

MODELO DIGITAL DO TERRENO-MDT DE ÁREAS SOB ATUAÇÃO DA INDÚSTRIA PETROLÍFERA ATRAVÉS DA INTEGRAÇÃO DE DADOS BATIMÉTRICOS E ALTIMÉTRICOS DA ZONA COSTEIRA NORTE DO RN

Moab Praxedes Gomes¹ (UFRN), Helenice Vital² (UFRN), José Wilson de Paiva Macedo³ (UFRN)

¹Caixa Postal: 1584. CEP: 59078-970. Natal/RN, Brasil, ¹moabpx@yahoo.com.br

²Caixa Postal: 1584. CEP: 59078-970. Natal/RN, Brasil, ²helenice@geologia.ufrn.br

³Caixa Postal: 1584. CEP: 59078-970. Natal/RN, Brasil, ³wilson@dfte.ufrn.br

O litoral setentrional do Rio Grande do Norte constitui um espaço caracterizado por coberturas sedimentares Cenozóicas, de planície de maré, lagunas, restingas, dunas, praias, etc. A região em apreço abriga diversos compartimentos de relevo que conformam a atual exposição da Bacia Potiguar imersa e emersa, que tem sido alvo de levantamentos de naturezas distintas objetivando estudos ambientais, geofísicos, oceanográficos, instalações de infra-estrutura para a Indústria do Petróleo, dentre outros, porém os resultados obtidos em geral não integram a interface continente-oceano. Nos últimos anos o Grupo de Geologia e Geofísica Marinha e Monitoramento Ambiental (GGEMMA-PPGG-UFRN), juntamente com o Grupo de Geofísica (GG-DFTE-UFRN), reuniram um significativo acervo de dados altimétricos e batimétricos, que compreendem cerca de 330 mil estações localizadas na região entre São Bento do Norte e Apodi-RN. Embora haja uma quantidade massiva de dados, integrados em um único Banco de Dados, sua qualidade e distribuição espacial assevera um fator limitante para o objetivo deste trabalho: a construção do Modelo Digital do Terreno-MDT. Devido aos vários levantamentos de diferentes níveis de detalhamento, os métodos disponíveis de interpolação tornam-se insuficientes. Considerando esta dificuldade, desenvolveu-se uma metodologia apropriada, de forma a adequar o método aos dados, previamente reduzidos a um único sistema de referência utilizando-se o *software Oásis Montaj*, da GeoSoft, e filtrados o utilizando-se o *software Geostatistical Analyst* do ArcGis. Foi possível, utilizando sistemas de modelagem e visualização 3D (*GoCad*, *Voxler* e *ArcScene*), e de geração das malhas *GRID* e *TIN* (*Surfer* e *3D Analyst* do ArcGis), a extração das informações espaciais e a representação tridimensional dos ambientes terra-mar integrados. A visualização do MDT torna-se ainda mais relevante quando são sobrepostas ao mosaico de imagens do sensor *LandSat7 ETM+*, uma vez que se integram as respostas espectrais de cada alvo, realçadas no Processamento Digital de Imagens-PDI, com sua altitude medida. Como resultado, as informações altimétricas oceânicas e continentais foram utilizadas para a elaboração de um MDT, que apresenta resolução suficiente para retratar de forma fidedigna as feições de relevo das porções *onshore* e *offshore* da Bacia Potiguar. Isto permitiu a caracterização geomorfológica regional e de detalhe da plataforma continental norte do Rio Grande do Norte e da região costeira adjacente. A análise das formas individuais de relevo e suas correlações regionais e locais, nos aspectos geomorfológicos e morfo-estruturais da interface continente-oceano, pela integração de dados geológicos e geofísicos entres os ambientes terra e mar, compreende um importante passo no auxílio técnico para a exploração de hidrocarbonetos, uma vez que permite a execução de simulações numéricas realistas e acuradas, podendo fornecer subsídios a prospecção através da visualização/análise tridimensional quantitativa do MDT.

Bacia Potiguar, Zona Costeira, Batimetria, Altimetria, Modelo Digital do Terreno.

1. INTRODUÇÃO

A Zona Costeira do Rio Grande do Norte tem sido alvo de levantamentos de naturezas distintas que objetivam estudos ambientais, geofísicos, oceanográficos, instalações de infra-estrutura para a Indústria do Petróleo, dentre outros, que freqüentemente cruzam o limite continente-oceano. Nos últimos anos o Grupo de Geologia e Geofísica Marinha e Monitoramento Ambiental (GGEMMA-PPGG-UFRN), juntamente com o Grupo de Geofísica-DFTE-UFRN, reuniram um significativo acervo de dados altimétricos e batimétricos, que compreendem cerca de 330 mil estações localizadas na região entre São Bento do Norte e Apodi-RN. Estes dados foram reunidos e organizados em uma única Base de Dados integrada, que viabilizou a confecção de cartas altimétricas e batimétricas mais precisas, e a geração de um Modelo Digital do Terreno-MDT da porção *onshore* e *offshore* da Bacia Potiguar. Tais modelos integrados a imagens *LandSat 7 ETM+* proporcionaram observações ainda mais coerentes das correlações morfométricas dos dois ambientes mapeados.

2. REVISÃO DA LITERATURA

O litoral setentrional do Rio Grande do Norte constitui um espaço caracterizado por coberturas sedimentares Cenozóicas, de planície de maré, lagunas, restingas, dunas, praias, etc. A região em apreço abriga diversos compartimentos de relevo que conformam a atual exposição da Bacia Potiguar imersa e emersa, e da atual erosão e deposição contínua nas zonas de mar e continente. Diversos estudos têm sido desenvolvidos na área (SILVA, 2005; VITAL et al., 2005a,b; LIMA, S.F. et al., 2006). Entretanto, os resultados obtidos em geral não integram a interface continente-oceano. No objetivo de minimizar esta lacuna, o presente trabalho articula esforços na integração de um banco de dados geofísicos, batimétricos e altimétricos, para caracterização geomorfológica regional e de detalhe da plataforma continental norte do Rio Grande do Norte e da região costeira adjacente. Como resultado, na perspectiva visual dos ambientes na área, realizou-se a elaboração de cartas altimétricas e batimétricas mais precisas e um Modelo Digital do Terreno (MDT), que apresenta resolução suficiente para retratar de forma fidedigna as feições de relevo terrestres e submarinos.

3. METODOLOGIA

3.1 Base de Dados

Os dados altimétricos são procedentes de levantamentos de campo pelo Grupo de Geofísica da UFRN, adquiridos utilizando o Barômetro/Altímetro Digital *Sokkia* e o Altímetro Analógico *Thommen*, e da digitalização de cartas da SUDESNE e RRNN. Os dados batimétricos em águas rasas são procedentes de levantamentos de campo pelo Grupo de Pesquisa em Geologia e Geofísica Marinha e Monitoramento Ambiental da UFRN, ao longo de perfis oblíquos e paralelos a costa, utilizando-se um ecobatímetro da marca *Odom Hydrographic Systems* modelo *Hydrotrac*, operando na frequência de 200 kHz. Durante a execução destes perfis foi anotado posicionamento geográfico com o auxílio do DGPS, a cada “spike” registrado no papel do ecobatímetro. Os dados batimétricos de mar profundo são oriundos do Plano de Levantamento da Plataforma Continental (LEPLAC), abrangendo tanto a costa norte do RN como suas contigüidades (Figura 1). Adicionalmente foram empregadas imagens do sensor *ETM+/Landsat-7*, correspondente a órbita 215/64 deslocada a 130Km para norte do imageamento datada de 11/06/2002, e as cenas 216/63 e 216/64 imageadas em 13/08/1999, adquiridas pelo Laboratório de Geoprocessamento/PPGG/UFRN. Estas cenas compõem um mosaico, englobando as extensões da Bacia Potiguar em ambientes terrestres, plataformais e mar profundo, com todas as bandas do visível e infravermelho, convenientemente tratadas no software *ERMapper 6.4*.

Muitas regiões da área em estudo (em geral com lâmina d’água superior a 1000 m) não possuíam levantamentos batimétricos realizados pelo GGEMMA (levantamentos de detalhe), para suprimir esta lacuna, foram inseridos, na Base de Dados, dados oriundos do LEPLAC sem que houvesse sobreposição de áreas mapeadas. O BD, para a região marinha, também contou com a digitalização da linha de costa e de *beachrocks* (atribuindo cota zero), que afloram próximo a quebra da plataforma continental na região do Minhoto (São Bento do Norte-RN), utilizando as imagens *LandSat7* deste trabalho.

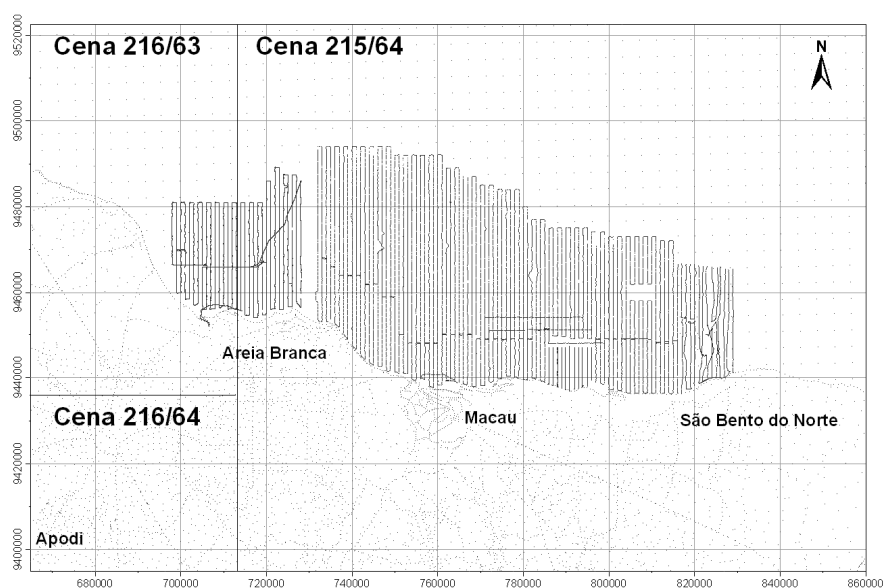


Figura 1 – Mapa de localização das estações altimétricas e batimétricas dispostas no mosaico das cenas 216/63, 216/64 e 215/64 (215/64 com deslocamento para norte do imageamento) do sensor *ETM+/Landsat-7*, abrangendo a costa norte do RN.

Os dados batimétricos, coletados pelo GGEMMA e pelo LEPLAC, apresentam-se em distintos níveis de densidades de aquisição em 5 áreas mapeadas (Figura 2). Apesar dos pontos serem regularmente espaçados na região marinha, sua integração provoca acentuadas distorções geométricas na geração de malhas para o MDT. Apesar dos dados do LEPLAC e dos dados digitalizados da imagem de satélite não possuírem alta precisão, serviram para complementar as áreas não mapeadas pelo GGEMMA. Mesmo com este evidente problema de espacialização dos dados, a junção destes dados minimiza os erros e aumenta os detalhes na geração da malha do MDT em escala regional.

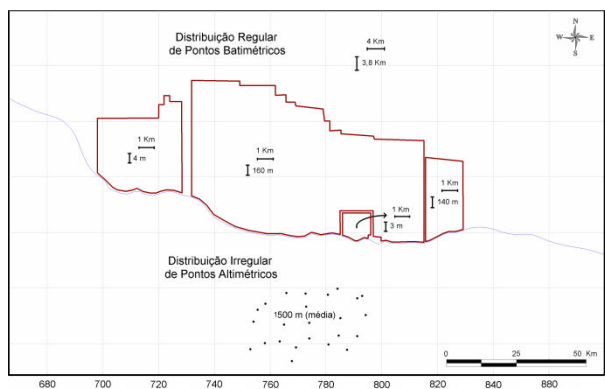


Figura 2 – Mapa apresentando os 5 níveis de levantamentos batimétricos com espaçamento regular entre os pontos na direção NS e EW, e no continente os pontos digitalizados e de campo com distribuição irregular e espaçamento médio de 1500m.

3.2 Análise Geoestatística

Os dados das diferentes fontes foram reunidos num único sistema de referência por meio do *software Oasis Montaj* da *GeoSoft* e tiveram a sua consistência individual avaliada no ambiente SIG do *ArcGIS* através de análise geoestatística para cada conjunto de dados, utilizando-se a extensão *Geostatistical Analyst*. Os modelos estatísticos adotados para a análise espacial fundamentaram-se na utilização de variogramas pelo interpolador geoestatístico *Kriging Ordinary*, com saída do tipo *Prediction Map*. O modelo do semivariograma utilizado e ajustado foi o esquema *Spherica*, com base nos parâmetros experimentais e raio de busca variável de 20 pontos, sem limitação de distância, que permitiu identificar potenciais erros intrínsecos aos dados existentes no BD.

A análise estatística e filtragem foram aplicadas individualmente a cada levantamento batimétrico e altimétrico, em seguida feita a integração dos dados filtrados e repetido o processo de análise e filtragem com os dados integrados. Foram encontrados erros positivos de até 750 metros e negativos de até -410 metros, envolvendo principalmente os dados do LEPLAC, dos quais foram excluídos os erros superiores a 30 metros, não considerando os limites da área, mas apenas os pontos próximos aos levantados pelo GGEMMA.

Após a junção dos dados altimétricos com os dados batimétricos foi gerado um mapa de isolinhas para os valores do erro previsto pelo interpolador *Kriging* (Figura 3). Com isso pode-se avaliar a probabilidade da existência de falhas na construção das malhas para o MDT. O reflexo da qualidade do dado, expresso na locação do erro estatístico sobre a área de estudo, permitiu a execução da filtragem dos dados associando-os ao seu posicionamento geográfico. Todos os dados com erros estimados acima de 30 metros, tanto para os dados altimétricos como para os dados batimétricos, foram excluídos do BD, exceto aqueles que entendidos como significativos e coerentes. Entretanto, deve-se considerar que o erro estimado para cada base de dados dos diferentes levantamentos (Figura 2) é sempre inferior ao erro dos dados totais integrados.

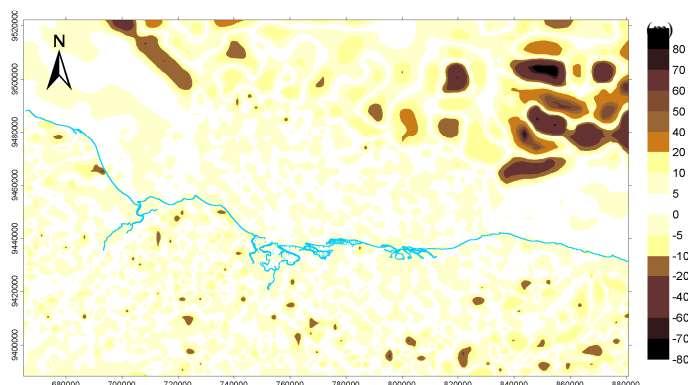


Figura 3 – Mapa do erro previsto pela Krigagem (diferença entre o medido e o previsto).

3.3 Processamento Digital de Imagens

O georreferenciamento das imagens *LandSat7* teve por base o mesmo sistema de projeção do banco de dados: *UTM-SUTM24* e *Datum SAD69*, submetendo-se aos processos de georreferenciamento do *ERMMapper 6.4*. Foram utilizados como vínculo as coordenadas *UTM* das RRNN e das Cartas da Sudene do Banco de Dados Altimétricos, em localizações reconhecidas nas imagens, foram constituídos os Pontos de Controle. Determinou-se um erro quadrático médio (*RMS*), menor que 0,1, para que o produto obtivesse precisão compatível com a resolução espacial de interpolação do MDT. Porém ainda existem erros, superiores a 30 m, devido a resolução espacial das imagens.

Neste trabalho, onde maior interesse do processamento das imagens é a obtenção de máxima distinção visual em toda área de estudo, apresenta-se uma proposta para realce de imagens, com principal enfoque na equalização dos histogramas (transferível ao mosaico de imagens da região), concentrando esforços para se aperfeiçoar o contraste das regiões mais escuras da imagem, isto é, na região marinha, em particular, na plataforma continental. Os alvos sobre a plataforma continental que apresentam maior reflectância são: materiais rochosos, sedimentos *in situ* e em suspensão, geralmente carbonáticos e siliciclásticos com presença abundante de sílica (Vital, 2005), os quais responderam melhor ao processamento de imagem atendendo o interesse de se obter imagens mais claras, ao mesmo tempo com alto contraste, e que sejam representativas para os ambientes terrestre e marinho produzindo uma melhor visualização para o MDT.

A dificuldade de se tratar as imagens de interface terra-mar está na presença de dois ambientes distintos, onde há um conjunto de *pixels* com alto contraste (terra) e outro com baixo contraste (mar). Na tentativa de uma equalização global dos histogramas no *ERMMapper*, notou-se que, para aperfeiçoar o realce de contraste da região marinha, ocorria alterações indesejadas na região terrestre, tornando a imagem inadequada para o trabalho. A influência diferenciada dos conjuntos de *pixels* sobre as áreas das imagens é caracterizada pela presença de duas modas no histograma, que neste caso representam os dois ambientes, sendo que isto não implica necessariamente a exclusividade dos NCs dos *pixels* em sua localização na imagem. No intento de promover a maior variância dos histogramas, os ambientes foram individualizados através das máscaras (*Corel Photo-Paint*), limitando no histograma os *pixels* localizados no ambiente marinho e os *pixels* do ambiente terrestre (equalização global com uso de máscaras).

A exemplo do processo de equalização de histogramas, demonstra-se, através da Banda 1 da cena 215/64 do *LandSat7* com a exclusão dos *pixels* do ambiente terra auxiliada pela máscara-mar, que, mesmo sendo a banda de grande penetração do ambiente marinho, seu histograma apresenta NCs refletindo regiões escuras de baixo contraste do ambiente marinho raso e profundo num comportamento bimodal (Figura 4b). Na mesma imagem obtém-se, para o uso de máscaras, o balanço compensado dos histogramas individualizados para os ambientes, aumentando a precisão visual (Figura 4a). Apesar de se obter, com esse procedimento, bons resultados de realce de contraste na região da plataforma (mar raso), ainda existe a influência da região de mar profundo, que com o aumento da profundidade a reflectância diminui produzindo outro ambiente de mais baixo contraste (Figura 4a).

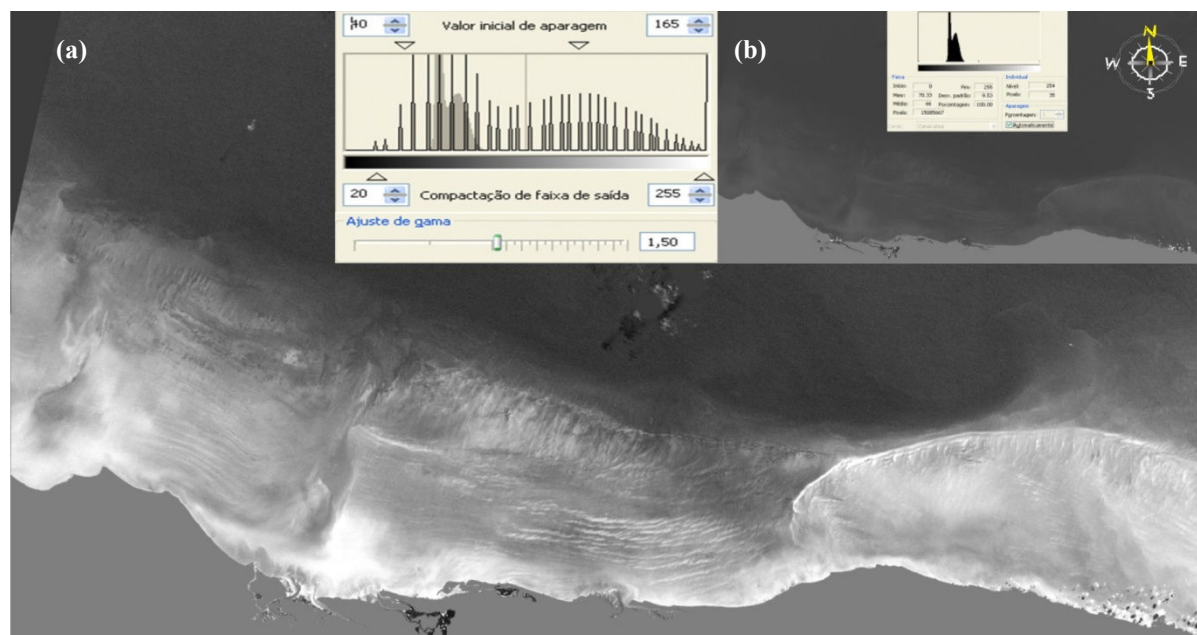


Figura 4 – (a) Recorte da cena 215/64 do *LandSat* com equalização do histograma ressaltando feições subaquáticas de plataforma nas profundidades de 40 e 50 metros, cerca de 25 Km da costa. (b) Recorte da Banda 1, sem tratamento, com auxílio da “máscara-mar”, limitando a distribuição de *pixels* sobre o ambiente marinho.

No caso de imagens coloridas (transformações no sistema RGB), foi realizado o mesmo procedimento de equalização do histograma. A seleção de bandas, para as composições coloridas em sistema RGB, baseou-se no reconhecimento dos padrões de comportamento espectral das diferentes classes nas imagens. As composições RGB foram aplicadas separadamente para os ambientes terrestre e marinho, com auxílio de máscaras-polígono. Esse procedimento permitiu realizar diferentes composições e a execução de outros processos para os dois ambientes numa mesma imagem ressaltando as áreas de maior interesse (Figura 5a). A Figura 5b é um exemplo de imagem com composições RGB mescladas, gerada com assistência de máscaras-polígono.

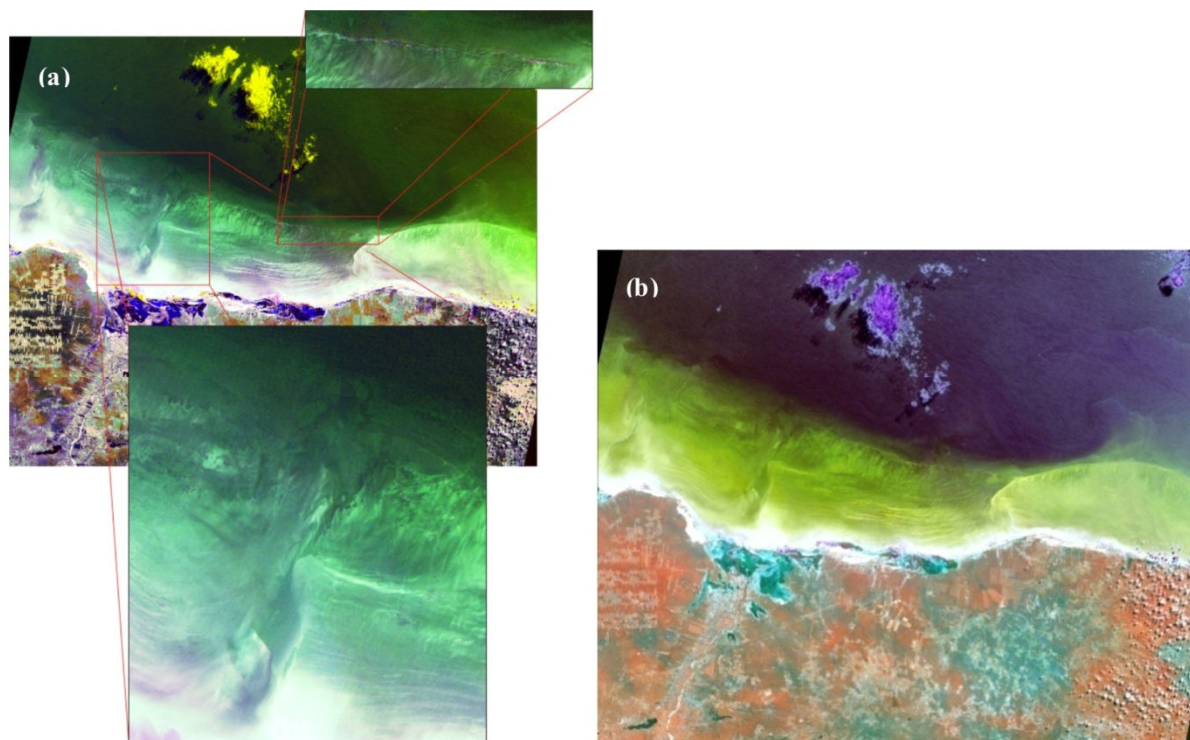


Figura 5 – (a) Composição R2G1B2/3 Mar – RGB_752 Terra, destacado o paleocanal do Rio Açu e os beachrocks próximo a quebra da plataforma. (b) RGB_123 Mar – RGB_432 Terra.

3.4 Modelo Digital do Terreno

A construção do MDT depende inteiramente da geração da malha. Por efeito, a malha deve produzir melhor suavização da superfície visualizada, porém, se mal dimensionada, pode mascarar indesejadamente os elementos morfológicos da paisagem. No intuito de escolher o melhor modelo de grade e o interpolador na construção do MDT para os dados altimétricos e batimétricos, experimentou-se utilizar dois diferentes métodos de geração de malhas: Grades Regulares Retangulares (*GRID*, por Krigaem) e Redes Irregulares Triangulares (*TIN*). Para a elaboração das malhas (*GRID* e *TIN*) utilizou-se o *software Surfer 8.0* (*Golden Software Inc.*) e a extensão *3D Analyst* do *software ArcGis 9.1*, que fornecem os procedimentos de interpolação e a visualização da malha. Os programas utilizados para visualização tridimensional (*Voxler* e *GoCad*) também produzem malhas, porém por procedimentos insuficientes para os fins deste trabalho.

O produto inicial da construção das malhas, geradas a partir da krigagem, foram as cartas topográficas com os ambientes terrestre e marinho integrados (Figura 6a). Uma grande quantidade de pontos, gerados pela interpolação, foram representados por curvas de nível, utilizando-se uma resolução espacial de 500x100 metros, as quais contribuíram para a avaliação da construção do MDT, especificamente no *software ArcGis*.

A integração de imagens *LandSat7 ETM+* com modelos digitais de terreno (MDT), elaborados a partir dos dados altimétricos/batimétricos em áreas de interface terra-mar, tem por finalidade proporcionar observações ainda mais coerentes das correlações geomorfológicas dos dois ambientes modelados. Através da confluência destas informações (espectrais e geométricas), extraídas das imagens e do modelo digital, foi produzida a representação tridimensional, tendo por vínculo, entre as imagens e o MDT, o posicionamento geográfico das feições superficiais, de modo a que todos os objetos modelados tivessem o seu posicionamento espacial corretamente definido na integração. Como resultado, um MDT com maior realce visual (cores mais representativas da realidade), e melhor caracterizado para visualização dos ambientes da região, principalmente nas regiões de mar raso (plataforma continental) (Figura 6b).

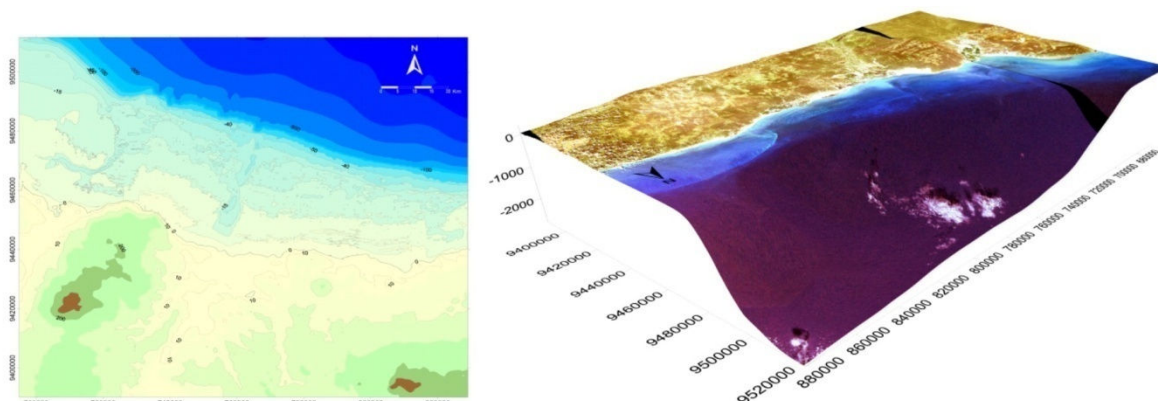


Figura 6 – (a) Mapa de isolinhas topográficas abrangendo os ambientes terrestre e marinho. Gerado por Krigagem (*Surfer*) com malha retangular de 500x100m. (b) Modelo Digital do Terreno – MDT elaborado a partir da integração de dados altimétricos/batimétricos e a cena 215/64 do sensor *LandSat7* (RGB_321Mar - 421Terra).

4. RESULTADOS

Devido as diferentes datas de aquisição dos dados altimétricos e batimétricos e das imagens de Satélite, nem todas as feições coincidiram na sobreposição imagem-modelo, principalmente as micro-feições, pois a precisão do georreferenciamento e a resolução (especificamente temporal) das Imagens e do MDT estão sujeitas a dinâmica modeladora do relevo na região.

A análise geométrica das principais feições existentes na área foi realizada em escala regional, analisando-se as características espectrais, padrões de textura, arranjo espacial dos elementos, relações de contexto, e a partir da análise integrada da base de dados do MDT, padrões morfométricos, declividade, amplitude, área, etc.

O MDT envolve unidades geomorfológicas em ambientes terrestres e marinhos da Bacia Potiguar, os quais se caracterizam dentro de uma amplitude topográfica que atinge o máximo e mínimo de 295 e -2800 metros de altitude respectivamente. Em ambiente terrestre predominam as altitudes inferiores a 200 metros, representadas pela região da planície costeira meio-norte do RN, cujas altitudes mais baixas se estendem pelo interior através dos vales dos rios Açu-Piranhas e o Apodi-Mossoró, e nos cordões dunares ao longo do litoral.

A região do MDT apresenta suas altitudes mais elevadas (todas inferiores a 300 metros) em terrenos cristalinos numa porção mais interiorana do Estado, sendo as suas maiores cotas altimétricas localizada em Serra Verde (295m) e Serra Preta (217m), próximo ao Município de Jandaira. Destacam-se sobre a superfície de terrenos sedimentares da Bacia Potiguar a Serra do Carmo (271m), compõem um alto topográfico localizado entre as duas principais redes hidrográficas da área, os Rios Açu-Piranhas e Apodi-Mossoró, e a Serra do Mangue Seco (100m) com forma de domo localizado a 20 km de Macau e 12 Km do litoral (Figura 7).

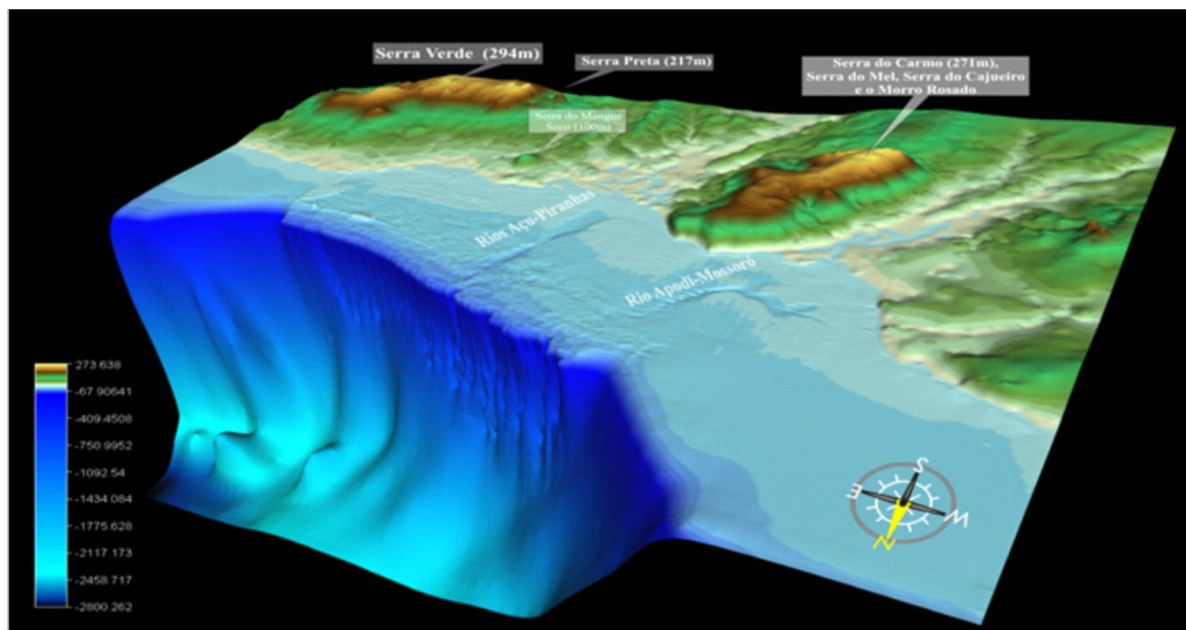


Figura 7 – MDT gerado no *Voxler*, GRID 500x100m do *Surfer*, com exagero vertical de 50x, destacando as principais feições em ambiente terrestre.

Além dos terrenos de geologia cristalina e sedimentar, encontrados ao sul da área sob forma de chapadas, depressões e planícies fluviais, ainda ocorrem os compartimentos de relevo mais próximos a linha de costa. O tabuleiro costeiro, os campos de dunas móveis e fixas, as planícies interdunares, e a zona de estirâncio (intermaré). Estas unidades se estendem por uma faixa contínua observada ao longo de todo o litoral da área em apreço e são facilmente identificáveis por PDI, caracterizada por paisagens complexas, porém geometricamente pouco representadas no MDT pela ausência de dados altimétricos na região.

O contexto geológico da Bacia Potiguar em suas porções *onshore*, na zona costeira, está diretamente associado a arenitos praias (*beachrocks*); depósitos atuais (leques aluviais, sedimentos de praia, aluviões e mangues); depósitos de dunas fixas, móveis e de dunas de deflação; depósitos flúvio/lagunares (intermaré e de mangues); rochas siliciclásticas da Formação Barreiras e os carbonáticas da Formação Jandaíra.

No ambiente marinho é observado a fisiografia da plataforma continental, talude, sopé continental e planície abissal. A plataforma continental possui em média 20 km de largura, limitada pela linha de costa até a batimetria de cota 30 a 50 m, nas regiões de quebra da plataforma, com declividade média de 4° até o talude. Do limite externo da plataforma ao início da planície abissal, ocorre um desnível superior a 2000 m numa distância de cerca de 30 km, a transição sobre o sopé continental ocorre gradualmente partindo de cotas acima de 2500 m de profundidade. As principais feições submarinas observadas sobre a plataforma continental são: região de dunas submarinas a oeste da área; paleocanal do Rio Açu; paleocanal do Rio Mossoró; campos de dunas de Galinhos; Coroa das Lavadeiras – Alto da Croa; quebra da plataforma; *beachrock* (Minhoto).

No trecho da plataforma localizado próximo São Bento do Norte e a Ponta dos Três Irmãos é observado, morfologia de fundo, uma feição localmente conhecida localmente como “Croa” (Figura 8). Segundo Tabosa (2006), esta feição pode ser geomorfologicamente caracterizada como um corpo submerso arenoso isolado. A duna submersa apresenta-se como um alto em forma curva posicionada paralelamente a linha da costa com mudança de direção do seu contorno para sudoeste, por vezes se sobrepondo a linhas de *beachrock*.

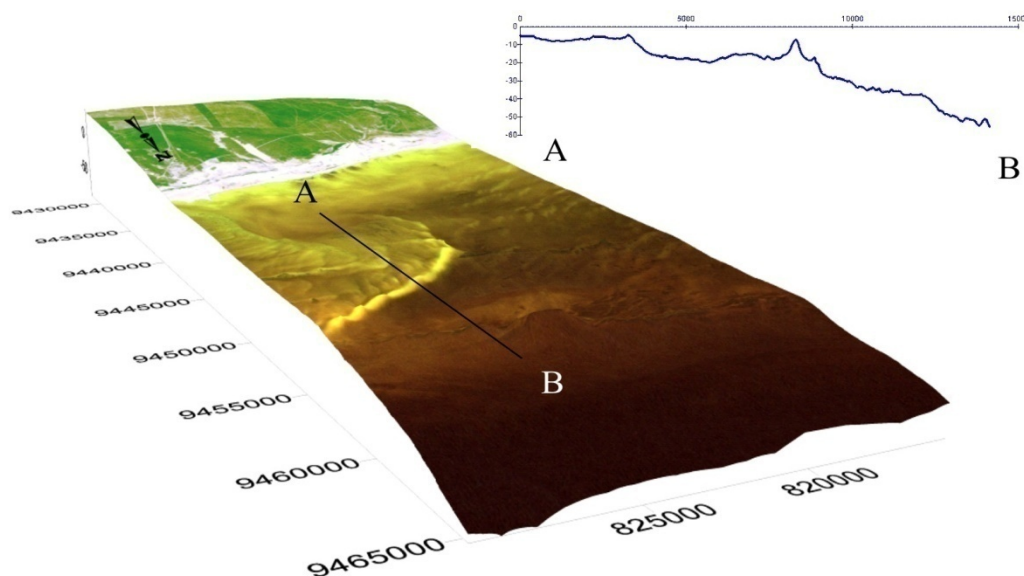


Figura 8 – Alto da Croa. Imagem utilizada RGB_321 Terra, RGB_123 Mar.

As estruturas sedimentares observáveis através das imagens são formadas pelo transporte de sedimentos através das correntes, provocando deposição ou erosão, deixando a água turva. As diversas formas de feições submarinas são modeladas pela ação de correntes unidirecionais indicando que os tipos de feições e suas formas (transversais e longitudinais) dependem da velocidade do fluxo e do tipo de sedimentos recobrendo a plataforma. Neste sentido, se observa que padrões de dunas subaquosas se desenvolvem a oeste do Alto da Croa, porém com menor amplitude batimétrica (Figura 9). Essas dunas apresentam-se orientadas longitudinalmente na direção NE-SW, sendo formas de leito simétricas e assimétricas de grande comprimento de onda. Concordando com Albuquerque (2002) as dunas assimétricas indicariam sentido de corrente para NW. As direções de corrente na região indicam direções de correntes oceânicas de NE para SW e correntes de deriva litorânea no sentido W e NW. As dunas simétricas apresentam comprimento variando de 100-500 m e altura entre 0.5-3.0 m e as assimétricas apresentam comprimento variando de 60-190 e altura entre 0.5-1.0 m.

A reflectância do material de fundo permite a observação dessas feições através das imagens. Essas formas de leito subaquosas se repetem sobre a plataforma, porém com direções e amplitudes distintas. Algumas feições de fundo não são identificadas devida a grandes quantidades de material em suspensão. Observa-se, no setor mais externo, corpos do tipo dunas assimétricas de grande escala e, na parte mais interna, dunas simétricas formadas, possivelmente, por correntes de maré.

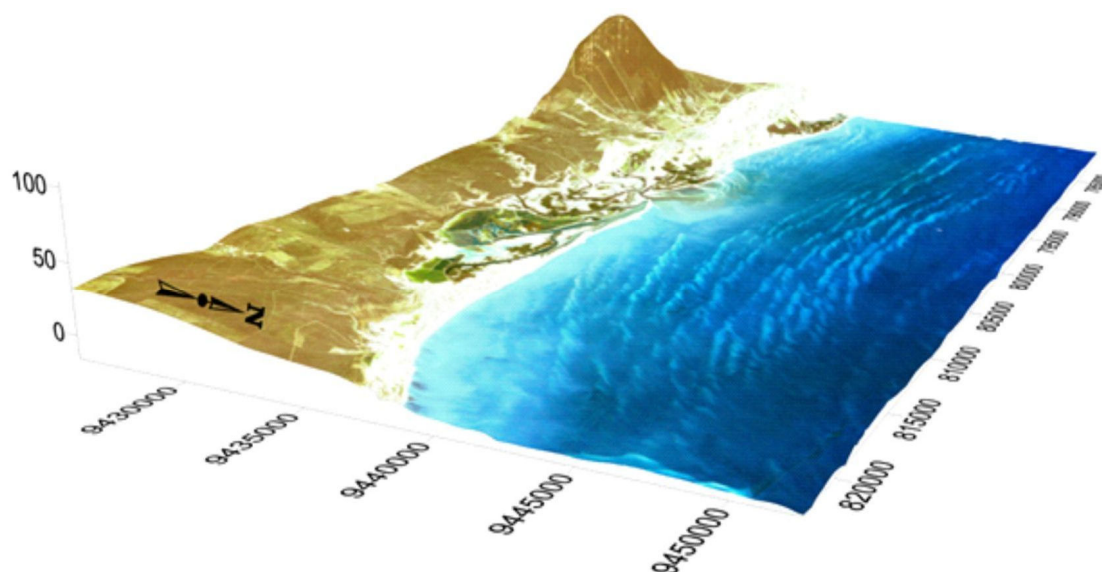


Figura 9 – Dunas subaquáticas. Imagem utilizada RGB_321 Mar, RGB_421 Terra.

È observado algumas linhas de *beachrocks* (Figura 10) de direção aproximadamente E-W, muitos destes afloramentos submarinos são interceptados e cobertos pela deposição sedimentar na região ao longo do Alto da Croa. O lineamento mais extenso localiza-se próximo a quebra da plataforma, com expressão contínua entre o Alto da Croa e o paleocanal do Rio Açu. Este lineamento apresenta um desnível batimétrico na sua região central, podendo ser de origem neotectônica. Outros lineamentos de *beachrocks* estão localizados no local onde ocorre mudança na direção do Alto da Croa, de direção aproximadamente NE. O lineamento (*beachrock* EW) menos expressivo ocorre na porção retilínea descrita acima. Devido a inclinação (basculamento) e cobertura de sedimentos dos blocos de *beachrocks*, estes apresentam-se na imagem de satélite, mais estreitos do que sua largura real, que pode ser comprovada com fotografias subaquáticas e registro batimétrico. Um lineamento de *beachrocks* de grande extensão é definido por uma sequência de arenitos isolados que acompanham o prolongamento do recife iniciado na plataforma em frente à região de São Bento do Norte (Albuquerque, 2002).

beachrocks, estes apresentam-se na imagem de satélite, mais estreitos do que sua largura real, que pode ser comprovada com fotografias subaquáticas e registro batimétrico. Um lineamento de *beachrocks* de grande extensão é definido por uma sequência de arenitos isolados que acompanham o prolongamento do recife iniciado na plataforma em frente à região de São Bento do Norte (Albuquerque, 2002).

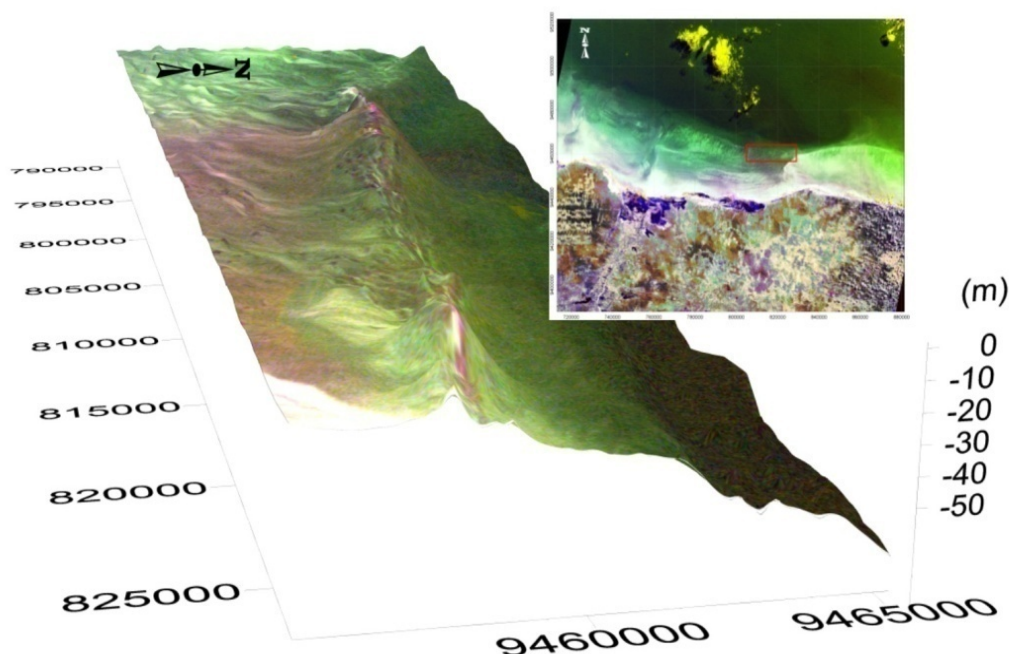


Figura 10 – Porção da linha de *beachrocks*. Imagem utilizada R2G1B1/2 Mar.

Em frente do Rio Açu é identificado um canal imerso com orientação NE (Figura 11). Estende-se desde a foz do rio Açu atingindo profundidades máximas de 32 ainda em plataforma, sua continuidade estende-se até o talude, neste ponto distando cerca de 35 km da foz. Provavelmente, baseando-se no nível do mar atual, os canais destes rios escavaram a plataforma durante os eventos de rebaixamento relativo do nível do mar (regressão marinha), formando sistemas de vales incisos encaixados em calhas deposicionais, sendo assim constituída uma evolução paleoambiental em função das flutuações do nível do mar.

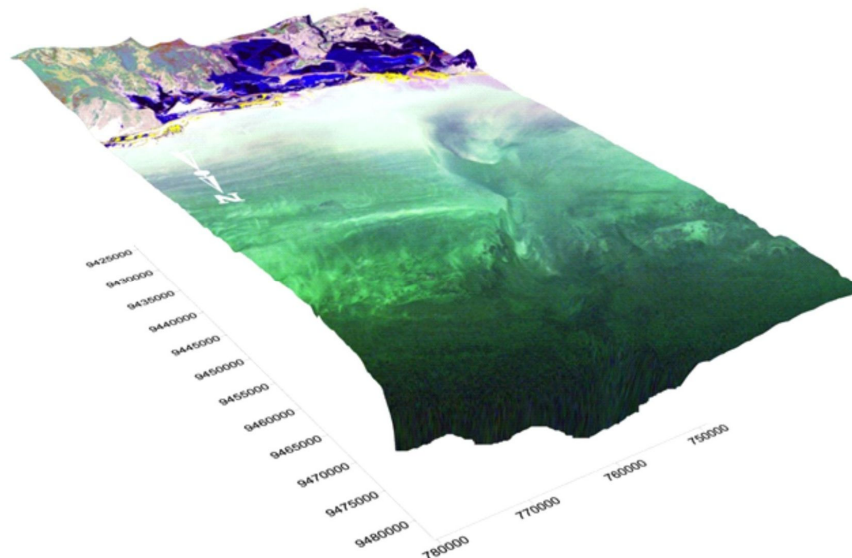


Figura 11 – MDT do paleocanal do Rio Açu-Piranhas. Imagem utilizada R2G1B1/2 Mar e RGB 752_Terra.

5. CONCLUSÃO

A confluência de diversos tipos de agentes modeladores de paisagens promove a configuração geomórfica da Bacia Potiguar. Em superfície, feições regionais evidenciam a forte influência da neotectônica, que deixa na arquitetura interna da bacia cicatrizes da trama estrutural profunda, e os processos sedimentares atuais, que se tornam o limiar entre a acomodação de novos registros sedimentares e a destruição dos relevos atuais e paleo-relevos. A proposta da construção de um MDT, através da integração altimétrica/batimétrica com imagens processadas, permitirá a aplicação de novos subsídios por atributos morfométricos específicos nesta região, entre São Bento do Norte e Apodi (RN), que compreende a interseção da extrema fragilidade ambiental com as áreas de abrangência a riscos de impactos ambientais. Esta região é marcada pela predominância de topografias altimétricas e batimétricas aplainadas ou suavemente onduladas. Nesses ambientes encontram-se distribuídas uma grande quantidade de instalações da Indústria do Petróleo. As atividades da Indústria do Petróleo representam, para a dinâmica que condiciona a evolução de diferentes feições do relevo, potenciais zonas de risco que se intensificam com vulnerabilidade natural dos ambientes associados.

É oportuno que se proceda à análise e mapeamento dos processos morfogenéticos atuais, através da integração de dados de geofísica marinha e terrestre, que poderão confirmar feições que se prolongam pelos dois ambientes ou gerar novas caracterizações nessa interface. Em perspectivas futuras, sugere-se que os próximos levantamentos de geofísica, principalmente marinha, adotem uma postura de aquisição de detalhe (com dados de distribuição e espaçamento mais homogêneos), uma vez que não há dificuldade de operacionalidade e armazenamento de dados. Isso evitará a integração de dados de vários níveis de detalhamentos (espaçamentos), proporcionando, pela elaboração de malhas, a construção modelos digitais de terreno mais exatos e precisos.

A praticidade de elaboração do MDT é limitada pela qualidade e distribuição espacial dos dados, sendo necessários vários processos de tratamento para contornar as dificuldades de se obter os resultados esperados. Os dados de altimetria e batimetria utilizados para gerar as malhas (*GRID* e *TIN*) apresentam-se com diferentes densidades e níveis de precisão, sendo um fator limitante a na construção de malhas para MDT, pois gera inconsistências de interpolação. As metodologias a serem empregadas neste tipo de trabalho – Modelagem Digital do Terreno – corroboram com a necessidade de suporte operacional e a renovação das técnicas de aquisição e análise de dados. A análise das formas individuais de relevo e suas correlações regionais e locais, nos aspectos geomorfológicos e morfo-estruturais pela integração de dados geológicos e geofísicos entres os ambientes terra e mar, compreende um importante passo no auxílio técnico para a exploração de hidrocarbonetos, uma vez que permite a execução de simulações numéricas realistas e acuradas, podendo fornecer subsídios a prospecção, além da visualização tridimensional quantitativa, propriamente dita, por visão sinótica.

7. REFERÊNCIAS

- LIMA, S.F.; & VITAL, H. Geomorphological and paleogeographic characterization of continental shelf of the Apodi-Mossoró River, RN-Brazil. In: Brebbia C.A. (Ed). **Environmental Problems in Coastal Regions VI including Oil Spill Studies**. Wessex Institut of Technology, Cambridge Printing, Reino Unido, p.351-360. 2006.
- TABOSA, W. F. **Morfologia e Sedimentologia da Plataforma Continental Brasileira Adjacente a São Bento do Norte e Caiçara do Norte**. Ago. 2006. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica) Orientadora: Helenice Vital. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.
- SILVA, D. R. V.; AMARO, V. E.; GOMES, M. P.; SOUZA, A. S.; FERREIRA, A. T. S. Modelagem Digital de Terreno como Auxílio ao Monitoramento Ambiental de Áreas Onshore e Offshore da Bacia Potiguar no Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte. In: **58ª REUNIÃO ANUAL DA SBPC**, 2006, Florianópolis,
- VITAL, H.; ESTEVES, L.S.; ARAÚJO, T.C.M.; & PATCHNEELAM, S.M. Geologia e Geofísica da Plataforma Continental Brasileira. **“Quaternário do Brasil”**. Ribeirão Preto: Holos Editoram, Associação Brasileira de Estudos do Quaternário-ABEQUA. p.153-175, Outubro 2005a.
- VITAL, H.; SILVEIRA, M.; AMARO, V. E. Carta Sedimentológica da Plataforma Continental Brasileira - Área Guamaré A Macau (NE Brasil), Utilizando Integração de Dados Geológicos e Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geofísica**. São Paulo: SBGf. Vol. 23, nº 3, p.233-241, dezembro 2005b.
- ALBUQUERQUE, R. C. L. **Aplicação do sensoriamento remoto e do sistema de informações geográficas na elaboração de modelo digital de terreno em áreas submersas do litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte**. Jun. 2002. 58 p. Relatório (Graduação em Geologia). Orientador: Amaro, V. E. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2002.

DIGITAL MODEL OF THE TERRAIN-DTM OF AREAS UNDER INFLUENCE OF THE PETROLEUM INDUSTRY THROUGH THE INTEGRATION OF BATHYMETRYCS AND ALTIMETRICS DATA OF THE COASTAL ZONE NORTH OF THE RN

The northern coast of the Rio Grande do Norte constitutes a space characterized for sedimentary coverings Cenozóicas, of plain of tide, lagoons, restingas, dunes, beaches, etc. the region in appraise shelters diverse relief compartments that conform the current exposition of immersed the Potiguar Basin and emersa, that has been white of surveys of distinct natures objectifying ambient studies, geophysical, oceanographical, infrastructure installations for the Industry of the Oil, amongst others, however the gotten results in general do not integrate the interface continent-ocean. In recent years the Grupo de Geologia e Geofísica Marinha e Monitoramento Ambiental (GGEMMA-PPGG-UFRN), together with the Grupo de Geofísica (GG-DFTE-UFRN), had congregated a significant quantity of althymetrycs and bathymetrycs data, that understand about 330 a thousand stations located in the region enter São Bento do Norte and Apodi-RN. Although it has a massiva amount of data, integrated in an only Data base, its quality and space distribution assevera a limitante factor for the objective of this work: the construction of the Digital Model of Terrain. Had the some surveys of different levels of detailing, the available methods of interpolation become insufficient. Considering this difficulty, an appropriate methodology was developed, of form to adjust the method to the data, previously reduced to an only system of reference using itself software Oasis Montaj, of the GeoSoft, and filtered using itself software Geostatistical Analyst of the ArcGis. It was possible, using systems of modeling and visualization 3D (GoCad, Voxler and ArcSecene), and of generation of meshes GRID and TIN (Surfer and 3D Analyst of the ArcGis), the extration of the space information and the three-dimensional representation of integrated environments land-sea. The visualization of the MDT becomes still more excellent when they are overlapped to the mosaic of images of the sensor LandSat7 ETM+, a time that if integrate the spectral answers of each target, enhanced in the Digital Processing of Image, with its measured altitude. As result, the oceanic and continental althymetryc information had been used for the elaboration of a MDT, that presents resolution enough to portray of trustworth form the feições of relief of the portions onshore and offshore of the Potiguar Basin. This allowed to the regional geomorfologyc characterization and of detail of the continental platform north of the Rio Grande do Norte and the adjacent coastal region. The regional and local analysis of the individual relief forms and its correlations, in the geomorfologycs and morfo-structural aspects of the interface continent-ocean, for the integration of geologyc and geophysical data you enter environments land and sea, understand an important step in the aid technician for the exploration of hydro-carbons, a time that allows the execution of realistic numerical simulations and precision, being able to supply to subsidies the prospection through the visualization/quantitative three-dimensional analysis of the MDT.

Potiguar Basin, Coastal Zone, Bathymetry, Althymetry, Digital Model of the Land.