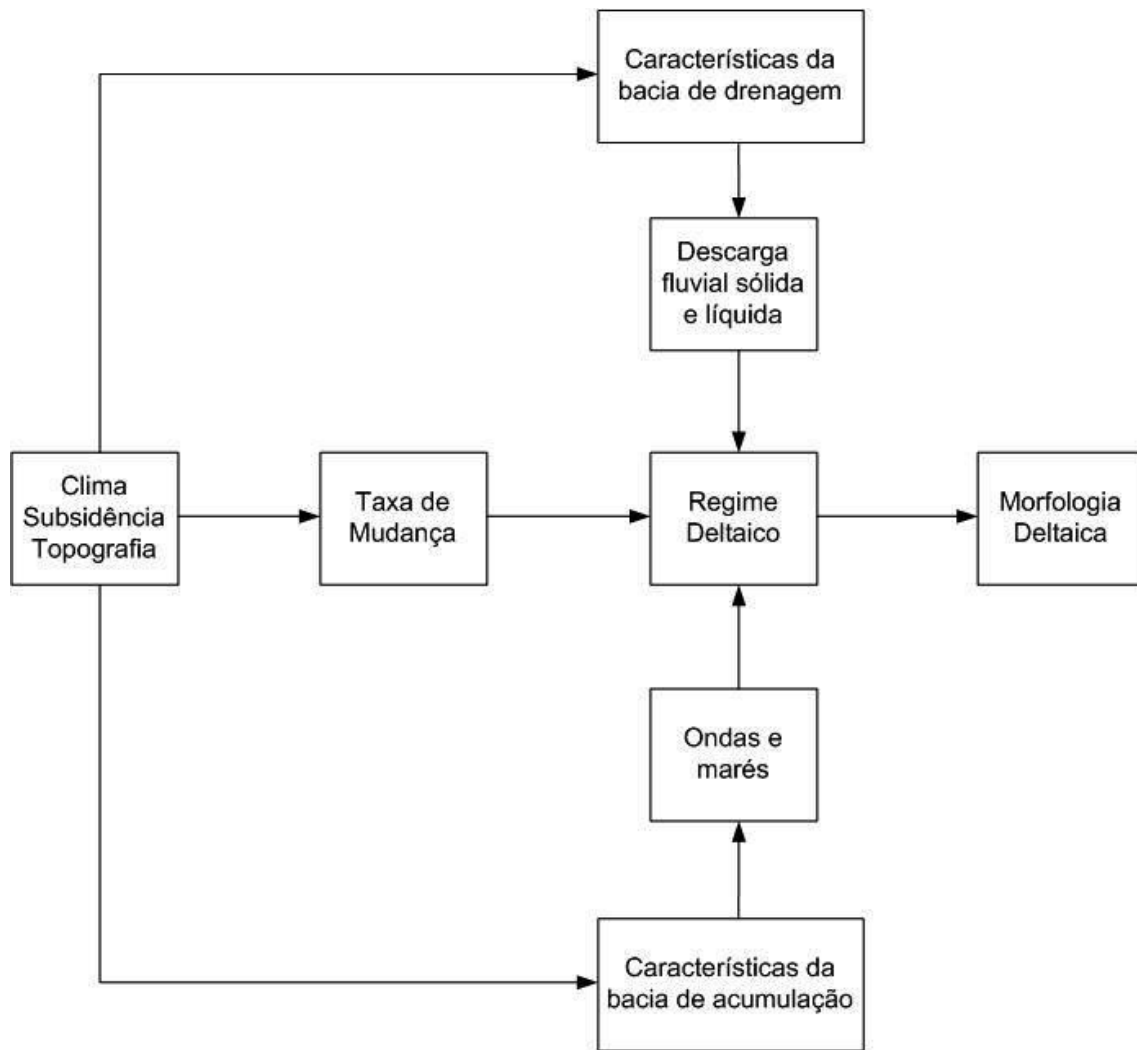


Figura 1 – Condicionantes na formação de Deltas (Fonte: adaptado de ELIOT, 1986).

No que se refere à análise de superfícies de tendência, esta é uma questão fundamental nos debates dentro da geologia matemática (JONES et al., 1986). Esta técnica baseia-se na identificação do arranjo global de dados espaciais para melhor visualização das flutuações locais (DAVIS, 1986; MATHER, 1991). Assim, partindo do pressuposto que a tendência sentido ao mar representa um delta construtivo e tendência com pendente ao continente seria de um delta destrutivo, e que para os dados de microtopografia, os valores de altura positivos podem ser associados às áreas de maior aporte sedimentar, enquanto que os valores de altura negativos podem ser interpretados como áreas que possuem menor volume de sedimentos, a análise de superfície de tendência pode ser uma importante ferramenta na análise geomorfológica do delta do rio Doce. Pode-se

inferir também que as áreas com valores negativos configuram regiões potenciais para sedimentação futura, pois apresentam espaço de acomodação para tal.

Com base no exposto, o delta do rio Doce, localizado no estado do Espírito Santo, representa uma proeminente forma de relevo produto de um sistema deposicional cuja análise geomorfológica ainda é carente na literatura. O uso do geoprocessamento, por permitir a manipulação de informações georreferenciadas, constitui uma importante ferramenta para isso. Assim, como contribuição aos estudos geomorfológicos, pode-se compreender a geomorfologia local (microtopografia) com base na extração da componente global (relevo regional) de dados espaciais.

Este trabalho parte da hipótese de que é possível explicar o caráter construtivo e/ou destrutivo de feições costeiras deltaicas a partir da análise de superfície de tendência. O conceito de superfícies de tendência não será aplicado como um interpolador, mas como um descritor do padrão regional do relevo. Os Modelos Digitais de elevação (MDE) também são importantes no estudo das formas do relevo, bem como as ferramentas de geoprocessamento são úteis para manipular o estudo dessas formas.

2. Desenvolvimento

2.1. Caracterização da área

O delta do rio Doce, localizado no estado do Espírito Santo, tem aproximadamente 30 km de largura, sendo um dos mais importantes do Brasil. Ele atravessa os municípios de São Mateus, Jaguaré, Sooretama, Linhares e Aracruz. É limitado ao norte por São Mateus na ilha de Guriri e ao sul pelo canal de Comboios, com sua foz na Barra do Riacho, município de Aracruz. Atualmente os braços do norte e do sul secaram, formando uma única foz que ocorre entre Povoação e Regência, no município de Linhares.

A planície costeira do município de Linhares (ES) é composta pelas acumulações fluviomarinhas e marinhas que constituem as feições morfológicas características da faixa litorânea, englobando os Complexos Deltaicos, Estuarinos e Praiais. (RADAMBRASIL, 1987). Ela possui forma semilunar crescente, assimétrica e convexa em direção ao mar (SUGUIO; MARTIN; DOMINGUEZ, 1982), com uma largura

máxima contínua E- W de 35,1 km e comprimento máximo N –S (referente à orla praial) com, aproximadamente, de 72, 1 km (Figura 2).

Essa província geomorfológica é a mais rica de toda a área, devido à diversidade de características ambientais. Essa riqueza está associada aos grandes processos deposicionais e erosivos que ocorreram nessa área, decorrentes das alterações no nível do mar e alternância na direção dos movimentos de suas ondas. Em relação as ondas, as que possuem direção sul constituem processos de deposição ou construção, enquanto que ondas na direção norte representam os processos de erosão (INTITUTO DE GEOCIÊNCIAS, 1993). Em consequência desses eventos eustáticos, originou-se os processos deposicionais e erosivos lagunares e fluviais do Rio Doce.

Nesse contexto, o delta do Rio Doce é caracterizado como um delta de onda. Esse tipo de feição morfológica ocorre nas costas com domínio de processos de onda, nas quais o volume de sedimento fluvial que chega à frente deltaica é redistribuído rapidamente pela dinâmica litorânea. Devido a esse fato, deltas com domínio de onda originam linhas de costa caracterizadas por praias bem desenvolvidas, que avançam sucessivamente em direção ao mar de acordo com a evolução do delta, constituindo uma cadeia de cordões alongados na praia, transversais à direção de progradação. Deltas com essa configuração possuem forma em cúspide, com protuberância na costa, a qual se desenvolve em áreas em que o sistema fluvial deposita sua carga de sedimentos (ROSSETTI, 2008).



Figura 2 – Localização da Área. A) Estado do Espírito Santo; B) Município de Linhares; C) Delta do Rio Doce delimitado sobre o SRTM.

3. Material e métodos

Os procedimentos realizados no trabalho são descritos no diagrama OMT-G (Figura 3). Todas as etapas foram realizadas no software Arcgis 10 (ESRI, 2010).

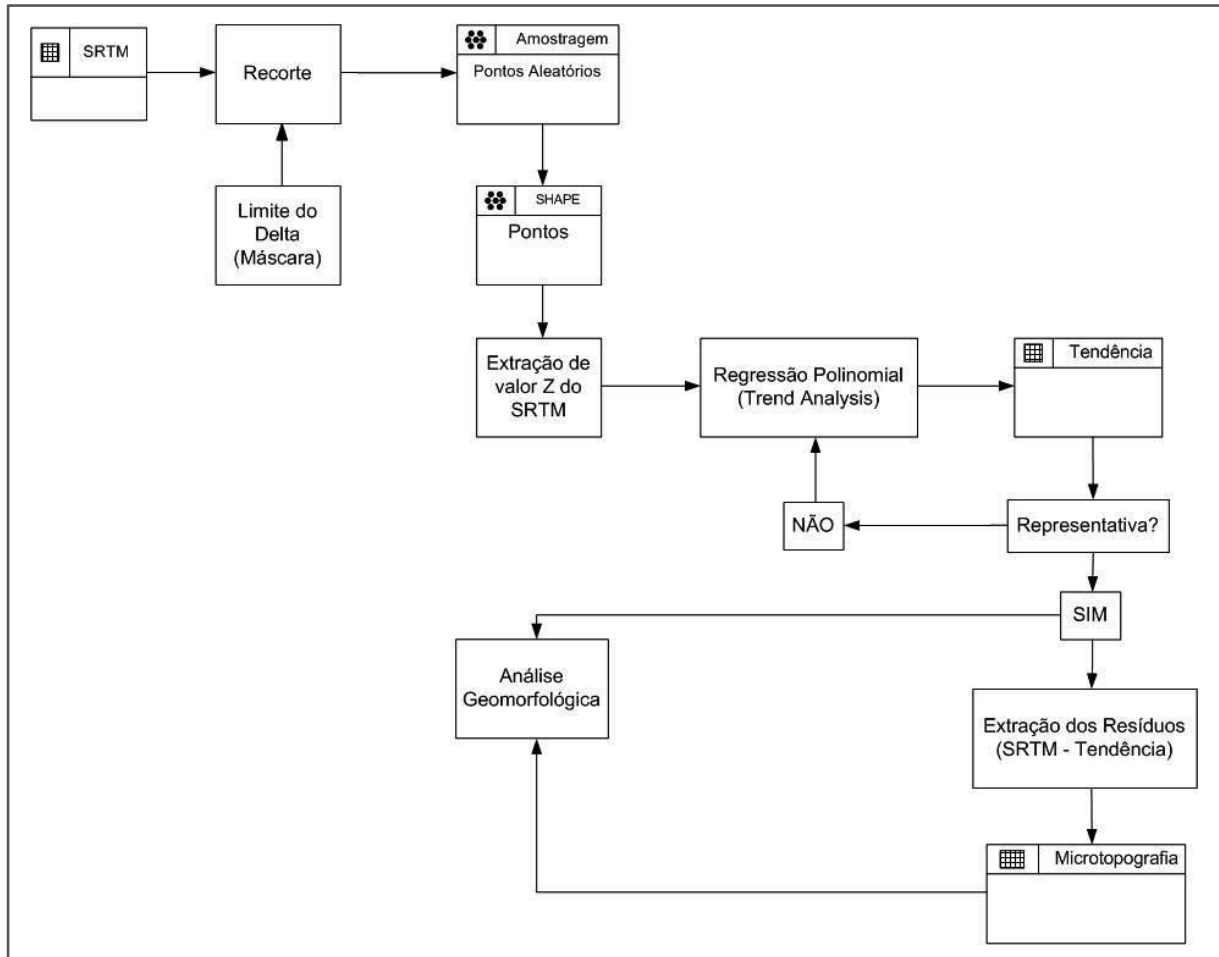


Figura 3 – Diagrama OMT-G desenvolvido no trabalho.

3.1. Dois dados de entrada: SRTM e limite do delta

A aplicação do conceito de superfícies de tendência foi realizada exclusivamente em dados altimétricos da missão SRTM. A cena utilizada foi a SE-24-Y-D, com resolução espacial de 90 metros, a qual englobava o recorte selecionado como área de estudo. A missão SRTM foi coordenada pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e pela *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA) do Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DOD) em conjunto com as agências espaciais da Itália e da Alemanha. Foi realizada no período de 11 a 22 de fevereiro de 2000 com o intuito de

gerar dados topográficos digitais para 80% da área terrestre do planeta, entre as latitudes 60° N e 56° S (IBANEZ, 2006).

3.2. Delimitação do Delta

A delimitação do delta do Rio Doce foi realizada por análise e interpretação visual do dado SRTM. As feições deltaicas são configuradas por baixas altimetrias, representadas por áreas com tons mais escuros na imagem. O limite do delta foi extraído considerando essas áreas e os indicadores do canal principal e dos paleocanais.

3.3. Amostragem aleatória

A amostragem aleatória foi realizada pela geração automática de 5000 pontos sobre a área do delta do Rio Doce (Figura 4). Foi conservada a independência espacial dos dados.

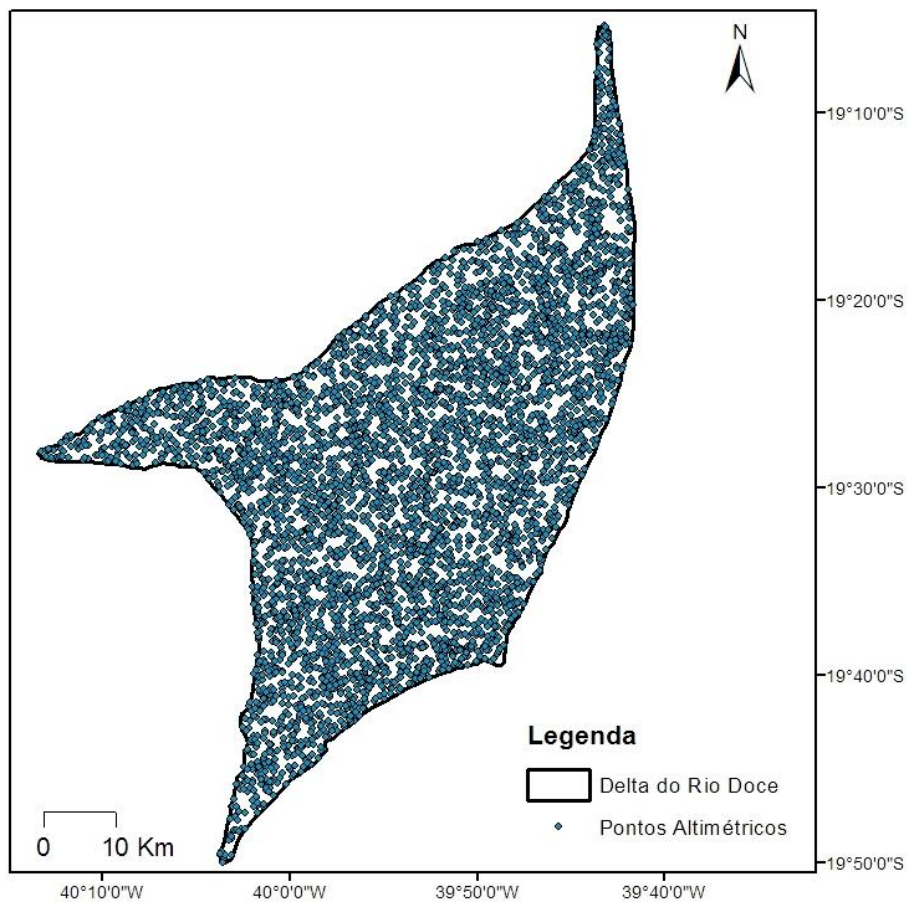


Figura 4 – Amostragem aleatória

3.4. Extração dos valores altimétricos (Z) do SRTM e extração dos pontos X e Y (latitude e longitude)

Dos pontos extraídos aleatoriamente, foram obtidos os valores altimétricos (Z) do SRTM e os valores de latitude e longitude de cada ponto, necessários para composição das superfícies de tendência.

3.5. Superfícies de Tendência por Regressão Polinomial

A análise de superfície de tendência é um método de interpolação baseado em regressão polinomial que possibilita a partir dos dados georreferenciados o ajuste de uma superfície teórica contínua através de critérios de regressão por mínimos quadrados, em relação aos valores da variável dependente Z_i e considerando como variáveis independentes as coordenadas Norte-Sul (Y) e Leste-Oeste (X). As superfícies de tendência podem ser usadas para inferir sobre a presença de tendências ou estimar características de interesse sobre os dados, além de verificar flutuações locais (dado pelos resíduos, ou seja, a diferença entre o modelo e os dados originais) em relação a tendência (ZANI; ASSINE, 2009). Em dados topográficos a análise de superfície de tendência fornecerá um plano de informação contendo o padrão regional topográfico (a tendência) e outro obtido da subtração da tendência dos dados originais irá representar a microtopografia (resíduos).

Para isso a aplicação da análise de superfície de tendência se dará com uma equação polinomial nos dados altimétricos da missão SRTM (MDE-SRTM). No intuito de preservar a independência espacial das amostras, pontos aleatórios foram gerados sobre os limites do delta para a aplicação da equação. A análise de tendência foi realizada com base no ajuste de um polinômio sobre os dados pontuais. Essa análise é sensível à presença de *outliers*, pois é mais apropriada para superfícies com tendência linear, com poucas inflexões aplicadas a estudos de geofísica e características morfoestruturais com funções suaves.

Em seguida foi realizada uma regressão múltipla dos valores do atributo em função da localização geográfica, pois o valor de Z é função da posição (X, Y). Como exemplo, a Equação 1 expressa uma equação de primeiro grau.

$$Z = a + bX + cY \quad (\text{Eq. 1})$$

Quanto mais elevado o grau da Equação 1, mais complexa será a superfície resultante e mais indicado o ajuste da interpolação em relação aos dados originais. Nesse trabalho, foram testados quatro graus polinomiais.

3.6. Álgebra de mapas

Foi realizada uma álgebra de mapas simples para a geração do mapa de resíduos. Foram subtraídas do plano de informação do limite do delta gerado com o MDE-SRTM as quatro superfícies de tendência obtidas, resultando em mapas de resíduos com as alturas relativas à tendência, que expressam a microtopografia do delta do Rio Doce. Esses procedimentos permitirão a análise geomorfológica e classificação do delta.

4. Resultados e discussão

4.1. Superfícies de Tendência por Regressão Polinomial

Superfícies de tendência de graus 1 a 4 foram obtidas a partir da aplicação da Equação 1 em dados SRTM (Figura 5). Pela análise destas, nota-se que o delta tem um caráter de distribuição do continente para o mar.

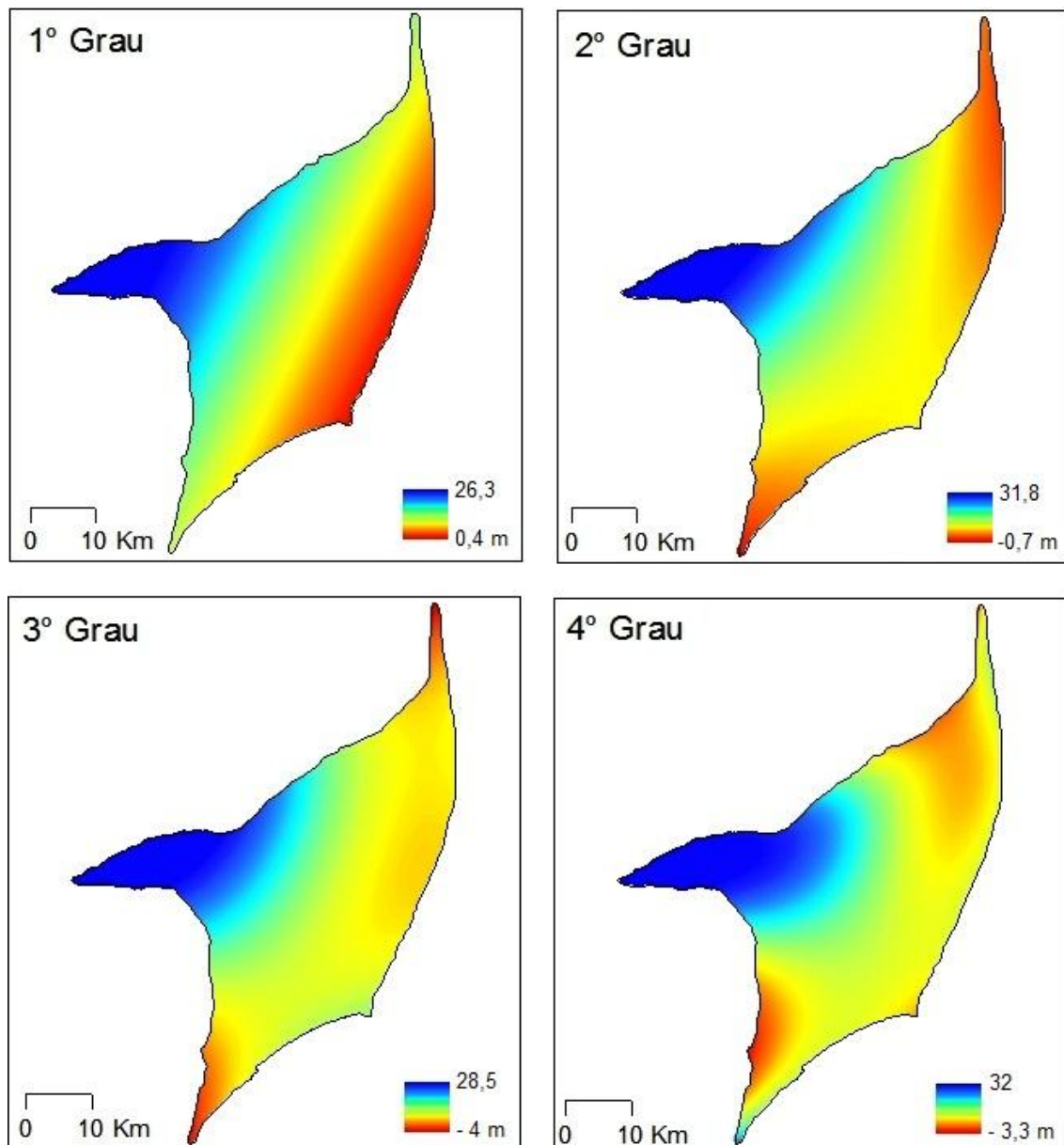


Figura 5 – Superfícies de Tendência geradas para o Delta do Rio Doce.

4.2. Álgebra de mapas

Foram gerados quatro mapas de resíduos, resultantes da subtração das superfícies de tendência dos quatro graus polinomiais do MDE – SRTM (Figura 6).

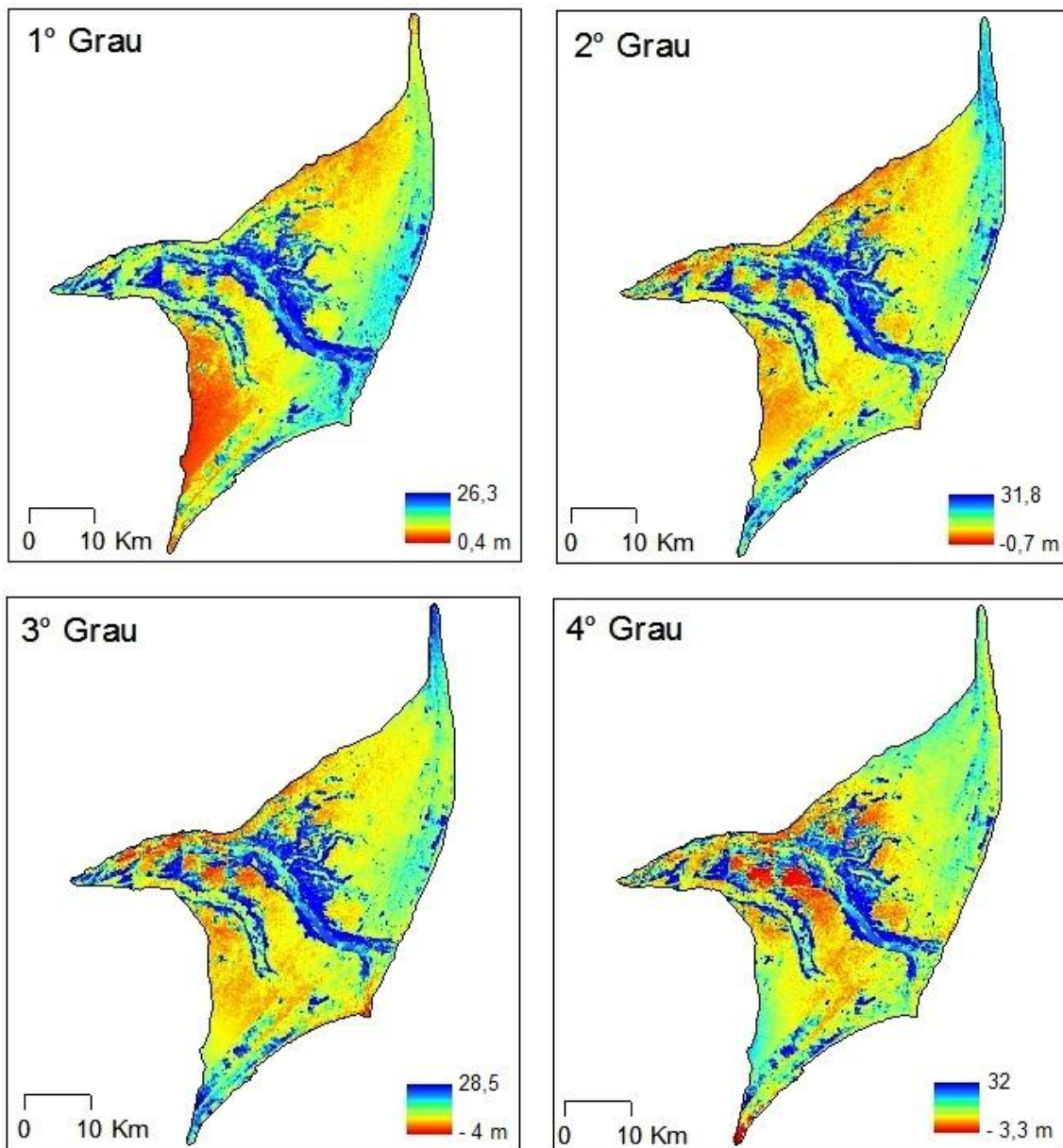


Figura 6 – Microtopografia do Delta do Rio Doce extraída do MDE - SRTM.

Com base na análise dos mapas de resíduos e na comparação das tendências geradas com o MDE – SRTM constatou-se que a superfície de segunda ordem foi a mais coerente, evidenciando que os resíduos realçaram as feições geomorfológicas (Figura 7).

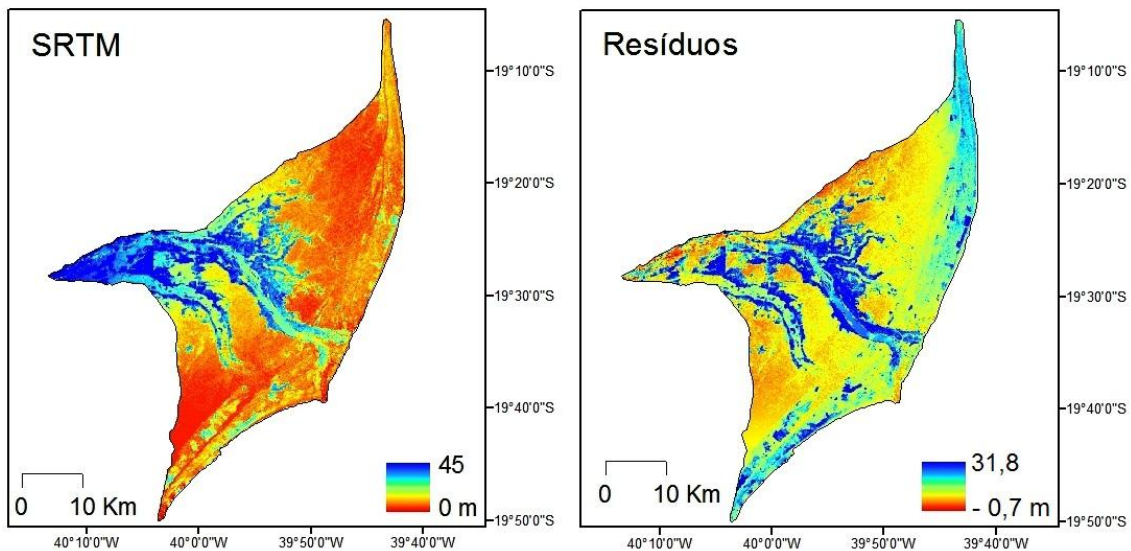


Figura 7 – MDE – SRTM e de Resíduos do Delta do Rio Doce.

4.3. Análise Geomorfológica: Identificação das feições do padrão deltaico

A partir do mapa de resíduos resultante da superfície de tendência de segundo grau polinomial, foram identificadas e extraídas as feições geomorfológicas características da morfologia deltaica, sendo elas: Canal principal (Figura 8), Paleocanais (Figura 9), Faixa de barra costeira (frentes deltaicas) (Figura 10), Planície deltaica inferior (Figura 11) e a Planície deltaica superior (Figura 12).

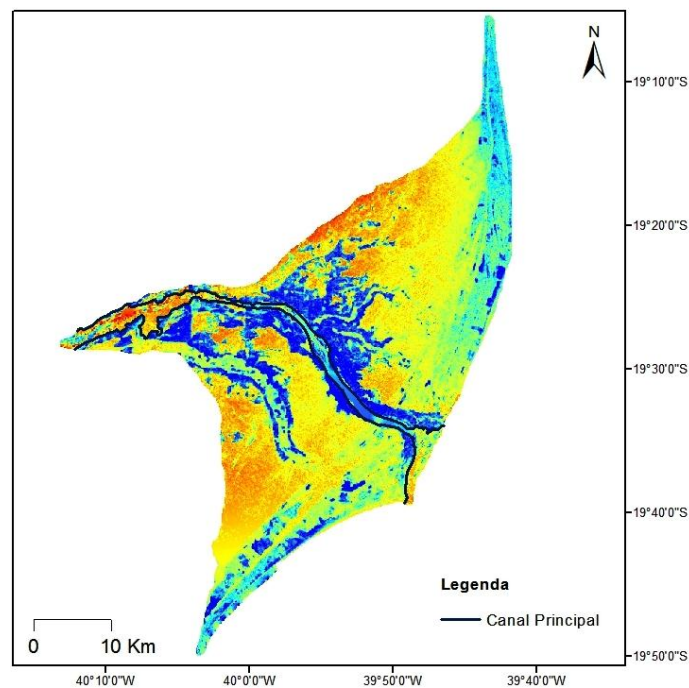


Figura 8 – Canal principal extraído sobre o mapa de resíduos.

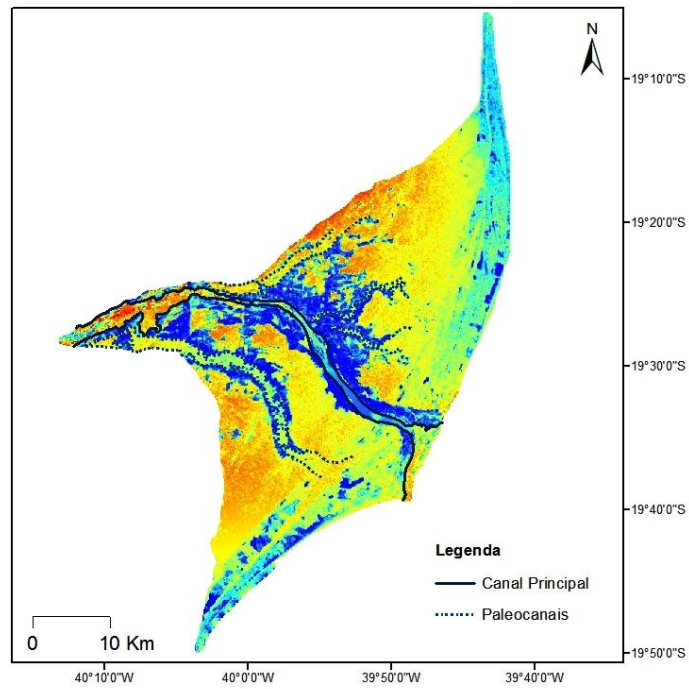


Figura 9 – Paleocanais extraídos sobre o mapa de resíduos.

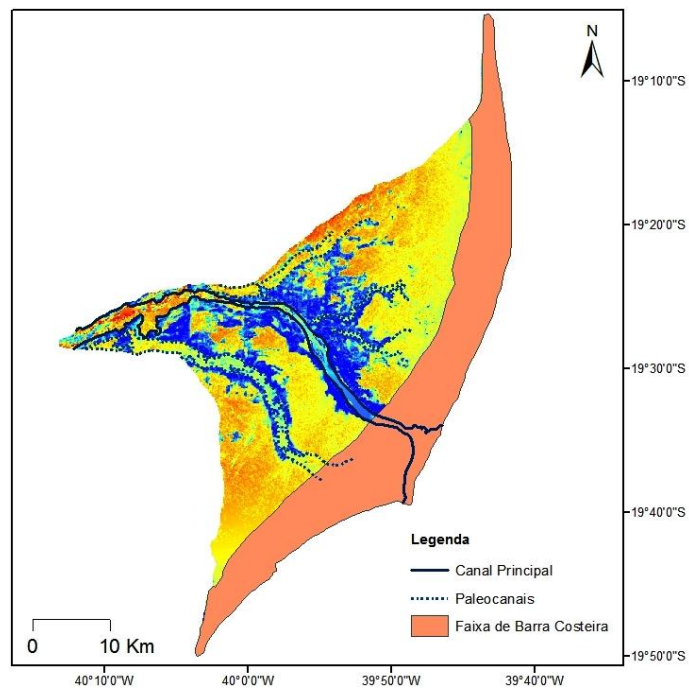


Figura 10 – Faixa de barra costeira extraída sobre o mapa de resíduos.

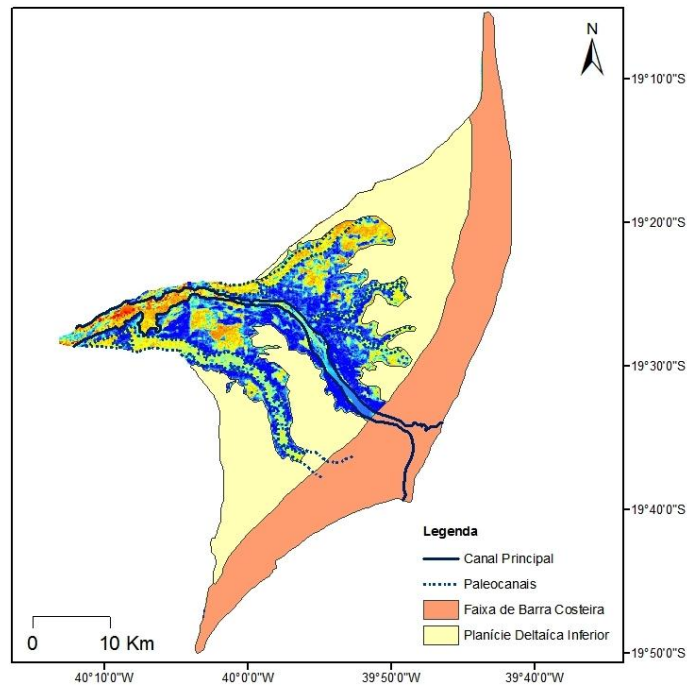


Figura 11 – Planície deltaica inferior extraída sobre o mapa de resíduos.

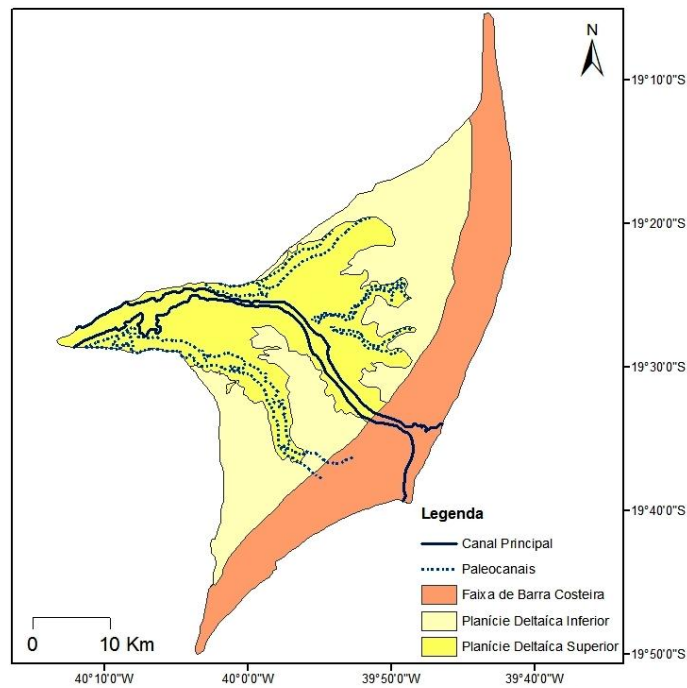


Figura 12 – Planície deltaica superior extraída sobre o mapa de resíduos.

4.4. Classificação do delta do Rio Doce

O delta do Rio Doce foi classificado de acordo com a divisão do sistema costeiro deltaico proposta por Rossetti (2008) (Figura 13).

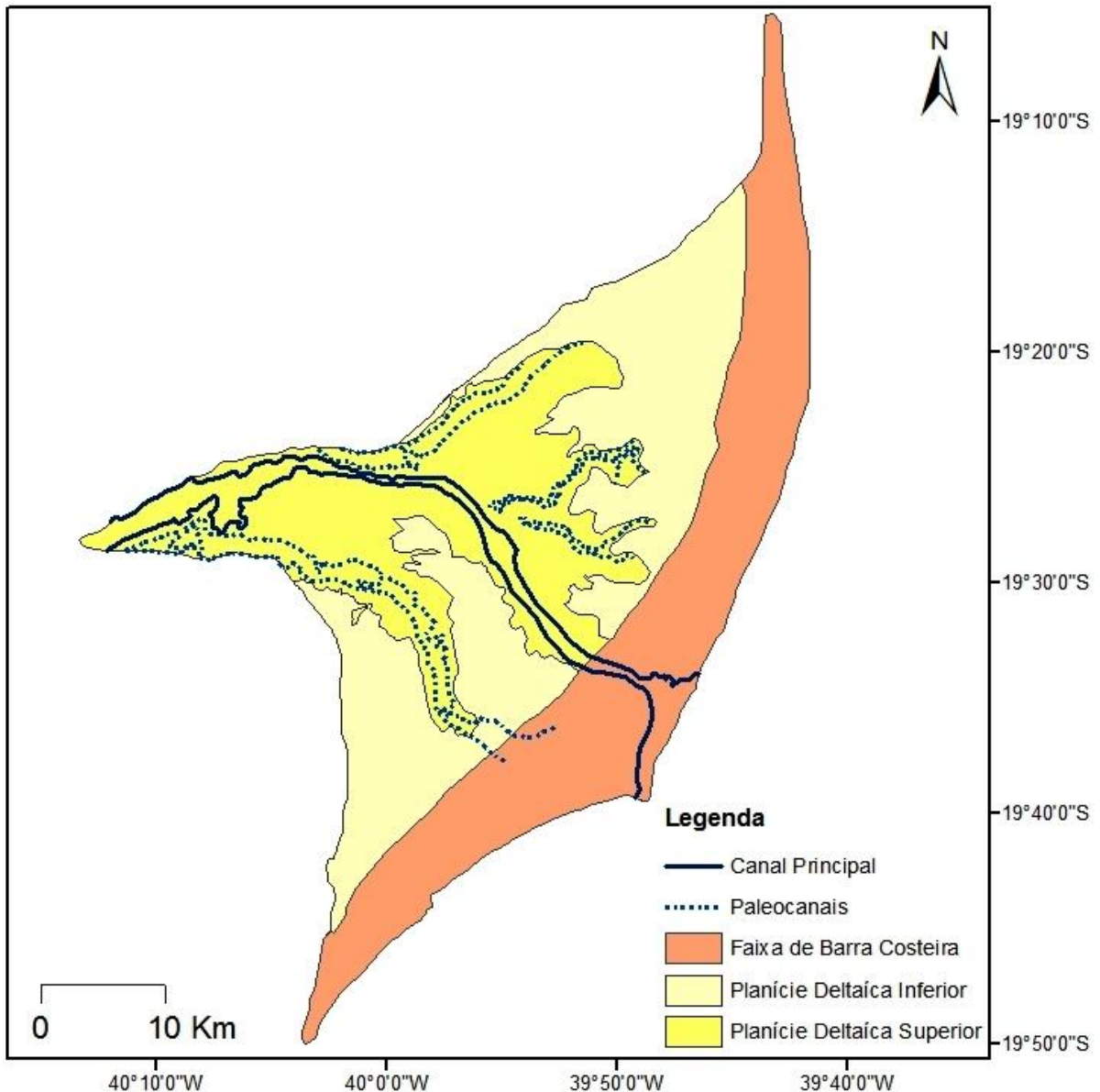


Figura 13 – Componentes do sistema costeiro deltaico.

A Planície Deltaica Superior configura-se pelo domínio dos processos fluviais, configurados pela erosão e deposição proveniente da atividade dos rios. A Planície Deltaica Inferior é influenciada por processos marinhos, principalmente por correntes de maré, as quais são responsáveis pela distribuição dos sedimentos trazidos pelos rios. A Faixa de Barra Costeira ou frentes deltaicas é o principal componente na caracterização dos deltas, pois representa a área na qual ocorre rápida deposição de grande volume de sedimentos trazidos pelos rios à medida que o fluxo perde energia, ao adentrar na bacia marinha. A identificação do canal principal e dos paleocanais, extraídos do mapa de resíduos, contribuíram para a delimitação e seleção dessas áreas.

5. Considerações Finais

A análise de superfícies de tendência é uma técnica útil e funcional para a compreensão da microtopografia baseada na avaliação do relevo regional. A tendência topográfica global do delta do Rio Doce pode ser descrita de modo satisfatório baseada em uma equação polinomial do 2º grau. A remoção do componente global da altimetria do delta revelou formas locais que dificilmente seriam observadas no MDE-SRTM.

Os resultados alcançados permitiram verificar que flutuações locais do relevo podem revelar áreas de sedimentação recente e sítios potenciais para deposição. A análise geomorfológica de feições do ambiente costeiro e a classificação do delta do Rio Doce foram conseguidas com a aplicação dessa técnica e podem auxiliar em estudos morfoestruturais e de evolução do relevo.

As técnicas de geoprocessamento possibilitaram o realce das formas locais de relevo, obtidas através do mapa de resíduos (microtopografia), permitindo a classificação do delta e a identificação dos padrões do sistema costeiro deltaico. No entanto, inferências geográficas deveriam ser aplicadas para que o trabalho apresentasse outros resultados e outras análises pudessem ser realizadas.

Agradecimento

Ao Édipo Henrique Cremon pela ajuda, ensinamentos e paciência durante a elaboração desse trabalho.

6. Referências

- DAVIS, J. C. Statistics and data analysis in geology. New York: Wiley, 1986. 646p.
- Farr, T. G.; et al. The Shuttle Radar Topography Mission. **Reviews of Geophysics**, v. 45, n. 0, p. 0-0, 2007.
- ESRI – ENVIRONMENTAL SYSTEM RESEARCH INSTITUTE. **ARC/VIEW v.10** Redlands, 2010. Programa de computador. 1 DVD-ROM.
- GOUDIE, A.S. **Encyclopedia of Geomorphology**. International Association of Geomorphologists, Taylor & Francis Group, v. 1, 2004. 1202p.
- IBANEZ, D. M. Integração de dados de sensoriamento remoto (SRTM e RADARSAT-1), geologia, gravimetria e magnetometria para estudo morfoestrutural da área do Rio

Uatumã, Bacia do Amazonas. **Dissertação de Mestrado**, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2006. 161p.

JONES, T. A.; Hamilton, D. E.; Johnson, C. R. **Contouring geologic surfaces with the computer**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1986. 314p.

MATHER, P. M. **Computer applications in geography**. New York: Wiley, 1991. 257p.

RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais**. Folha SE 24, Rio Doce, Rio de Janeiro: RADAMBRASIL, 1987, 390p.

ROSSETTI, D. de F. Ambientes Costeiros. In: **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**, FLORENZANO, T. G (Org). São Paulo, Oficina de Textos, 2008, p. 247 – 283.

SUGUIO, K.; MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J. M. L. Evolução da Planície costeira do Rio Doce (ES) durante o quaternário: influência das flutuações do nível do mar. In: **Simpósio do Quaternário do Brasil, 4º Volume**, 1982, São Paulo. **Anais...**São Paulo: USP, 1992, p. 93 – 116.

ZANI, H.; ASSINE, M.L. Análise de superfícies de tendência com dados SRTM: estudo de caso na bacia sedimentar do Pantanal. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 14, 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 3403-3410. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.14.12.45/doc/3403-3410.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2012.