



Morfologia e sedimentologia da plataforma continental interna do município de Acaraú – Ceará – Brasil

Morphology and sedimentology of the inner shelf in the municipality of Acaraú - Ceará - Brazil

MORAES¹, M. V. A. R.; FREIRE², G. S. S.; MANSO³, V. do A. V.
valdirene@ufpi.edu.br

Resumo

O presente trabalho apresenta os estudos da morfologia e sedimentologia da plataforma continental interna do município de Acaraú – Ceará. Os objetivos focaram o estudo da análise sedimentológica da plataforma continental interna. O método utilizado neste trabalho englobou pesquisas bibliográficas e geocartográficas, levantamento de campo (coleta de amostras) e análises granulométricas. De acordo com os resultados obtidos para a plataforma continental, o modelo batimétrico apresentou uma morfologia de fundo homogênea da isóbata de 0 a 12m. A partir desta isóbata o relevo apresentou-se com declividade suave e com poucas irregularidades, como canais de maré e colinas. O resultado da análise granulométrica da plataforma continental mostrou a predominância de areia bioclástica, caracterizada por apresentar de 70% a 100% de areia e entre 70% a 100% de CaCO₃, representado então uma plataforma continental arenosa.

Palavras-chave: plataforma continental; morfologia e sedimentologia.

Abstract

This paper shows the studies of the morphology and sedimentology of the Inner Continental Platform in the municipality of Acaraú - Ceará. The method used in this work, was initially performed bibliographic and cartographic research, field survey (sample collection) and granulometric analyzes. According to the results obtained for the continental shelf, the bathymetric model showed a morphology of homogeneous background from isobath 0 to 12m. As from the isobath 12m, the relief presented with low declivity and with few irregularities such as rolling hills and tidal channels. The result of the granulometric analysis showed the continental shelf with predominantly bioclastic sand, characterized for present 70% to 100% sand, and from 70% to 100% of CaCO₃, so represented a gritty continental shelf.

Keywords: continental shelf; morphology and sedimentology.

1. INTRODUÇÃO

O estudo sobre a dinâmica costeira tem toda uma complexidade por envolver diversos fatores ambientais e antrópicos que se inter-relacionam. Segundo Vasconcelos (2005) a zona costeira é lugar de pressão demográfica e econômica, é também fonte de recursos naturais utilizados pelas populações humanas. A combinação desses fatores está no cerne de muitos conflitos de usos e interesses atuais e futuros.

De acordo com Guerra (1988), o litoral é definido como uma faixa de terra emersa, banhada pelo mar, uma área que se define a partir da linha de contato entre o relevo terrestre e as águas oceânicas. Seu estudo tem se configurado de muita importância e relevância considerando que o estudo da plataforma continental, é a extensão das terras emersas cobertas pelo mar. A costa do município de Acaraú possui diversidades de ambientes como os extensos campos de dunas, a planície fluviomarina do rio Acaraú, lagunas e flechas arenosas, especialmente na sua costa leste.

A importância do conhecimento da plataforma rasa no processo evolutivo de setores costeiros vem crescendo nas últimas duas décadas. Estudos evolutivos sobre barreiras em larga escala de tempo tem que

¹Maria Valdirene Araújo Rocha Moraes, Departamento de Geografia e História, Universidade Federal do Piauí, Teresina-PI, Brasil.

²George Satander Sá Freire, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, Brasil.

³Valdir do Amaral Vaz Manso, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, Brasil.

considerar o conhecimento detalhado da região estudada. Em menor escala de tempo, estudos relacionados à acreção e erosão de praias devem considerar a modelagem da dinâmica atuante no ambiente de plataforma rasa. Projetos de alimentação artificial de praias ou exploração de jazidas submersas de areia, também necessitam embasar-se em estudos aprofundados sobre a dinâmica atuante no ambiente de plataforma rasa, sem os quais, danos consideráveis podem ser desencadeados nos setores costeiros adjacentes (GRUBER, 2002 *apud* VEIGA, 2004).

Segundo Vital *et al.* (2005) o conhecimento do fundo marinho (plataforma continental) é importante por diversos fatores como: estudar as mudanças climáticas visando à previsão ambiental, entender o impacto da pesca no habitat bêntico e outras comunidades biológicas, estudar padrões de poluição no mar e quais os mecanismos para ajudar a manter a integridade das áreas costeiras, localizar recursos minerais estratégicos e fornecer base de dados através de sensores remotos, ajudando a refinar novas técnicas para previsão e caracterização ambiental.

Conforme Lima (2004), vários estudos estão sendo realizados com o objetivo de caracterizar a costa brasileira, gerando o desenvolvimento de metodologias para o conhecimento e monitoramento de áreas submersas (plataforma continental). Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e o sensoriamento remoto têm ferramentas de grande importância para o desenvolvimento de pesquisas relacionadas a essas áreas. Para Vital *et al.* (2005) a caracterização da morfologia da plataforma continental é importante para analisar as possíveis relações existentes entre a dinâmica e sedimentação do ambiente recente e paleoceanográfico.

A necessidade de analisar a morfologia e sedimentologia do litoral e da plataforma continental do município de Acaraú é de grande importância socioambiental, pois através do sensoriamento remoto e coleta de campo foi possível a geração de um banco de dados georreferenciados. Com o avanço das tecnologias de sensoriamento remoto, é possível produzir mapas geológicos mais completos das áreas costeiras.

Pelas mudanças constantes das áreas costeiras causada pelas ações das forças naturais e das atividades humanas, os mapas topográficos devem ser frequentemente atualizados para oferecer as informações corretas sobre suas constantes mudanças. Os ambientes submarinos e águas rasas podem ser mapeadas por imagens compostas de várias bandas espectrais disponíveis nos vários satélites como o LANDSAT, SRTM (Shuttle Topographic Mission) e SPOT.

1.1 Caracterização da área de estudo

O Município de Acaraú, localizado a noroeste do estado do Ceará, precisamente a 248 km de Fortaleza, tem uma área de 842,88 km². Sua costa possui uma extensão de aproximadamente 50 km, destacando-se as praias de Aranaú, Monteiro, Coroa Grande, Arpoeiras, Espraiado e Volta do Rio. Limita-se ao Norte com o Oceano Atlântico, ao Sul com os municípios de Marco, Morrinhos e Amontada, a Oeste com os municípios de Cruz e Bela Cruz e a Leste com o município de Itarema.

A presente pesquisa foi realizada na plataforma continental interna do município de Acaraú até a isóbata de 30 metros, limitado pelas coordenadas WGS84 UTM 347000 (E) 9690000 (N) a 395000 (E) 9683000 (N); 347000 (E) 9743000 (N) a 395000 (E) 9742000 (N) (Figura 1).

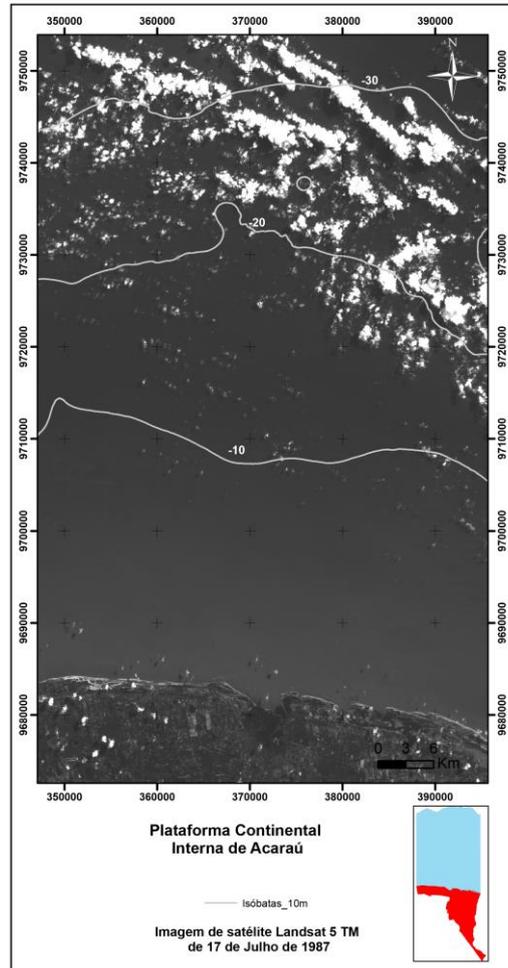


Figura 1 – Localização da área, Plataforma Continental Interna do Município de Acaraú – Ceará.

Fonte: Elaborado por Moraes (2012).

1.2 Contexto geológico da margem continental

A contextualização sobre a Bacia Sedimentar do Ceará foi baseada conforme (FARIAS *et al.*, 1998; BELTRAMI, 1990, BELTRAMI, *et al.*, 1995 e RIBEIRO *et al.*, 1990 *apud* DOMINGUETI; DOMINGUETI, 2002).

A área estudada está inserida no contexto geológico regional da Bacia Sedimentar do Ceará, no qual está localizada na plataforma continental da margem equatorial brasileira, abrangendo uma área de aproximadamente 34.000 km², com uma lâmina d'água de até 200 metros, possuindo uma espessura máxima de sedimentos de cerca de 10.000 metros. Limita-se a sudeste pelo Alto de Fortaleza (com a Bacia Potiguar), a noroeste pelo Alto de Tutóia (com a Bacia de Barreirinhas), a norte pela Falha Transformante do Ceará

(que inclui a cadeia de Fernando de Noronha), e a Sul pela faixa de afloramento do embasamento cristalino, junto à linha de costa no estado do Ceará. Devido a características tectônicas distintas, a Bacia Sedimentar do Ceará foi compartimentada por Beltrami (1990) em quatro sub-bacias: Piauí-Camocim, Acaraú, Icarai e Mundaú, de oeste para leste (Figura 2), as quais apresentam histórias deposicionais e deformacionais ligeiramente distintas.

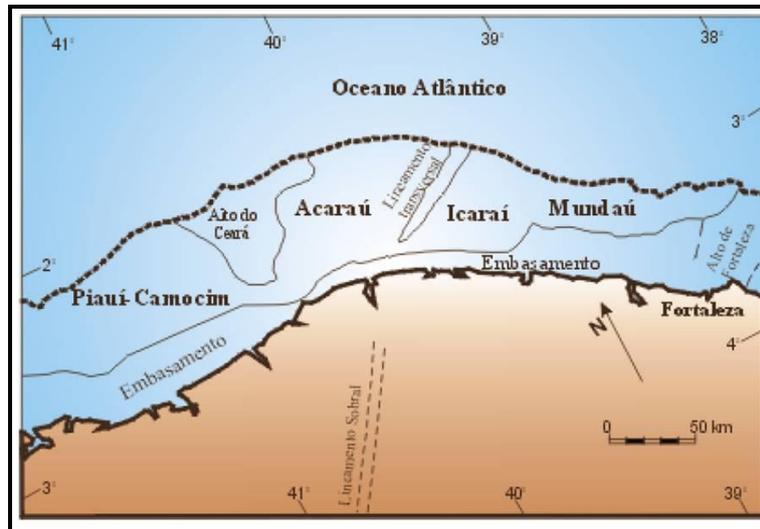


Figura 2 - Subdivisão da Bacia do Ceará. Fonte: Beltrami (1990).

A origem da Bacia do Ceará está relacionada à separação dos continentes africano e Sul-Americano e ela estaria enquadrada como uma bacia do tipo *rift*, em margem divergente. Sua evolução tectono-sedimentar teve início provavelmente no Eo-Aptiano (o Aptiano é a idade do período Cretáceo da era Mesozóica, compreendida entre 125 milhões e 112 milhões de anos atrás, aproximadamente). O preenchimento da Bacia Sedimentar do Ceará compreende sedimentos cujas idades variam desde o Eo-Aptiano (Alagoas) até o Quaternário (BELTRAMI, 1990; DOMINGUETI, 2002).

As rochas sedimentares do Meso-Cenozóico que preenchem a bacia sedimentar do Ceará não afloram. Até o momento não foram amostrados sedimentos mais antigos que o Eo-Aptiano, datados através de palinóforos continentais. No entanto, acredita-se que depósitos mais antigos possam estar presentes nas porções mais profundas da bacia, como indicado pelo espesso pacote imageado por dados sísmicos, que sugere a possibilidade de seção *sin-rift* de idade barremiana (?) ou de um substrato sedimentar *pré-rift* (Jurássico?/Paleozóico?), assim como pela preservação comprovada de sedimentos de idade paleozóica-mesozóica na bacia *offshore* de Ketha (Gana), sua contraparte africana. Estima-se que o embasamento da bacia, na sua porção mais profunda, possa atingir mais de 15 km de profundidade. As datações e interpretações paleoambientais atualmente disponíveis originam-se de diversos estudos do conteúdo microfossilífero de poços perfurados pela PETROBRÁS na sub-bacia de Mundaú. Esses microfósseis incluem ostracodes lacustres, grãos de pólen e esporos, dinoflagelados, foraminíferos bentônicos e

planctônicos, nanofósseis calcários e macroforaminíferos, estes últimos na seção terciária da bacia (MORAIS NETO *et al.*, 1996).

As sub-bacias de Icaraí e Acaraú estão separadas pelo prolongamento norte do Lineamento Sobral-Pedro II (Lineamento Transbrasiliano), sendo que a última está separada da sub-bacia de Piauí-Camocim pelo Alto do Ceará, feição positiva de provável origem magmática. A sub-bacia de Mundaú limita-se com a sub-bacia de Icaraí por uma importante inflexão da falha de borda no prolongamento nordeste da falha Forquilha (ZALÁN; WARME, 1985).

Nas sub-bacias de Icaraí, Acaraú e Piauí-Camocim, situadas em domínio transpressivo, os principais traços estruturais alinham-se na direção E-W e NE-SW, claramente influenciados pela movimentação direcional associada à tectônica transcorrente ao longo daquele mega-corredor de cisalhamento dextral. Tal deformação foi responsável pela geração de uma notável gama de estruturas, como falhas de cavalgamento, falhas reversas, falhas normais e oblíquas, estruturas-em-flor positivas e negativas, enxames de falhas direcionais e dobras gigantescas, além da inversão de depocentros (ZALÁN; WARME, 1985; CASTRO JR., 1994; CASTRO, 1993; SAUERBRONN *et al.*, 1995).

Embora com diferenças genéticas em relação à evolução das bacias da margem leste, o registro sedimentar da bacia do Ceará pode ser agrupado em função das sucessivas fases evolutivas da bacia, as quais compreendem os estágios *rift*, transicional e de franca deriva continental.

Segundo Moraes Neto *et al.* (1996) o estágio de deriva é litologicamente representado pelas formações Tibau-Guamaré-Ubarana, cuja preservação é diferente entre as sub-bacias, em função de suas histórias geológicas diferenciadas. Esta fase caracterizada pela deposição da megassequência marinha (Beltrami *et al.*, 1995; Lana *et al.*, 2001) pode ser dividida em duas sequências de segunda ordem: uma basal mais delgada, tipicamente transgressiva, representada pelos pelitos bacinais do Membro Uruburetama da Formação Ubarana; e uma progradacional/agradacional mais espessa, regressiva, representada pelos sedimentos de talude do Membro Itapagé da Formação Ubarana e pelos sedimentos plataformais das Formações Tibau e Guamaré.

1.3 Depósitos Quaternários da Margem Continental

Para a Plataforma Continental do Ceará, Freire *et al.* (2007) baseia-se em vários parâmetros, dentre eles, textura, teor de CaCO₃, associações carbonáticas, grau de retrabalhamento dos componentes bióticos, proporção relativa de feldspato e composição mineralógica dos componentes litoclásticos, definindo duas províncias sedimentares, uma carbonática e outra siliciclástica, de acordo com o teor de CaCO₃, maior ou menor que 50%, respectivamente.

Província Carbonática - encontra-se distribuída numa faixa quase contínua, limitando-se, principalmente, à plataforma externa (a partir de 20 metros de profundidade) e as porções mais profundas da

plataforma interna, sendo constituída somente por componentes esqueléticos (FREIRE; CAVALCANTI, 1998).

A concentração de CaCO_3 nos sedimentos carbonáticos, principalmente nas fácies de areias e/ou cascalhos de *halimeda* e *maerl*, é superior a 75%. Os valores mais elevados são observados a oeste de Fortaleza, com teores da ordem de 95% nas fácies de *maerl* (cascalho de algas coralinas) (FREIRE; CAVALCANTI, 1998).

São cinco as principais fácies de sedimentos carbonáticos que ocorrem na plataforma continental do Ceará (FREIRE, 1985; FREIRE; CAVALCANTI, 1998).

Areias de foraminíferos: ocorrem isoladamente na borda externa da plataforma continental, defronte a Acaraú e a Aracati. De hábito planctônico, predominam testas de globigerina, pterópodos, etc.

Areia e cascalho de halimeda: esta fácies ocorre preferencialmente na extremidade sudeste da área estudada, embora algumas “manchas” isoladas se distribuam dentro do domínio das algas coralinas. A textura dos depósitos varia de areia a cascalho, sendo formados por segmentos de *H. incrassata*, por vezes *H. tuna*. Ocorrem foraminíferos planctônicos, moluscos e algas coralinas, de maneira subordinada.

Areia e cascalho biodetríticos: esta fácies, de maneira anômala às demais da província carbonática, ocorre na plataforma interna, principalmente defronte a Acaraú e Icapuí. É formada por uma mistura de fragmentos de moluscos, briozoários, foraminíferos, algas coralinas e/ou halimeda, em que não há o predomínio de algas calcárias. Caracteristicamente, apresenta um grau apreciável de retrabalhamento.

Maerl (cascalho de algas coralinas): ocorre principalmente no segmento E-W da plataforma continental e estende-se para leste, até mais ou menos a altura da desembocadura do rio Curu. Ocorrências mais restritas à borda externa da plataforma são observadas também no segmento NW-SE. Predomina o cascalho de formas livres ramificadas, por vezes sob forma de rodolitos, possivelmente do gênero *Lithothamnium*. Ocorre a contribuição subordinada de fragmentos de moluscos, segmentos de halimeda, briozoários e foraminíferos planctônicos.

Vermetídeos: ocorrendo em áreas reduzidas, foram encontradas apenas na extremidade sudeste do segmento NW-SE da plataforma, nas proximidades da desembocadura do rio Jaguaribe.

Província Siliciclástica - na plataforma continental do Ceará, encontra-se a maior distribuição de sedimentos da província siliciclástica do Nordeste brasileiro, a qual predomina em toda plataforma interna (profundidades menores que 20 metros).

A província siliciclástica é composta por areias e componentes bióticos retrabalhados (fragmentos de moluscos, algas calcárias e foraminíferos). A fração arenosa é composta de grãos de quartzo arredondados com superfície brilhante e por vezes foscos e picotados. O grau de seleção varia de pobremente a moderadamente selecionado. A pequena concentração de lama deve-se a não existência de uma drenagem importante e a presença dos cordões de dunas litorâneas, que barram o pequeno aporte que possa ocorrer (FREIRE, 1985).

Segundo Freire (1985) e Freire e Cavalcanti (1998), as principais fácies siliciclásticas da plataforma continental do Ceará são as seguintes:

Cascalho quartzoso: ocorre em manchas, principalmente ao largo de Acaraú, na zona onde a plataforma muda de direção E-W para NW-SE. Os grãos são subangulares, recobertos por películas de óxido de ferro. Associa-se a areia grossa quartzosa.

Areia quartzosa: é a fácies predominante na província siliciclástica, especialmente na plataforma interna e no segmento de tendência NW-SE, defronte a Fortaleza.

Lama: ocorre em manchas localizadas, principalmente defronte a Acaraú e a noroeste de Fortaleza.

2. METODOLOGIA

2.1 Dados da morfologia da plataforma interna de Acaraú

Os dados da batimetria da área em estudo foram obtidos através de dados pré-existentes junto ao Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada (LGMA/UFC). A partir de então, foi organizado o banco de dados para confecção do Mapa Batimétrico.

A batimetria é expressa cartograficamente por curvas batimétricas que são curvas que unem pontos de mesma profundidade com equidistâncias verticais à semelhança das curvas de nível topográfico. Os dados batimétricos aqui apresentados foram processados para a confecção do modelo batimétrico e obtidos através das Cartas Náuticas 600 e 700 em escala 1:316.000, cedidas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (DHN) ao Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada (LGMA).

Inicialmente, realizou-se a seleção dos dados X, Y e Z até a profundidade de 30 metros (Figura 3). Os parâmetros X e Y correspondem às coordenadas dos pontos existentes, Z corresponde à profundidade em metros já corrigida a diferença produzida pela maré. As coordenadas geográficas referenciadas estavam em *Datum* Córrego Alegre, sendo importados para ambiente SIG. Utilizou-se o software ArcGis 10 para a transformação do *Datum* Córrego Alegre para o *Datum* WGS84 SUTM 24.

Segundo Felgueiras (1999) um Modelo Digital de Terreno (MDT) representa o comportamento de um fenômeno que ocorre em uma região da superfície terrestre. Seus dados são de fundamental importância em aplicações de geoprocessamento desenvolvidas no ambiente de um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Os modelos são obtidos a partir de uma amostragem do fenômeno dentro da região de interesse. As amostras foram processadas de forma a criar modelos digitais, que representasse a variabilidade do fenômeno nessa região. Os modelos digitais são disponibilizados a uma série de procedimentos de análises (qualitativas ou quantitativas) úteis para aplicações de geoprocessamento. As análises são importantes para fins de simulações e tomadas de decisão no contexto de desenvolvimento de aplicações ou modelagens que utilizam SIG.

Atualmente a geoestatística tem sido aplicada nas mais diversas áreas do conhecimento como na hidrogeologia, meio ambiente, geotécnica e oceanografia. Nesta pesquisa, ela serve como modelo à superfície da plataforma continental do município de Acaraú a partir de dados batimétricos.

O modelo batimétrico foi elaborado utilizando o método geoestatístico de krigagem (mais eficaz por apresentar melhores parâmetros estatísticos), escolhido por ser o método de interpolação que apresenta melhores resultados dentre os interpoladores estatísticos que são: mínimo curvatura, o inverso da distância e a krigagem (LANDIM, 2002). A Krigagem é considerada um bom método de interpolação de dados, pois utiliza o dado tabular e sua posição geográfica para calcular as interpolações. As unidades de análises mais próximas entre si são mais parecidas do que unidades mais afastadas. Esse método utiliza funções matemáticas para acrescentar pesos maiores nas posições mais próximas aos pontos amostrais e pesos menores nas posições mais distantes, e criar assim os novos pontos interpolados com base nessas combinações lineares de dados (JAKOB, 2002).

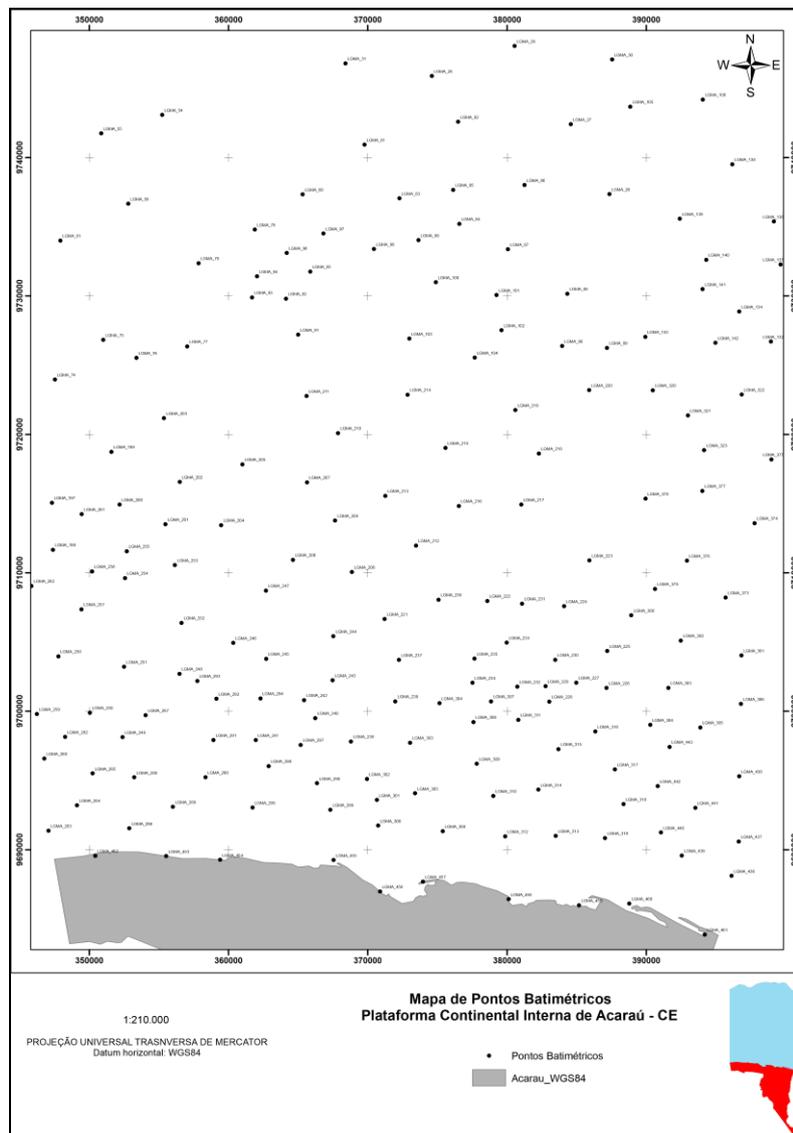


Figura 3 – Mapa dos pontos batimétricos. Fonte: Elaborado por Moraes (2012).

A geoestatística define um conjunto de procedimentos matemáticos que permite o reconhecimento e a descrição de relacionamentos espaciais existentes. Nesse processo, admite-se que a posição de uma amostra é tão importante quanto o valor medido. Os modelos estatísticos adotados para a análise espacial fundamentaram-se na utilização de semivariogramas pelo interpolador geoestatístico *Kriging Ordinary*. O Variograma é o instrumento que descreve quantitativamente a variação no espaço de um fenômeno regionalizado. Se os pontos são muito correlacionados, a variância das diferenças será menor. Quando esta é representada em função da distância (h) fica demonstrada a correlação espacial (covariância) de um fenômeno regionalizado e torna-se possível a construção de um variograma.

Para o cálculo e ajuste do semivariograma dentro dos parâmetros descritos acima, foi utilizado o *software* geoestatístico VARIOWIN® 2.21, em que se pode obter o MDT através do método de interpolação da krigagem. O modelo batimétrico foi confeccionado a partir dos dados da batimetria e do semivariograma ajustado através do *software* SURFER 8.0.

2.2 Dados da sedimentologia da Plataforma Continental Interna de Acaraú

As amostras sedimentológicas foram fornecidas pelo LGMA/UFC e obtidas a partir dos cruzeiros GEOCOSTA II, GEOMAR XVIII e REMAC. Essas amostras foram coletadas em perfis perpendiculares a linha de costa, utilizando amostradores pontuais do tipo *Van Veen* e dragas do tipo *Gibbs*, totalizando 37 amostras para os limites da plataforma interna de Acaraú até a isóbata de 30m (Figura 4).

A análise granulométrica das amostras sedimentológicas foi realizada no Laboratório de Geologia Marinha (LGMA) da Universidade Federal do Ceará (UFC), onde inicialmente, passou pela estufa com uma temperatura de 60° para retirar a umidade, em seguida, as amostras foram quarteadas, com o intuito de obter uma maior homogeneidade e dessas amostras retirou-se 100g para o peneiramento úmido. Da fração arenosa (granulometria >0,062mm a 2mm) foi realizado o peneiramento seco, utilizando um “*rot up*” tipo *Granutest* com um jogo de peneiras com malha variando de -2,5 Ø a 4,0 Ø. A partir dos pesos obtidos em cada peneira do processo anterior, foram calculados os parâmetros estatísticos de acordo com Folk; Ward (1957), além da classificação das amostras (média, desvio padrão, assimetria e curtose), utilizando-se o *software* ANASED (Lima *et. al.* 2001). No entanto, as amostras da plataforma interna da área foram fornecidas pelo LGMA com os resultados num banco de dados, sendo, portanto organizado a fim de se obter os resultados pretendidos nesta pesquisa. Para o teor de CaCO₃ foi determinado na amostra bruta usando o método do Calcímetro de Bernard Modificado.

Para determinação das fácies existentes, utilizou-se a classificação de Shepard (1954), a qual leva em consideração a relação entre a quantidade de cascalho, areia e lama e a classificação de Larssoneur modificada de Freire *et al.* (1997), tendo como base os parâmetros texturais e teores de carbonato de cálcio. Essas duas classificações resultaram em um esquema classificatório apresentado na figura 5 proposto pelo

LGMA, considerando o caráter misto dessa plataforma e as ocorrências irrisórias de lama (FREIRE *et al.*, 2007).

Na confecção do mapa Faciológico, foram utilizados os resultados da classificação granulométrica dos sedimentos de fundo, fato que está de acordo com a classificação proposta pelo LGMA e os dados batimétricos. O tratamento das informações e delimitando as fácies sedimentares ocorreram por meio computacional em plataforma SIG com a utilização do *software* ArcGIS 9.2.

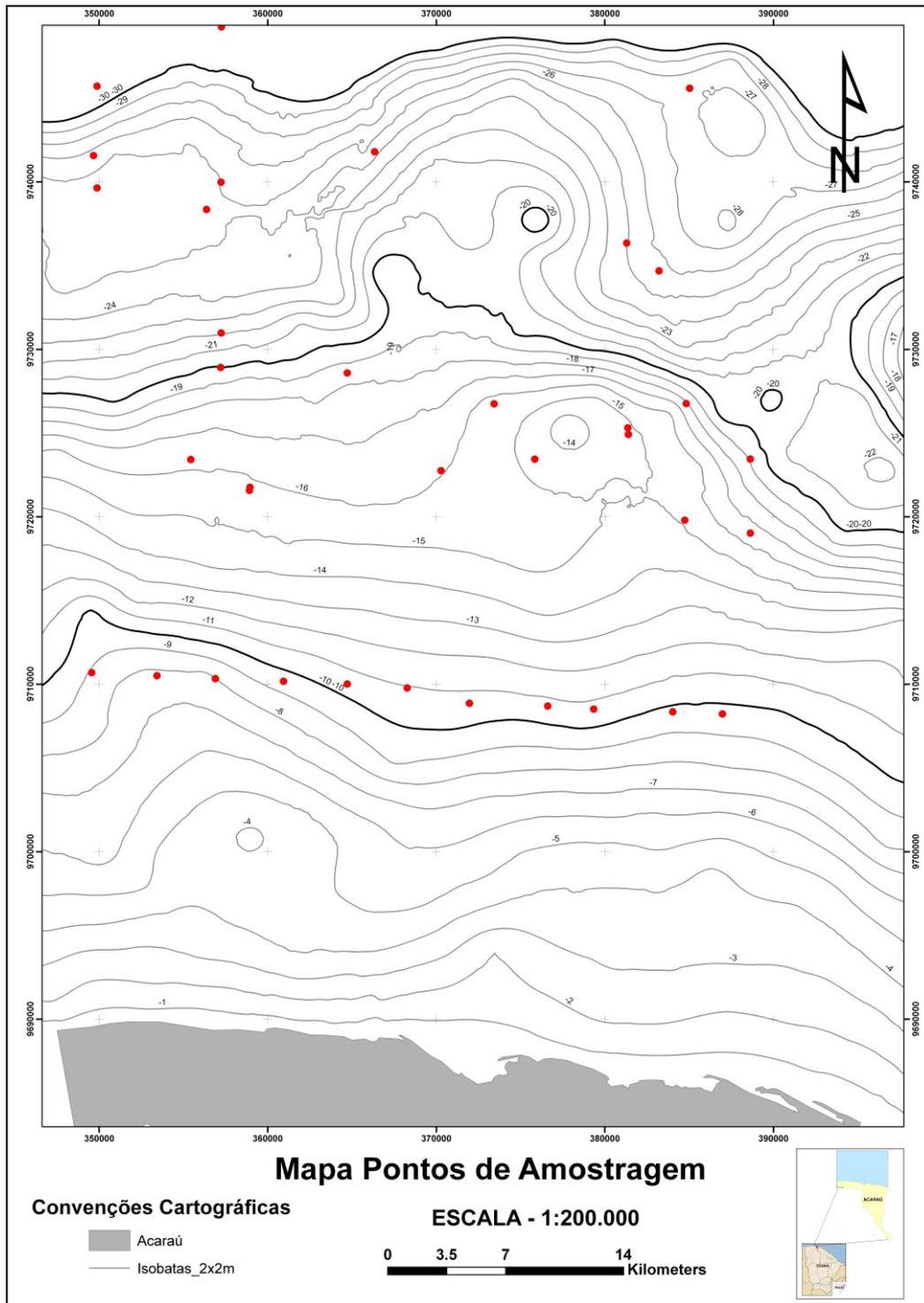


Figura 4 – Mapa de pontos de amostragem da plataforma interna de Acaraú. Fonte: Moraes (2012).

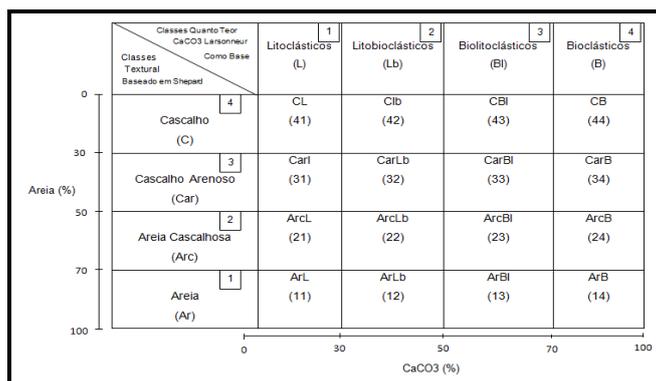


Figura 5 - Classificação de fácies sedimentares adotadas pelo LGMA. Fonte: Elaborado por Moraes (2012), adaptada de Shepard (1954) Larssoneur (1977, *in* Freire *et al.*, 1997).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Morfologia da Plataforma Continental do Ceará

Tendo como base a morfologia e a distribuição dos tipos de sedimentos (Coutinho, 1976) a plataforma do Nordeste está dividida em três segmentos: plataforma interna correspondente à área entre a linha de praia e a isóbata de 20m; plataforma média, situada entre as isóbatas de 20 e 40m, com relevo bem mais regular e a plataforma externa, a partir de 40m até a borda da plataforma.

Freire (1985), a partir de análises das classificações da plataforma continental do Nordeste (KEMPF, 1970 e COUTINHO, 1976), classificou a plataforma do Ceará em plataforma interna, variando de 0 a 20m, em que predomina fácies arenosa quartzosa e plataforma externa que vai de 20m até a quebra da plataforma numa profundidade média de 60m.

A plataforma mencionada tem uma largura máxima na altura de Camocim de 101 km de extensão e a mínima em Tremembé de 41 km. Pode-se dizer que na plataforma continental do Ceará a largura predominante é em torno de 63km (FREIRE, 1985). A área em estudo corresponde à plataforma continental de Acaraú até a isóbata de 30m, com uma área aproximada de 2.826,27 km² e possui uma largura máxima de 62 km (Figura 6).

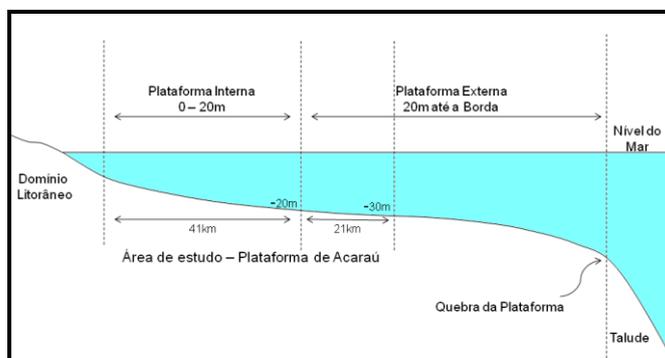


Figura 6 – Diagrama esquemático do perfil da plataforma continental do Ceará e da área em estudo. Fonte: Elaborado por Moraes (2012).

3.2 Modelagem Batimétrica da Plataforma Continental Interna de Acaraú

Os pontos batimétricos obtidos através das Cartas Náuticas 600 e 700 em escala 1:316.000 através da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (DHN) ao Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada (LGMA) foram filtrados até a isóbata de 30m e estruturados em coordenadas UTM no *Datum* WGS84 24S, sendo (x e y) as coordenadas geográficas e (z) a profundidade em metros.

No *software* geoestatístico VARIOWIN® 2.21 foi realizado o cálculo e o ajuste do semivariograma, dos dados batimétricos X, Y e Z filtrados até a profundidade de 30 metros. Os resultados do ajuste mostram que o modelo mais adequado foi o gaussiano, por melhor representar os parâmetros estatísticos (alcance, patamar, efeito pepita e o modelo ajustado) da variável estudada (Figura 7).

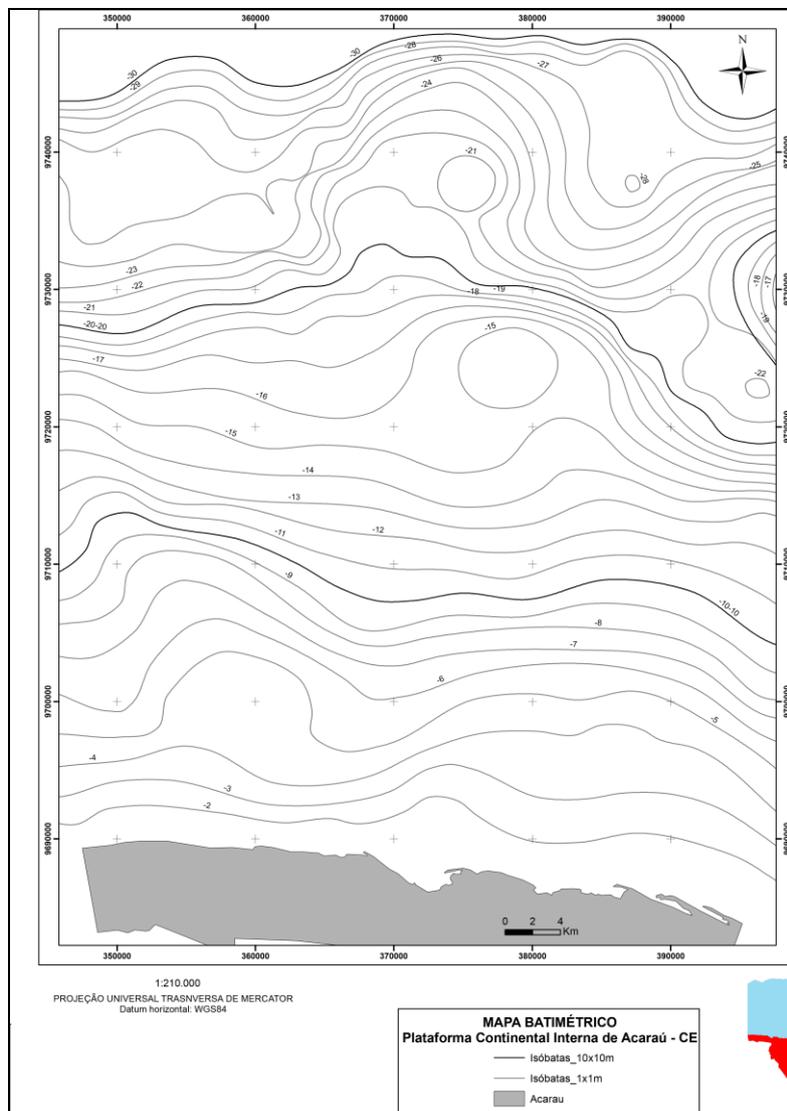


Figura 7 – Modelo batimétrico. Fonte: Elaborado por Moraes (2012).

O resultado batimétrico apresentou para a área pesquisada uma morfologia de fundo homogênea da isóbata 0 a 12, devido se tratar de uma planície de maré. O relevo apresentou-se com declividade suave e com poucas irregularidades, apresentando relevos arredondados, denominados de colinas, e com uma declividade suave que varia de 1:1900 a 1:2066. O MDT foi confeccionado a partir dos dados acima, utilizando o *software* SURFER 8.0 ajustado com o semivariograma (Figura 8). Esse modelo mostra a forma numérica de representação do relevo a partir dos dados vetoriais tratados.

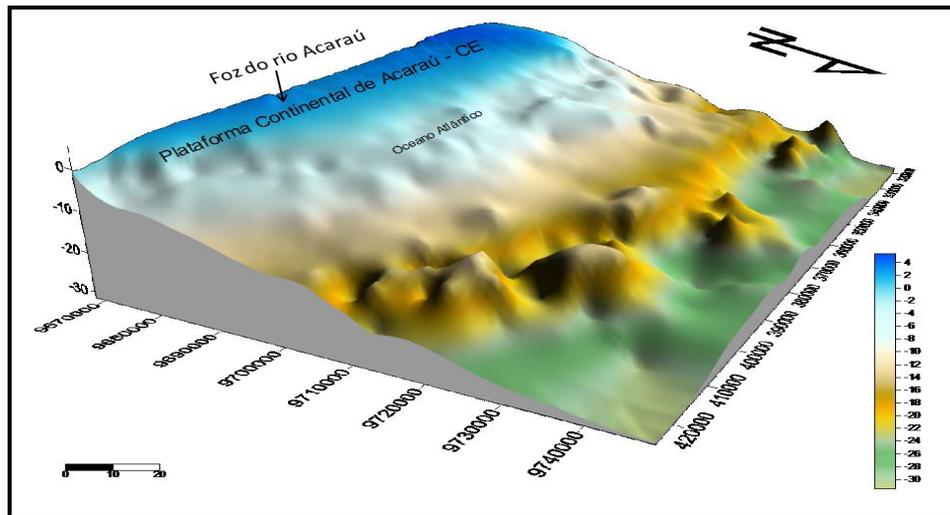


Figura 8 – Modelo Digital de Terreno (MDT) da Plataforma Continental de Acaraú até a isóbata de 30m. Fonte: Elaborado por Moraes (2012).

A partir do Modelo Batimétrico, obteve-se as linhas de contornos que correspondem às isóbatas do relevo submerso, no qual se pode observar a declividade do terreno disposta paralelamente à costa. Foram traçados perfis batimétricos transversais e longitudinais, utilizados na descrição da morfologia da plataforma continental interna do município de Acaraú (Figura 9).

Na Figura 10 verificam-se os valores mais significativos da declividade dos perfis batimétricos transversais. A declividade variou de 1:1666 a 2:500 nos primeiros 5 km mar a dentro. E observa-se uma declividade suave nos primeiros 30 km de 1:2.000 e profundidade média de -15m. Após 3km mar adentro até a isóbata de 30m o relevo se apresenta com suaves declives, intercalados por relevos positivos e negativos.

Os maiores declives são observados nos perfis 3 3', 4 4' e mais acentuados formando pequenas colinas no perfil 5 5'.

A Figura 11 mostra o resultado dos perfis longitudinais traçados paralelamente à linha de costa, atingindo um comprimento de cerca de 50 km, com o intuito de observar o comportamento do relevo de fundo da área. Nos perfis A A', B B' e C C' verifica-se o paleocanal do rio Acaraú, que se estende cerca de no máximo 12.000 metros de distância da linha de costa. Nos perfis D D', E E' e F F' observou-se um relevo mais acidentado com presença de colinas e canais, sendo estes modificados predominantemente por processos marinhos.

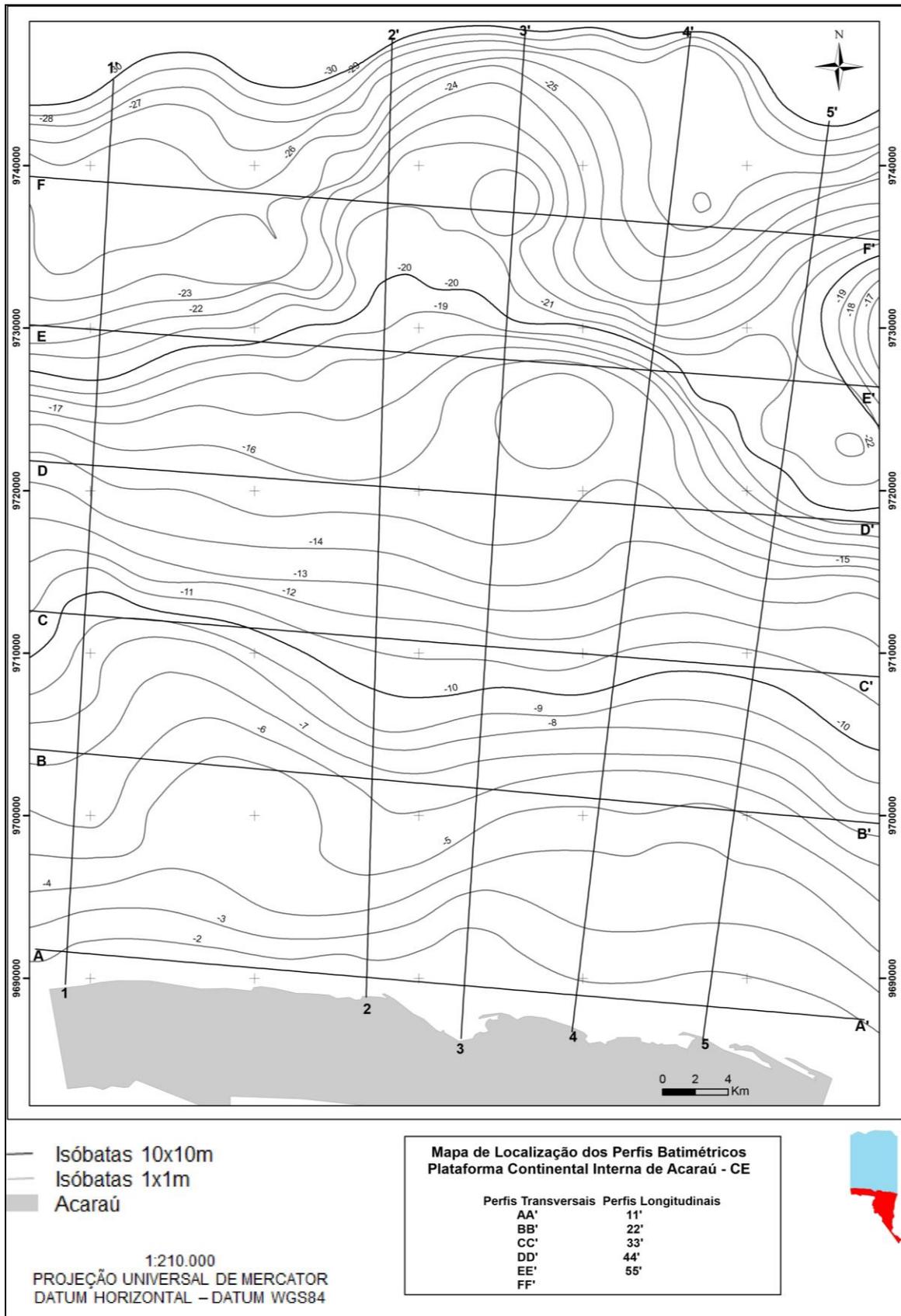


Figura 9 – Localização dos perfis batimétricos. Fonte: Elaborado por Moraes (2012)

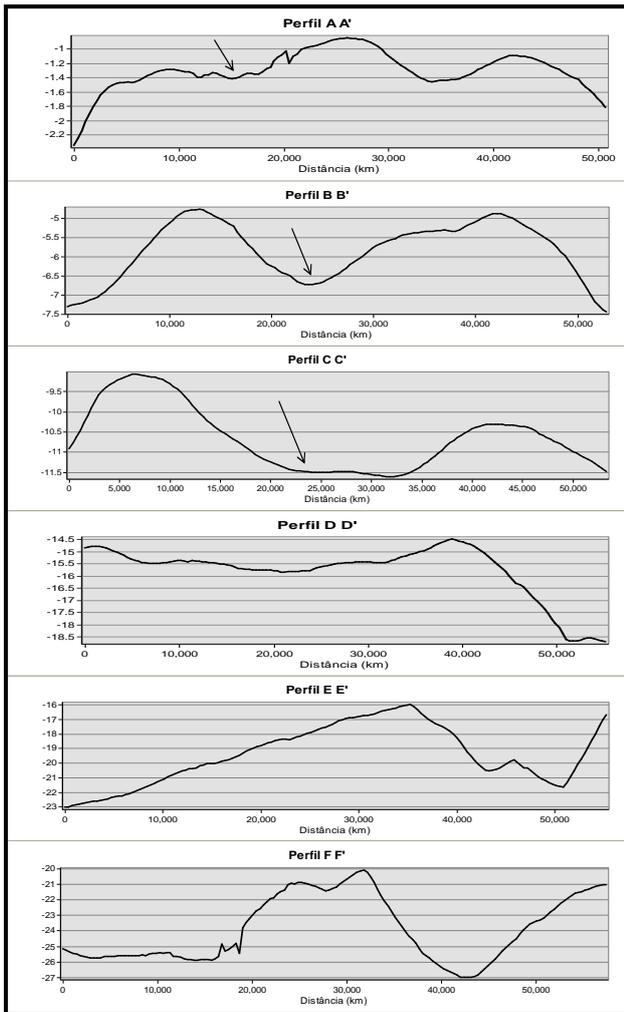


Figura 10 – Perfis batimétricos transversais. Fonte: Elaborado por Moraes (2012).

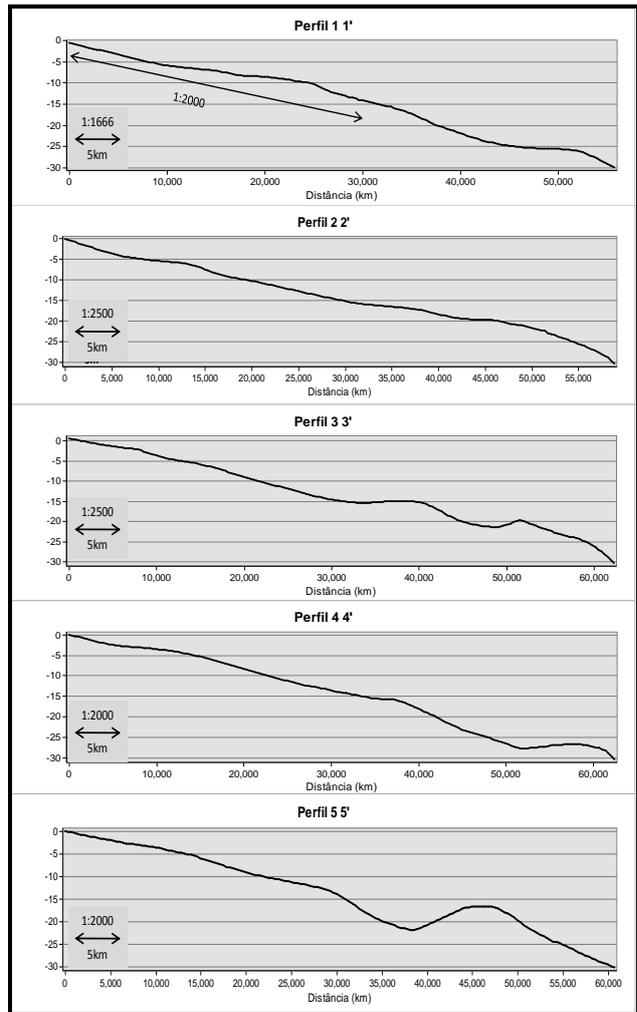


Figura 11 – Perfis batimétricos longitudinais. Fonte: Elaborado por Moraes (2012).

3.3 Sedimentologia da Plataforma Continental Interna de Acaraú

O mapa Faciológico foi confeccionado a partir da correlação entre os resultados de análise dos pontos de amostragem e a influência da batimetria. As amostras foram classificadas de acordo com a classificação proposta pelo LGMA (Figura 5). Essas amostras somaram um total de 37, sendo: 25 (67,57 %) classificadas como Areia Bioclástica, 6 (16,22 %) classificadas como Areia Litoclástica, 4 como Areia Litobioclástico (10,80 %) e 2 como Areia Biolitoclástica (5,40 %).

Na plataforma estudada as fácies sedimentares (Figura 12) foram delimitadas de acordo com Freire *et al* (2007), onde a classificação mais indicada para os sedimentos da Plataforma Continental do Estado do Ceará, seria subdividi-los em duas associações faciológicas; uma carbonática e outra litoclástica. Essa subdivisão se deve a parâmetros condicionantes como textura, teor de CaCO_3 , biocenose, retrabalhamento dos grãos e composição mineralógica.

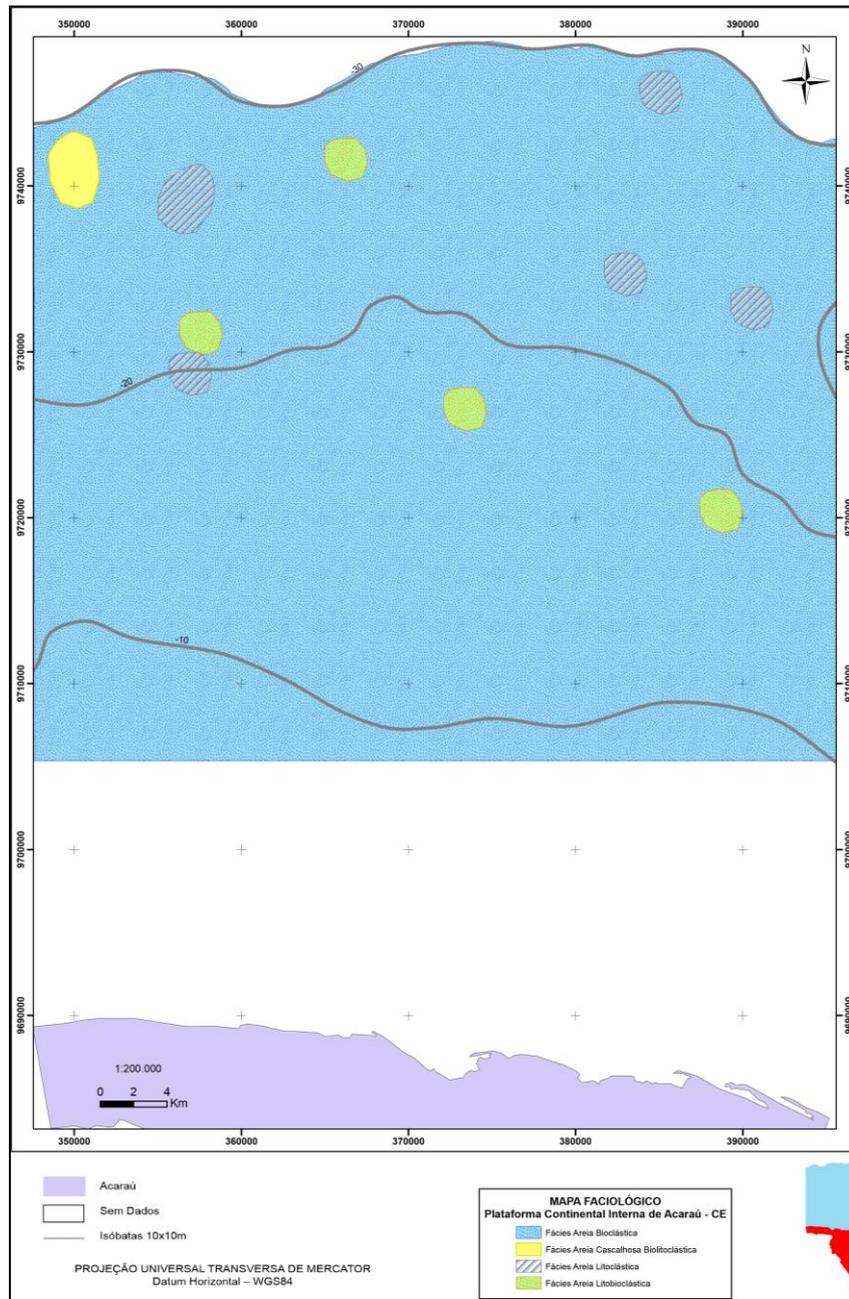


Figura 12 – Mapa de fácies sedimentológicas. Fonte: Elaborado por Moraes (2012).

Associação Litoclástica - divide-se em duas fácies: Areia Litoclástica e Areia Litobioclástica.

A fácies Areia Litoclástica apresenta de 70% a 100% areia de origem continental e no Máximo 30% de CaCO_3 . Ocorre de forma isolada em três pontos da plataforma, entre a isóbata 19m a 27m, com uma área de aproximadamente 458,42 km^2 . Esta fácies é composta por areia fina moderadamente selecionada.

A fácies Areia Litobioclástica apresenta de 50% a 70% de areia de origem continental e entre 30% a 50% de CaCO_3 . Aparece em quatro pequenas porções isoladas, entre as isóbatas de 15 a 25 metros, cobrindo uma área de aproximadamente 305,23 km^2 .

Associação Carbonática - apresenta duas fácies: Areia Bioclástica e Areia Biolitoclástica.

A fácies Areia Bioclástica é predominante na área estudada, cobre uma área de aproximadamente 1.909,71 km², estendendo-se da isóbata 15m até a isóbata de 30m, ressaltando que da isóbata 0 a 15m não houve coleta de dados. Caracteriza-se por apresentar de 70% a 100% de areia e entre 70% a 100% de CaCO₃.

A fácies Areia Cascalhosa Biolitoclástica foi encontrada em duas ocorrências entre a isóbata de 25 a 28m a noroeste da plataforma interna, com área aproximada de 153,35 km². Caracteriza-se por apresentar entre 50% e 70% de areia cascalhosa e entre 50% e 70% de CaCO₃.

3.4 Teores de Carbonato de Cálcio Plataforma Continental Interna de Acaraú

A partir da análise do teor de carbonato de cálcio presente em cada amostra, foi possível obter o mapa de teores de CaCO₃ (Figura 13) para a plataforma continental estudada.

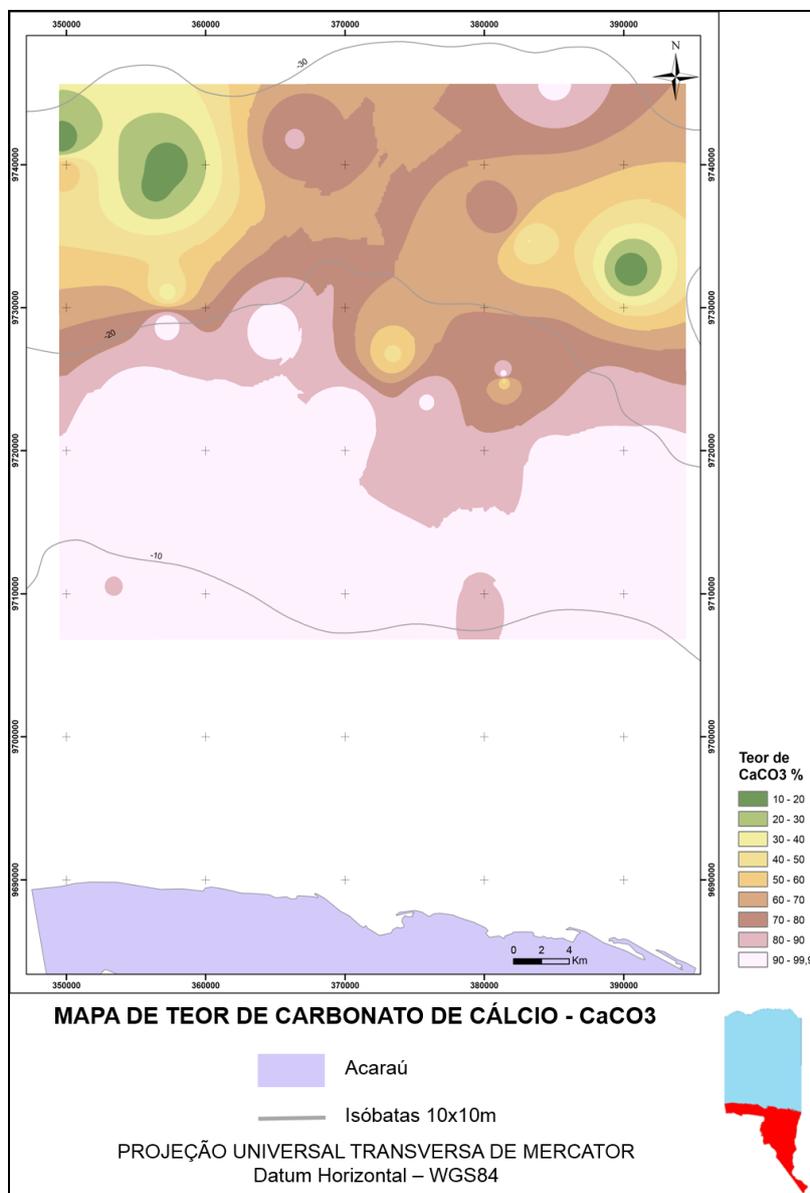


Figura 13 – Teor de carbonato. Fonte: Elaborado por Moraes (2012).

Os teores de Carbonato de Cálcio foram divididos em 9 (nove) classes, variando no intervalo de 10%. Para a maior parte das amostras analisadas (21 amostras) o percentual de CaCO_3 foi de 90 a 99,9%, enquanto que o menor percentual de apenas 10 a 20% foi para 4 amostras localizadas acima das isóbatas de 20 metros. Para as 12 amostras restantes a distribuição ficou: 4 amostras com percentual de 80 a 90%; 2 amostras com percentual de 70 a 80%; 1 amostra com percentual de 50 a 60%; 5 amostras com percentual de 30 a 40%. A concentração predominante de carbonato de cálcio na plataforma continental estudada é superior a 70%, já as menores concentrações ocorrem em pontos isolados.

4. CONCLUSÕES

A presente pesquisa foi realizada no município de Acaraú – CE, localizado a noroeste do Estado do Ceará e constitui-se em uma contribuição para o conhecimento morfológico/sedimentológico da plataforma continental interna, além de fornecer subsídios para futuros trabalhos sobre o tema estudado.

O regime hidrodinâmico da região litorânea estudada reflete a complexidade dos diferentes tensores ambientais atuantes nessas áreas. As relações entre os fatores que intervêm neste ambiente, principalmente a influência dos aportes fluviais, marinhos e a ação dos ventos dominantes mostram que as regiões litorâneas são ambientes deposicionais intimamente relacionados aos processos oceânicos, como no aporte de sedimentos da planície de maré de Acaraú; aos processos fluviomarinheiros, como por exemplo, a influência do Rio Acaraú e da rede de drenagem das bacias hidrográficas, Litoral e Coreáú, que deságuam na região litorânea do município de Acaraú; e aos processos eólicos atuantes sobre os campos de dunas e flechas arenosas.

Para a plataforma continental, apresentou-se um mapeamento dos sedimentos superficiais marinhos até a isóbata de 30m através de técnicas de sensoriamento remoto onde foi possível obter o modelo batimétrico, o mapa faciológico e o mapa de teor de carbonato de cálcio (CaCO_3).

O modelo batimétrico foi de extrema importância para representar a morfologia de fundo e subsidiar na confecção do mapa faciológico. Através do mesmo, foram traçados perfis transversais e longitudinais para a identificação das feições submersas.

A declividade variou de 1:1666 a 2:500 nos primeiros 5 km mar a dentro, enquanto se observa uma declividade suave nos primeiros 30 km de 1:2000 e profundidade média de -15m. Após 30 km mar adentro até a isóbata de 30m, o relevo se apresenta com suaves declives, intercalados por relevos positivos e negativos. Os maiores declives são observados nos perfis transversais 33', 44' e mais acentuadamente, formando pequenas colinas, no perfil 55'. Nos perfis longitudinais AA', BB' e CC' verificam-se o paleocanal do rio Acaraú, que se estende cerca de no máximo 12.000 metros de distância da linha de costa. Nos perfis D D', E E' e F F' observou-se um relevo mais acidentado, com presença de colinas e canais, sendo estes modificados predominantemente por processos marinhos.

Quanto à composição, foram identificados 4 (quatro) fácies sedimentares, os quais foram subdivididas em: duas associações faciológicas; uma litoclástica e outra carbonática. A associação litoclástica dividiu-se em duas fácies: Areia Litoclástica e Areia Litobioclástica, e a associação carbonática apresentou-se duas fácies: Areia Bioclástica e Areia Biolitoclástica. Dentre as fácies sedimentares identificadas na área, ocorreram com predominância as Areias Bioclásticas, com uma área de aproximadamente de 1.909,71 km².

Os teores de Carbonato de Cálcio (CaCO₃ %) confirmam a tendência regional apresentada na literatura para região nordeste, com concentrações predominantemente superiores a 70%.

5. AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Pernambuco, através da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação pelo auxílio da Bolsa de Doutorado (CAPES) Pós-Graduação em Geociências (PPGEOC) e a para a realização desta pesquisa. Aos colegas do Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha (LGGM) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) pelas colaborações, especialmente a Miguel Arrais e Fernando Soares Júnior e do Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada (LGMA) da Universidade Federal do Ceará (UFC), pela amizade e momentos de desconcentração, em especial, Sara, Julianna Leandro e João Paulo.

REFERÊNCIAS

- BELTRAMI, C. V. **Litroestratigrafia da Bacia do Ceará**. Boletim de Geociências da Petrobras, Relatório Interno, Rio de Janeiro, 1990.
- BELTRAMI, C. V. et al. **Bacia do Ceará**. Boletim de Geociências da Petrobras, 8 (1): 117-125. 1995.
- CASTRO JR., A. C. M. **Aspectos estruturais das bacias de Barreirinhas e do Ceará**. In: Seminário de Interpretação Exploratória. 2, Rio de Janeiro, 1994. PETROBRAS/DEPEX, Anais, 1994. p.278-281.
- CASTRO, A. S. **Arcabouço estrutural e evolução tectônica da sub-bacia de Icará, Bacia do Ceará**. Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais) da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1993. 107f.
- COUTINHO, P. N. **Geologia Marinha da Plataforma Continental Alagoas-Sergipe**. Tese de Livre Docência apresentada ao Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1976. 119f.
- DHN. www.mar.mil.br/dhn, pesquisa realizada em 23/10/2010.
- DOMINGUETI, C. A. **Orientação de falhas presentes em testemunhos de sondagens do campo xaréu/bacia do ceará**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2002. 47f.
- FARIAS, P.R.C. et al. **Litofaciamento do calcário Trairí, Campo de Xaréu, Sub-Bacia de Mundaú**. Natal, Petrobrás. Relatório Interno. 1998.

- FELGUEIRAS, C. A. **Análises sobre Modelos Digitais de Terreno em Ambiente de Sistemas de Informações Geográficas**. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/~carlos/trab_cientific/selper8f.pdf. 1999.
- FOLK, L. R.; WARD, W. C. **Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters**. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 27 (1), p.3 – 26. 1957.
- FREIRE, G. S. S. **Geologia Marinha da Plataforma Continental do Estado do Ceará**. Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 1985. 162f.
- FREIRE, G.S.de S.; CAVALCANTI, V.M.M.; MAIA, L.P. & LIMA, S.F. **Classificação dos sedimentos da Plataforma Continental do Estado do Ceará**. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 17, Boletim de Resumos Expandidos. Fortaleza, SBG-Núcleo Nordeste, 1997. p 209-211.
- FREIRE, G.S.S; CALVALCANTI, V.M.M. **A Cobertura Sedimentar Quaternária da Plataforma Continental do Estado do Ceará**. Fortaleza, 1998. p 42.
- FREIRE, G.S.S., et al. **Potencial dos granulados marinhos da Plataforma Continental leste do Ceará**. Recife: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2007. 45p.
- GRUBER, N. L. S. **A antepiraia na região de Tramandaí - RS**. Tese de Doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Geociências do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002. 221f.
- GUERRA, A. J. T. **Dicionário Geológico-geomorfológico**. 8ª Ed. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1988. 446p.
- JAKOB, A. A. E. **A Krigagem como Método de Análise de Dados Demográficos**. XIII Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais. Ouro Preto, Minas Gerais, 2002.
- KEMPF, M. **Notes on the benthic bionomy of the N-NE brasilian shelf**. *Mar. Biol.*, v.5, 1970, p.213 -244.
- LANA, C. C. et. al. **Refinamento biocronoestratigráfico e estratigrafia integrada da seção cretácea pós-Alagoas da sub-bacia de Mundaú, bacia do Ceará**. PETROBRAS/CENPES, Rio de Janeiro, Relatório interno não publicado. 2001. 63p.
- LANDIM, P. M. B. **Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos**. *Geomatemática – Texto Didático 6*, DGA, IGCE, UNESP, Rio Claro, 2002. 16p.
- LARSSONEUR, C. **La cartographie des dépôts meubles sur le plateau continental français: méthode miseau point et utilisée em Manche**. *J. Rech.Oceanogra.*, v.2, p.34-39. 1977.
- LIMA, S.F. et al. **ANASED - Programa de Análise, Classificação e Arquivamento de Parâmetros sedimentológicos**. In: VIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Mariluz, IMBÉ. Boletim de Resumos. Porto Alegre. ABEQUA, v. 01, 2001.
- LIMA, Z. M. C. **Caracterização da dinâmica ambiental da região costeira do município de Galinhos, litoral setentrional do Rio Grande do Norte**. Tese de Doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, 2004. 157f.
- MORAES, M. V. A. R. **Elaboração de figuras**. 2012.

- MORAIS NETO, J. M. **Mapeamento sísmico regional na Bacia do Ceará/Sub-bacia de Mundaú:** Relatório Parcial. PETROBRAS/E&P-RNCE/GEXP/GEINT. Relatório interno não publicado, Natal, 1996. 37 p.
- RIBEIRO, R. J. L. et al. **Aumento da produtividade do Calcário Trairí.** Rio de Janeiro, Petrobrás/DEPRO. Relatório Interno. 1990.
- SAUERBRONN, J. L. B. et al. **Crustal transition and tectonic evolution of the transform portion of the Brazilian equatorial margin adjacent to the Barreirinhas and Ceará basins.** In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 5, Gramado, Rio Grande do Sul, Anais... 1995. p. 314-315. 1995.
- SHEPARD, F. P. **Nomenclature based on sand– silt –clay ratios.** Journal of Sedimentary Petrology, p 24 (3): 151 – 158. 1954.
- VASCONCELOS, F.P. **Gestão Integrada da Zona Costeira.** Editora Premius. Fortaleza, 2005. 88p.
- VEIGA, F. A. **Sedimentologia, morfologia & dinâmica da face da costa no litoral central do estado do Paraná.** Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Geologia Ambiental do Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004. 127f.
- VASCONCELOS, F.P. **Gestão Integrada da Zona Costeira.** Editora Premius. Fortaleza, 2005. 88p.
- VITAL, H.; SILVEIRA, I. 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. 2005, 233-241p.
- ZALÁN, P. V.; WARME, J. E. **Tectonics and sedimentation of the Piauí-Camocim sub-basin, offshore northeastern Brazil.** Ciência-Técnica-Petróleo, 17, 71 p. 1985.
-

Recebido em: 16/03/2015

Aceito para publicação em: 01/06/2015