



CAPÍTULO XXI

**CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA *OFFSHORE* PARA
ESTUDO DE INDICADORES GEOQUÍMICOS EM ÁREA DE
PROSPECÇÃO PETROLÍFERA NO TALUDE CONTINENTAL
CONTÍGUO AO MUNICÍPIO DE ACARAÚ-CE**

CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA *OFFSHORE* PARA ESTUDO DE INDICADORES GEOQUÍMICOS EM ÁREA DE PROSPECÇÃO PETROLÍFERA NO TALUDE CONTINENTAL CONTÍGUO AO MUNICÍPIO DE ACARAÚ-CE

Juliana Almeida Ribeiro¹; Carlos Marcio Soares Rocha²; Denise Fernandes²;
Milena Alexandre Vital³ e Marcia Thelma Rios Donato Marino²

¹Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Fundação Edson Queiroz | Universidade de Fortaleza. Av. Washington Soares, 1321, Edson Queiroz . CEP 60.811-905.Fortaleza-CE, Brasil. juliana_@edu.unifor.br

²Docentes do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Fundação Edson Queiroz | Universidade de Fortaleza. Av. Washington Soares, 1321, Edson Queiroz . CEP 60.811-905.Fortaleza-CE,Brasil. cmarcio@unifor.br; denisefernandes@unifor.br; marino@unifor.br

³Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Fundação Edson Queiroz | Universidade de Fortaleza. Av. Washington Soares, 1321, Edson Queiroz . CEP 60.811-905.Fortaleza-CE, Brasil. milenavital9@gmail.com

RESUMO

Grande parte dos depósitos sedimentares marinhos é composta de sedimentos originários de fontes diversas, apresentam propriedades físicas e químicas diretamente relacionadas aos seus constituintes mineralógicos, os quais são perpassados durante as fases de prospecção e exploração de petróleo offshore, reduzindo as perspectivas econômicas de comércio. A plataforma continental brasileira representa o ambiente de deposição carbonático mais extenso do mundo, indo do estado do Pará ao Rio Grande do Sul, destacando-se o estado do Ceará no comércio de carbonatos, nacional e internacionalmente, pois, devido aos fatores deposicionais marinhos na costa cearense, substâncias com características carbonatadas são passíveis de detecção. Nesse contexto, o presente trabalho apresenta as características físicas e químicas do sedimento do talude continental do município cearense de Acaraú, o qual apresentou fontes de diferentes tipos de calcários, como dolomítico e calcítico, e minérios importantes como os óxidos de ferro e lítio, que servem de insumos para instalações de novas

indústrias e polos de desenvolvimento regional. Pelas características mineralógicas, químicas e físicas do sedimento de Acaraú, denota-se este ser um ambiente sedimentar marinho bem evoluído, uma vez que ocorre a predominância de quartzo e feldspato, havendo ainda a presença de silicatos e óxidos de ferro. O carbonato de cálcio (CaCO_3) verificado nas análises se apresenta em três modificações minerais. A calcita é um dos minerais mais comuns, sendo o constituinte principal de vastas formações de rochas sedimentares de calcário e observou-se que nos ensaios de Granulometria, pH e Matéria Orgânica das amostras, os resultados foram majoritários deste componente. Fazendo-se uma média no teor de Carbonato verificado, caracteriza-se o sedimento da região como de origem biolitooclástica, com teor de 64,03%, tendo influência direta da composição algálica. A composição granulométrica do sedimento analisado influencia a capacidade de adsorção de poluentes, metais, íons e minerais, ou seja, quanto mais arenoso, maior a disponibilização na água dos parâmetros acima citados, ao contrário dos sedimentos de

granulação fina, pois o silte e a argila apresentam grande área superficial, em relação ao volume, tendo maior capacidade de retenção destes. O sedimento amostrado, portanto, apresenta características pluriminerálicas, com destaque para Calcita, que pode ser utilizada na fabricação de cimento, e é encontrada em massas sedimentares. A Aragonita possui características similares à calcita, porém é depositada em fontes termais associadas às camadas de gipso e depósito de minério de ferro, o que justifica a presença de óxidos de ferro no perfil analisado. O estudo da geoquímica dos sedimentos para prospecção de petróleo auxilia na compreensão dos compostos orgânicos presentes, na detecção de indicadores de acumulações de hidrocarbonetos e suas fácies em partes mais profundas das seções geológicas ou em áreas não perfuradas de uma bacia.

Palavras-chave: Talude Continental; Caracterização sedimentológica; Investigação offshore.

ABSTRACT

Most of the sedimentary deposits are composed of sediments originating from diverse sources, with physical and chemical properties directly related to their mineralogical constituents, which are perpassed during the exploration and exploration phases of offshore oil, reducing the economic prospects of trade. The Brazilian Continental Shelf represents the most extensive carbonate deposition environment in the world, going from the state of Pará to Rio Grande do Sul, highlighting the state of Ceará in the carbonate trade, both nationally and internationally, due to marine depositional factors in the Cearense, substances with carbonated characteristics can be detected. In this context, the present work presents the physical and chemical characteristics of the continental slope sediments of the Ceará state of Acaraú, which presented sources of different types of limestone, such as dolomitic and calcitic, and important

minerals such as iron and lithium oxides Serve as inputs for new industries and regional development hubs. Due to the mineralogical, chemical and physical characteristics of the Acaraú sediment, it has a well-developed marine sedimentary environment, since the predominance of quartz and feldspar occurs, with the presence of silicates and iron oxides. The Calcium Carbonate (CaCO_3) verified in the analyzes is presented in three mineral modifications. Calcite is one of the most common minerals, being the main constituent of vast formations of limestone rocks and it was observed that in the particle size, pH and organic material showed the majority result of this component. The sediment of the region is characterized as having a biolitic origin, with a content of 64.03%, having a direct influence of the algae composition. The granulometric composition of the sediment analyzed influences the adsorption capacity of pollutants, metals, ions and minerals, that is, the more sandy, the greater the water availability of the parameters mentioned above, as opposed to fine-grained sediments, since silt and Clay have a large surface area, in relation to the volume, having a greater capacity of retention of these. The sediment sampled, therefore, presents pluriminerálicas characteristics, with emphasis to Calcita, that can be used in the cement manufacture, and is found in sedimentary masses. Aragonite has similar characteristics to calcite, but is deposited in hot springs associated to the gypsum layers and iron ore deposit, which justifies the presence of iron oxides in the analyzed profile. The study of sediment geochemistry for petroleum exploration helps to understand the organic compounds present in the detection of indicators of accumulation of hydrocarbons and their facies in deeper parts of the geological sections or in non-perforated areas of a basin.

Keywords: Continental slope; Sedimentological characterization; Offshore research.

INTRODUÇÃO

Sedimento é o resultado da decomposição de rochas, através do intemperismo, ou pela acumulação de conchas e organismos mortos, podendo ser movidos pelo ar, água ou gelo, constituídos de partículas minerais ou fósseis e sendo encontrados em muitos lugares no fundo do mar (PINET, 2006).

As Plataformas Continentais são extensões submersas dos continentes, sendo, geralmente, regiões planas começando na linha de costa e descendo com um declive suave até o talude continental (ARAÚJO, 2011). Como 70% da superfície terrestre encontra-se abaixo do nível do mar (ABREU NETO, 2011), há, com isso, uma zona de transição entre a crosta continental e a oceânica, que, por suas características sedimentares, geomorfológicas e ambientais têm grande potencial para gerar e armazenar hidrocarbonetos, o que é cada vez mais importante para desenvolvimento regional e nacional.

Margeiam os continentes ocupando cerca de 7% da superfície do assoalho oceânico com profundidades médias de 130 m nos oceanos mundiais, estendendo-se de áreas rasas dominadas por processos costeiros, até o limite do talude continental que é dominado por processos oceânicos (VITAL *et al.*, 2005). Desta forma, pela sua formação baseada nas regressões e transgressões marinhas e pela alta propriedade sedimentar, são propícias para explorações de recursos minerais.

Situada na borda ocidental do Atlântico meridional, a Plataforma Continental Brasileira possui, aproximadamente, 8.000 km, abrangendo diversas zonas climáticas expressas no aporte diferenciado de cargas sólida e líquida.

O Brasil possui cerca de 8000 km de litoral e 4,2 milhões de km² de Plataforma Continental Jurídica (PCJ), o que lhe confere uma extensa área com grande potencial mineral para explorações dos recursos marinhos, porém o estudo do Talude Continental do Ceará ainda é incipiente, bem como a Plataforma adjacente.

O petróleo é uma mistura sólida, líquida ou gasosa, de origem orgânica e ocorrência natural, por deposição, formada predominantemente de hidrocarbonetos e outros compostos orgânicos. A exploração dos recursos petrolíferos marinhos está sendo mais atuante, tendo em vista a escassez dos recursos minerais continentais. Assim, a atividade petrolífera *offshore* marca a atual fase histórica do petróleo no Brasil.

As acumulações sedimentares de materiais detríticos que apresentam valor econômico são denominados de Placers (*placers*), incluem-se aí bens metálicos, pedras preciosas, originados a partir da concentração mecânica, por decomposição e erosão de rochas-fonte, ígneas, metamórficas e sedimentares. Estes minerais detríticos são conhecidos como "minerais pesados", em função de sua alta gravidade específica (entre 2,1 e 2,9 g/cm³) superior à do quartzo (2,65 g/cm³) (EMERY E NOAKES, 1968).

Os placers têm origem relacionada à erosão, transporte e deposição de sedimentos pela ação das ondas e correntes costeiras, associadas a alterações eustáticas do nível do mar durante o período Quaternário. Depósitos fluviais também apresentam concentrações desses minerais, uma vez que sofrem influência do nível marinho, passando ou não, posteriormente, por transgressão marinha ao final do Pleistoceno e início do Holoceno.

Damuth e Palma (1979) ressaltaram que no talude da margem continental do Ceará há deslizamentos de sedimentos recentes causados por massas de grandes dimensões que se sobrepõem ao sopé continental. O revolvimento de sedimentos ricos em nutrientes e matéria orgânica ao largo do talude da costa Nordeste, causados pela ação de massas d'água em suas encostas, já foi citado como fator relevante à maior abundância da biocenose em zonas bentônicas (FONTELES FILHO, 2007).

Segundo Almeida (2011), a região do Alto do Ceará, que divide as sub-bacias Acaraú e Piauí-Camocim, possui conglomerados e brechas intercaladas a rochas vulcânicas, contendo

fragmentos de granito, com característica feldspática arenosa, que caracterizam sedimentos marinhos originados de depósitos de sedimentos terrígenos passíveis de processos que permitem a formação de placeres e depósitos de hidrocarbonetos (MENDES, 1992). Alguns dos primeiros trabalhos acerca desses depósitos na plataforma continental cearense (FRANÇA *et al.*, 1976; BARRETO *et al.*, 1975) identificaram locais com abundância de minerais pesados que os autores denominaram de províncias, na região do rio Jaguaribe, em praias de Fortaleza e entre o Piauí e o rio Acaraú.

Percebe-se, com isso, a relevância das zonas submersas para a mineração e a importância da busca da identificação de depósitos potenciais minerais, a qual pode ser feita direta ou indiretamente, sendo, a indireta, a mais frequente, onde se obtém informações do fundo marinho sem necessidade de amostra do material em mãos. Desta forma, para estudos de bacias petrolíferas e a possibilidade de exploração, é imprescindível a compreensão sobre a geologia da área, incluindo caracterizações sedimentológicas e estudos prévios, como de potencial hidrogeniônico, Carbonato de Cálcio, Matéria Orgânica.

METODOLOGIA

As amostras utilizadas nesta pesquisa foram retiradas da Costa Oeste do Ceará, do município de Acaraú. A coleta (cuja amostra foi denominada pela ANP de SAT 1268) foi realizada no dia 12 de outubro de 2011, no assoalho oceânico correspondente ao município de Acaraú, às 3h19, a uma profundidade de 1990,00 m do nível do mar, através do navio *Fugro Odyssey*.

As coordenadas são 462224,85E; 9751798,316N, SAD-69 (South American Datum-69) Z24S (FIGURA 10). O ponto marca aproximadamente 90 km da linha da costa de Acaraú (Figura 1).

Para a coleta dos testemunhos, foi utilizado um pistão (*piston core*) com peso de cabeça de

900 kg, um barrilete externo de aço de 6m com barrilete inteiro de prolpropileno transparente *liner*, com 2 15/16 pol de diâmetro interno.



Figura 1 – Ponto da coleta (SAT 1268).

A abertura do testemunho ocorreu de acordo com a metodologia descrita por Caddah (1991) apud Toledo (2000), alinhando topo e base do testemunho com marcas realizadas a caneta no *liner* e serrando o testemunho, da base ao topo (Figura 2).



Figura 2 – Abertura do testemunho *liner*.

Em seguida, o testemunho foi dividido em 6 seções (nomeadas de A1, A2, A3, A4, A5 e A6), a partir do topo até a base, cada uma com 20 cm de comprimento, com exceção da A6, que mede 10 cm (Figura 3). Após isso foi realizada a descrição do testemunho, onde foram analisadas e anotadas zonas de transição no perfil, realizando as observações possíveis a olho nu, com a utilização da Carta de Munsell, Carta de Cores Geological Rock – Color Chart (2009), incluindo granulometria e fácies.



Figura 3 – Testemunho aberto.

Uma pequena parte do testemunho apresentava o processo de autogranulação, *self-mulching*, em especial a amostra A4.

Análise de granulometria

A análise textural, ou estudo da variação do tamanho do grão, da amostra seguiu a divisão em 6 seções (de A1 a A6), e, após a descrição e anotações referentes, cada uma das 6 amostras foi colocada em vasilhas identificadas e levadas à Estufa de Secagem e Esterilização. Depois de seca, realizou-se a lavagem e o peneiramento. Os dados obtidos das análises granulométricas foram tratados estatisticamente, utilizando-se as fórmulas de Folk e Ward (1957), através do software ANASED 5.0® (LIMA *et al.*, 2001), cedido pelo Laboratório de Geologia Marinha Aplicada, da Universidade Federal do Ceará (UFC).

Determinação do pH

Para a determinação do potencial Hidrogeniônico (pH), foi separado 1 cm³ das 6 amostras em beckers de 50,00 mL, adicionados 25,00 mL de água destilada, e, após repouso de 30 minutos, foi lido o pH diretamente no pHmetro.

Obtenção do teor de Carbonato de Cálcio (CaCO₃)

O teor de carbonato foi determinado pelo método do Calcímetro de Bernard (Lamas *et al.*, 2005).

Determinação de matéria orgânica (MO)

Método de Walkley; Black (1934). A matéria orgânica lábil dos solos foi determinada pelo método volumétrico da Embrapa (1999).

Para a obtenção do teor de carbono orgânico total (CO), é realizada a conversão da MO, utilizando-se o *fator de Van Bemmelen* (. 1,724), com base no pressuposto de que a MO humificada contém uma percentagem média de 58% de CO (KIEHL, 1979).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizadas verificações de estruturas a olho nu e identificação de cor através a Carta de *Munsell*, Carta de Cores *Geological Rock – Color Chart* (2009). A descrição foi realizada do topo para a base, apresentando coloração 5Y 7/2 *Yellowish Gray* (Cinza Amarelado) como predominante. Foram visualizadas estruturas e colorações diferentes em cada segmento.

Em A1, foi visualizada estrutura linear de 6,0 cm, desde o topo, com 0,30 cm de espessura,

seguida de duas estruturas diagonais, com decréscimo à direita, dissipando-se e não alcançando o lado direito integralmente. Sua coloração é 5Y 5/2 *Light Olive Gray* (Cinzento Oliváceo Claro). Ainda no início do *liner*, aos 0,60 cm, a partir do topo, ao lado dessa estrutura, foi visualizada formação esbranquiçada, de coloração 5Y 8/1 *Yellowish Gray* (Cinzento Amarelado), caracterizada pela constituição carbonática.

Logo em seguida, aos 6,00 cm, há estratificações onduladas e bem definidas, de tom mais claro, seguidas abaixo de estratificações mais finas de cor 5Y 5/2 *Light Olive Gray* (Cinzento Oliváceo Claro), e outra, aos 14,00 cm, que se ramifica horizontalmente, do meio do testemunho para a esquerda, apresentando coloração 5Y 3/2 *Olive Gray* (Cinzento Oliváceo). No lado esquerdo, acompanhando, verticalmente, essas formas descritas, há uma estrutura de 5,00 cm de comprimento e 0,80 cm de largura, de cor 5Y 5/2 *Light Olive Gray* (Cinzento Oliváceo Claro), apresentando, na extremidade superior, uma estrutura esbranquiçada, de 0,60 cm de largura, semelhante à forma carbonática já descrita.

Aos 14,00 cm, no lado esquerdo, existe uma formação vertical de forma indefinida, porém comprida, indo até os 24,50 cm subsequentes do *liner*. Sua coloração é 5Y 3/2 *Olive Gray* (Cinzento Oliváceo) até 21,00 cm, tornando-se pouco mais clara, com 5Y 5/2 *Light Olive Gray* (Cinzento Oliváceo Claro) até os 24,50 cm. A partir daí, toma a mesma coloração predominante anterior.

Dentro dessa formação, existe uma estrutura diagonal, com decréscimo à direita, num formato aproximadamente retangular, de 1,80 cm de comprimento e coloração 5Y 8/1 *Yellowish Gray* (Cinzento Amarelado). Outra forma desta existe aos 24,90 cm, tendo comprimento de 2,50 cm. É vertical paralelo ao corte do *liner*.

Aos 15,00 cm do testemunho, ao lado direito da estrutura de 10,50 cm anteriormente descrita, há uma estratificação bem definida e com leve

concauidade voltada para baixo, tornando-se sutil nas extremidades laterais do cano. Sua coloração é 10Y 8/2 *Pale Greenish Yellow* (Amarelo Claro Esverdeado). Logo abaixo, há dois pontos mais claros, de forma levemente ovalada, de 0,40 cm e 0,20 cm, com coloração 5Y 8/1 *Yellowish Gray* (Cinzento Amarelado).

Em 18,50 cm, há estratificações horizontais e bem definidas, com 2,80 cm de comprimento, seguidas, abaixo, de sedimento com textura diferenciada, mais arenosa e levemente avermelhada, de coloração 5GY 4/1 *Dark Greenish Gray* (Cinzento Esverdeado Escuro), de 2,50 cm de comprimento. Nesta camada, verifica-se a presença de duas incrustações de óxidos de ferro, bem nítidas e marcadas, com tamanho de 0,40 cm e 0,30 cm.

Já na divisão A2, aos 27,50 cm, há outra conformação de 3,00 cm de óxido de ferro, de 0,20 cm, localizado dentro de estratificação levemente circular, localizado no meio para a direita do *liner* e caracterizada por possuir centro elíptico mais escurecido, com coloração 5GY 4/1 *Dark Greenish Gray* (Cinzento Esverdeado Escuro).

De 28,00 cm à 30,00 cm verifica-se a existência de partes não definidas, porém marcantes, localizados horizontalmente no diâmetro do cano. Possui coloração 5Y 8/1 *Yellowish Gray* (Cinzento Amarelado), seguidas, logo abaixo, de estratificações de cor 5Y 6/4 *Dusky Yellow* (Amarelo Escuro Acinzentado) como marcante. Essa estrutura segue até os 32,00 cm, a partir do qual, toma a cor 5Y 7/2 *Yellowish Gray* (Cinzento Amarelado) até 35,00 cm. Predomina, nessa zona, a cor 5Y 5/2 *Light Olive Gray* (Cinzento Oliváceo Claro).

Este intervalo tem limite superior ondulado, de acordo com a estratificação precedente. É marcado pela presença de filete bem delimitado de óxido de ferro e pelos conglomerados de características carbonáticas que se seguem até os 55,50 cm, predominantemente diagonal, com decréscimo do lado direito ao centro. A coloração desses conglomerados é de 10 YR 6/2 *Pale*

Yellowish Brown (Bruno Claro Amarelado) tendendo a tons mais claros. A coloração predominante do intervalo em questão correspondente à A3, onde há essas manchas mais claras, é *5Y 4/4 Moderate Olive Brown* (Bruno Oliváceo Médio).

As estruturas esbranquiçadas, salientadas acima, são mais compridas, bem delimitadas e seguem durante toda a área interna da amostra, como restos ou marcas da presença de algas carbonáticas (como, por exemplo, *Halimeda sp.*). Há ainda algumas estruturas endurecidas, como restos de carapaças de foraminíferos unidos ao processo de sedimentação.

A transição A4 apresenta coloração *10YR 6/2 Pale Yellowish Brown* (Bruno Claro Amarelado)

como predominante, indo de 55,50 cm à 88,00 cm, é mais escurecida e o sedimento possui textura mais fina e mais úmida, comparada às zonas de transição anteriores. Possui ainda, a partir dos 83,00 cm, filete de 4,00 cm de óxido de ferro a direita e marcas escurecidas consideráveis à esquerda, de cor *N3 Dark Gray*(Cinzento Escuro).

A partir dos 88,00 cm até o final do *liner*, 1,10 m, a coloração mais clara, para *5Y 4/1 Olive Gray* (Cinzento Oliváceo), apresentando vários filetes esbranquiçados, de cor *5R 6/2 Pale Red* (Vermelho Claro), de estrutura grande, entre 4,00 cm e 7,00 cm, bem delimitadas, porém menos localizadas no centro do testemunho e adentrando o interior da amostra (Figura 4).

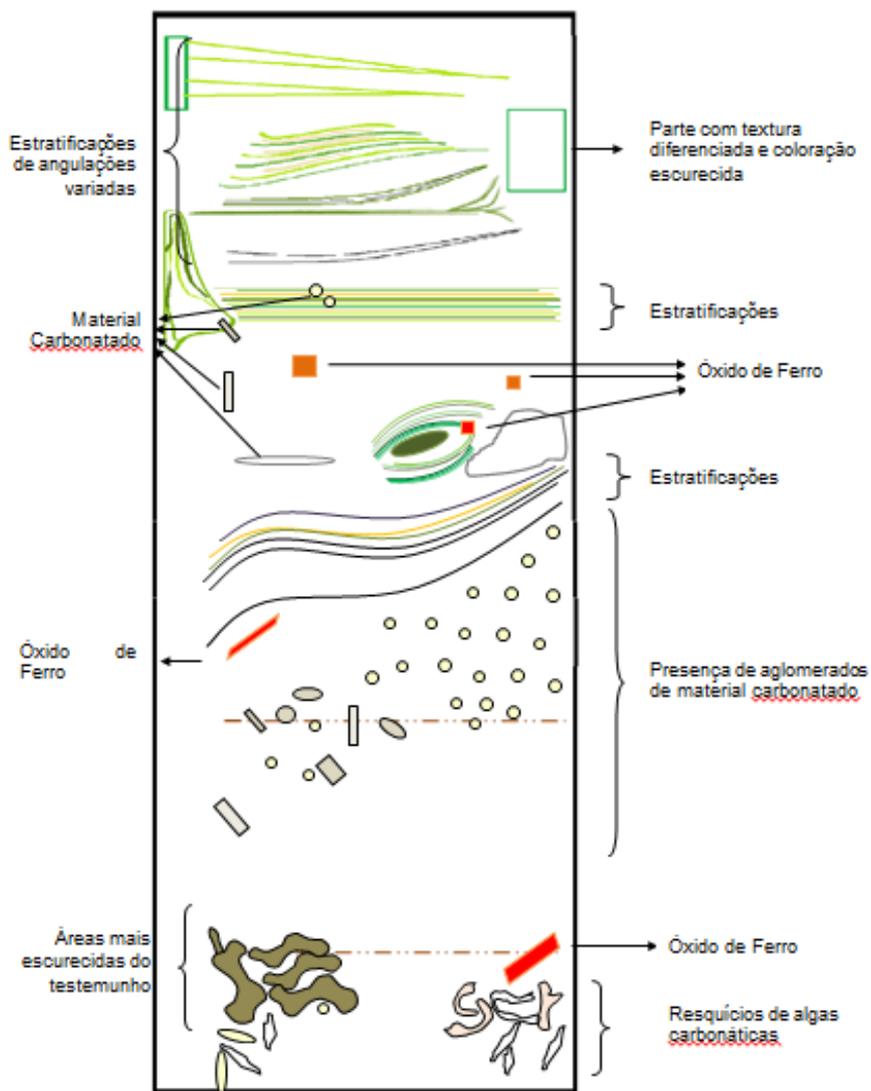


Figura 4 – Desenho esquemático do testemunho.

Na descrição do testemunho, há sedimentação em camadas bem definidas e zonas de transição, o que vai corroborar com a ideia das alterações no fluxo de água e sedimento, indicando que houve momentos de aumento e redução no regime de ondas. Nota-se correntes turbidíticas, os quais, segundo Dias (2004), são bastante comuns em margens continentais, destacando-se nas áreas onde há cobertura sedimentar existente, podendo ser também de origem biogênica.

As correntes turbidíticas são fenômenos de transferência de partículas grosseiras (areia) para áreas mais profundas. Os mecanismos causadores das correntes turbidíticas são diversos, podendo ser abalos sísmicos, temporais, deslizamentos, deposição sedimentar em vertentes inclinadas na sequência de cheias fluviais.

O testemunho em estudo mostra a presença de turbidito, tendo origem flúviomarinha, provocada por deslizamentos deposicionais. A presença de algas calcárias, por exemplo, rodólitos e Halimedas, se dá com mais frequência em ambientes com maior profundidade, o que leva a supor que, pelo fato de terem sido encontradas no testemunho em estudo, a uma profundidade de 1990 m, o fenômeno de regressão marinha teve grande influência no carreamento e deposição de sedimentos local, visto que atualmente vivencia-se o movimento de transgressão.

Os sedimentos com esses seres, ao serem dispostos por processos erosionais e deposicionais “campo” sedimentar rico em material carbonático ao pé do talude, com mescla de grãos finos e grãos grossos (depositados mais rapidamente a partir do transporte e caracterizados por resquícios de foraminíferos).

Granulometria

Com a análise pelo *software* ANASED[®], notou-se a presença marcante da fração areia na

amostra A1, caracterizada como areia fina litobioclástica. Seus grãos foram moderadamente selecionados. Com características semelhantes, tem-se a amostra A2, porém foi caracterizada como biolitoclástica, com desvio padrão de 0,979 e curtose de 0,701.

A amostra A3 já é pobremente selecionada e classificada como areia muito fina litobioclástica, com a maior curtose registrada do testemunho, de 0,841. Já a amostra A4, areia fina biolitoclástica, retorna para a característica moderadamente selecionada. De forma semelhante, tem as amostras A5 e A6, ambas caracterizadas como areia biolitoclástica fina a muito fina, moderadamente selecionadas, com desvio padrão de 0,974 e 0,925, respectivamente.

Nas partículas de granulometria mais fina, observa-se certa propriedade coesiva e aparência lamelar (siltosa ou argilosa). Os siltes, que são, basicamente, misturas de minerais detríticos heterogêneos, sendo o quartzo o mais comum, apresentando também feldspatos e minerais ferromagnesianos (COSTA, 1995).

Uma observação deve ser feita em relação à amostra A3, que apresentou discrepância entre a curtose, que apresentou grãos grossos, e a classificação, que mostrou o resultado como areia fina, dadas pelo *software*. Deve-se considerar neste caso que a amostra foi pobremente selecionada, ou seja, a má graduação dela interferiu na classificação.

No topo do testemunho, nota-se a presença de grãos finos que adquirem característica mais grosseira com a maior profundidade, indicando que no local, anteriormente, houve episódios de alta e baixa energia, onde os grãos grossos foram carreados, a partir do canyon do Acaraú, visualizado em imagens da morfologia de fundo oceânico. Esse achado corresponde ao movimento periódico do nível marinho, e, principalmente, a fenômenos de deslizamentos e escorregamentos sedimentares.

pH

Após realizada a análise de pH, foram obtidos os valores apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valor encontrado de pH.

Amostra	Valor do pH
A1	8,33
A2	8,53
A3	8,66
A4	8,07
A5	8,58
A6	8,71

O pH é fortemente influenciado pela atividade biológica existente, além de fatores secundários como temperatura e salinidade. Sendo assim, a água do mar é considerada uma solução ligeiramente alcalina, com variação média de pH entre 7,5 e 8,4.

Nota-se, que os valores encontrados resultantes da análise, são próximos, variando de 8,07 (aos 80,00 cm do testemunho, a partir do topo) a 8,71, nos últimos 10,00 cm de testemunho, porção mais profunda e há mais tempo sedimentada. Os valores de pH, quando muito divergentes entre si e longes do valor neutro, podem afetar a vida aquática marinha, sendo de 6 a 9 o pH ideal para a biota (Von SPERLING, 2005). Porém, como em geral, os valores tendem de neutros à básicos, não há interferências significativas na mobilidade dos metais presentes.

A solubilidade do CaCO_3 aumenta com o acréscimo da pressão (e conseqüentemente da profundidade) e o decréscimo da temperatura e da salinidade. A fração associada a carbonatos é sensível a mudanças no pH e pode ser estimada pela dissolução dos metais em pH 5 (OLIVEIRA, 2012).

As análises referentes ao teor de carbonatos, ofereceram os resultados expressos na Tabela 2.

Existe, no entanto, uma elevação abrupta na amostra A2, dos 20,00 cm aos 40,00 cm, zona visivelmente acrescida de substâncias cálcicas,

como restos de foraminíferos, detectados através de morfoscopia e observações a olho nu, no perfil.

Existe um decréscimo até a amostra A4 e elevação na A5, ambientes sedimentados há muito tempo e já consolidados em suas propriedades. Tendo em vista que o ponto A6 representa 10,00 cm, e os outros pontos são de 20,00 cm, e que do A6 ao A1 é a ordem cronológica de sedimentação, deduz-se que ocorria a existência de Carbonato, porém, pode ter ocorrido algum fator externo, como a extração ou movimentação de material do assoalho marinho, alterações na quantidade de nutrientes presentes ou na existência de alguma espécie local, não mais havendo deposição carbonática, que passou de 92,74% para 50,31%.

A Plataforma Continental cearense apresenta sedimentação predominantemente bioclástica (carbonática algálica), com contribuições de até 75%, os sedimentos siliciclásticos estão mais presentes na plataforma interna (SOUSA e VIDAL, 2005).

Como os sais têm mais facilidade em aderir aos grãos finos presentes, pode-se correlacionar a elevação da CE em A2 e A5 (Figura 5A e 5B), com o alto teor de carbonato nestes mesmos pontos, ou seja, havia maior disponibilidade deste e, portanto, agregaram-se ao sedimento, depositando-se mais facilmente em camadas no solo marinho.

De acordo com as imagens acima, nota-se visivelmente as indicações de carbonato presente, com conglomerados e rastros de decomposição e espalhamento no sedimento.

Outra indicação de conteúdo carbonático, associado ou não ao Manganês, é a efervescência de amostra com HCl 10%. Ao ser realizada esta técnica, a especificação da efervescência foi forte, visível, e violenta, confirmando a grande quantidade de materiais originadores de carbonato na região.

De acordo com Cavalcanti e Freire (2004), a partir de 15,00 m de profundidade torna-se viável o desenvolvimento de fundo carbonático na

Plataforma Continental do Ceará, por conta do tempo de sedimentação existente e a movimentação e interferência de correntes e materiais da costa.

As reservas de rochas carbonáticas (calcário, calcita, dolomita, magnesita, e mármore ornamental), no Brasil, giram em aproximadamente 98 bilhões de toneladas, possuindo, o Estado do Ceará, cerca de 6 bilhões de toneladas, ou seja, 6% do total nacional (DNPM, 2014).

Os dados de teor de carbonato foram classificados de acordo com o estudo de Larssoneur (1977), considerando apenas o teor de carbonato. O sedimento pode, assim, ser identificado como segue na Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação sedimentológica carbonática (adaptado de Larssoneur, 1977).

Tipo de Sedimento	% de CaCO ₃
Litoclástico	CaCO ₃ < 30%
Litobioclástico	30% < CaCO ₃ < 50%
Biolitoclástico	50% < CaCO ₃ < 70%
Bioclástico	CaCO ₃ > 70%

Desta forma, as seis amostras foram classificadas como Litobioclástico na A1; A2

como Bioclástico; A3 e A4 como Biolitoclástico e A5 e A6 como Bioclástico.

Matéria orgânica

Para a geologia de petróleo, um sedimento de grande interesse deve ser composto por matéria orgânica. Na plataforma continental, o nível de MO varia inversamente ao tamanho do grão. De acordo com Emery (1965), no Talude Continental, a MO alcança um pico de abundância, pois a taxa de deposição de detritos sílticos e argilosos é mais lenta do que a da matéria orgânica.

O teor de Carbono Orgânico (CO) indica o caráter fúlvico de um sedimento, também ratificado pelas características geomorfológicas, apresentando forte influência de sedimentos de natureza aluvionar. A amostra em estudo localizada no Talude Continental, ou seja, uma planície inclinada, possuindo com isso uma distribuição levemente errática do conteúdo de carbono orgânico em profundidade, e camadas estratificadas em 25% ou mais do volume da amostra analisada.

Nas condições do sedimento coletado, onde a profundidade é de 1990,00 m, abaixo da superfície, tem-se o estágio chamado diagênese (Figura 5), onde se iniciam mudanças no material orgânico do local, com a formação de óleos e estruturas químicas carbonosas (BARRAGAN, 2012).

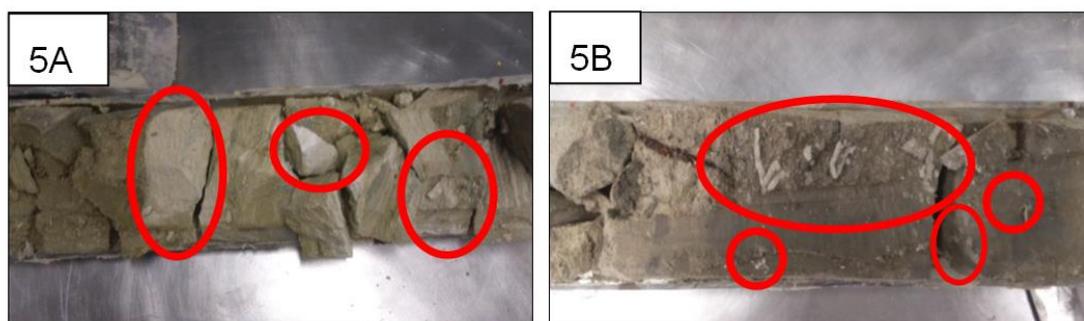


Figura 5 – Exemplos da presença de resquícios de algas calcárias nos perfis A2 (5A) e A5 (5B).

O padrão observado de Carbonato, juntamente com alguns dados biológicos, remete a existência de processos paleoceanográficos distintos ao longo do Holoceno, pois estes

elementos têm sido utilizados como marcadores de reconstrução da produtividade primária em regiões oceânicas (MELLO; SOUSA *et al.*, 2006). Desta forma, em termos gerais, quanto maior a

presença de matéria orgânica e carbono orgânico, maior a capacidade de troca de elétrons. Nesta mesma região, houve a constatação de comunidade de foraminíferos.

CONCLUSÕES

O carbonato de cálcio (CaCO_3) verificado nas análises realizadas apresenta-se em três modificações minerais. A calcita é um dos minerais mais comuns, sendo o constituinte principal de vastas formações de rochas sedimentares de calcário. Fazendo-se uma média no teor de Carbonato verificado, caracteriza-se o sedimento da região como de origem biolitoclástica, com teor de 64,03 %, tendo influência direta da composição algálica.

A composição granulométrica do sedimento analisado influencia a capacidade de adsorção de poluentes, metais, íons e minerais, ou seja, quanto mais arenoso, maior a disponibilização na água dos parâmetros acima citados, ao contrário dos sedimentos de granulação fina, pois o silte e a argila apresentam grande área superficial, em relação ao volume, tendo maior capacidade de retenção destes.

As amostras analisadas apresentaram característica arenosa, com grãos de tendência mais fina a altamente influenciados pela presença de carbonatos como aragonita e calcita.

Os aglomerados visualizados no testemunho, durante a descrição, resultam em 1% nos primeiros 40,00 cm, mais de 7% de 40,00 cm a 70,00 cm e 5% de 70,00 cm aos 1,10m. Foram verificados vestígios de foraminíferos e algas carbonáticas.

Os granulados marinhos estudados são compostos por areias e cascalho litoclásticos (siliciclásticos), areias calcárias e algas calcárias (*maerl* e *Lithothamnium*) assim como os granulados bioclásticos marinhos, que possuem composição carbonática, possivelmente originada por algas calcárias (*maerl* e *Lithothamnium*) e fragmentos de conchas (coquinas e areias carbonáticas). Nos rastros de

algas encontrados, predominam as características de ramificações, tipo coralíneas e artículos de Halimeda. Notou-se que, no Talude de Continental de Acaraú, a oeste de Fortaleza, predominam depósitos constituídos de *Lithothamnium*, seguidos de conchas de moluscos, rodolitos e restos de Halimeda, com concentrações carbonáticas e fragmentos biológicos de atividade algálica, como celulose, polissacarídeos e glicogênio.

O pH também é fator limitante na concentração de elementos químicos no sedimento, pois à medida que o pH aumenta, ocorre a redução das concentrações de Fe, Al e Mn na solução aquosa. No sedimento estudado, o pH é de neutro à básico, com média característico de ambiente marinho de profundidade e não interferindo na mobilidade nem na toxicidade dos metais.

Notou-se a variação de pH e CaCO_3 , a partir da análise dos gráficos, seguindo a mesma tendência, porém em alguns pontos em proporções diferentes, o que mostra a constante relação entre esses parâmetros, formando aí três indicadores correlacionados. Já em relação à MO, decomposição ou oxidação desta, justificou os níveis baixos a nulos no testemunho analisado.

O sedimento amostrado, portanto, apresenta características pluriminerálicas, com destaque para Calcita, que pode ser utilizada na fabricação de cimento, e é encontrada em massas sedimentares. A Aragonita possui características similares à calcita, porém é depositada em fontes termais associadas a camadas de gipso e depósito de minério de ferro, o que justifica as presenças de óxidos de ferro no testemunho.

A Dolomita tem uso em pedras de construção e minério de manganês, ocorrendo na forma de sedimentos calcários dolomíticos ou mármore dolomíticos. Os minerais identificados, como caulinita, quartzo e feldspatos Microclínio e Albita, estão presentes em matérias primas de porcelanato e acessórios de laboratório. As

utilizações do silício podem ser para indústria metalúrgica, materiais eletrônicos, fibra óptica.

Pelas características mineralógicas, químicas e as físicas do sedimento do testemunho, denota-se este ter um ambiente sedimentar marinho bem evoluído, uma vez que predominam quartzo e feldspato, havendo ainda a presença de silicatos, óxidos de ferro e vidro vulcânico. Os foraminíferos encontrados, também, servem para estudos sobre a indicação de presença de petróleo.

O sedimento analisado constitui-se, pois, de sedimento pelágico, constituído por grãos silicatados e carbonatados, com traços de seres orgânicos, sendo assim o ambiente criado pela atuação conjunta de processos continentais e marinhos, favorecendo a deposição de

sedimentos predominantemente síltico-argiloso. Esse processo de sedimentação foi oriundo de correntes de turbidez, onde o fluxo turbulento submarino de agentes geraram os *canyons*, taludes e *guyots* da região, além de conferir a característica turbidítica ao sedimento local, verificada na amostra.

O estudo da geoquímica dos sedimentos de prospecção de petróleo (Figura 6) auxiliou, portanto, na compreensão dos compostos presentes, na detecção dos indicadores de acumulações de minerais economicamente viáveis e potenciais zonas de acumulação petrolífera no Talude Continental localizado no litoral oeste, em Acaraú, em razão do atributo de rochas reservatório que têm os turbiditos.

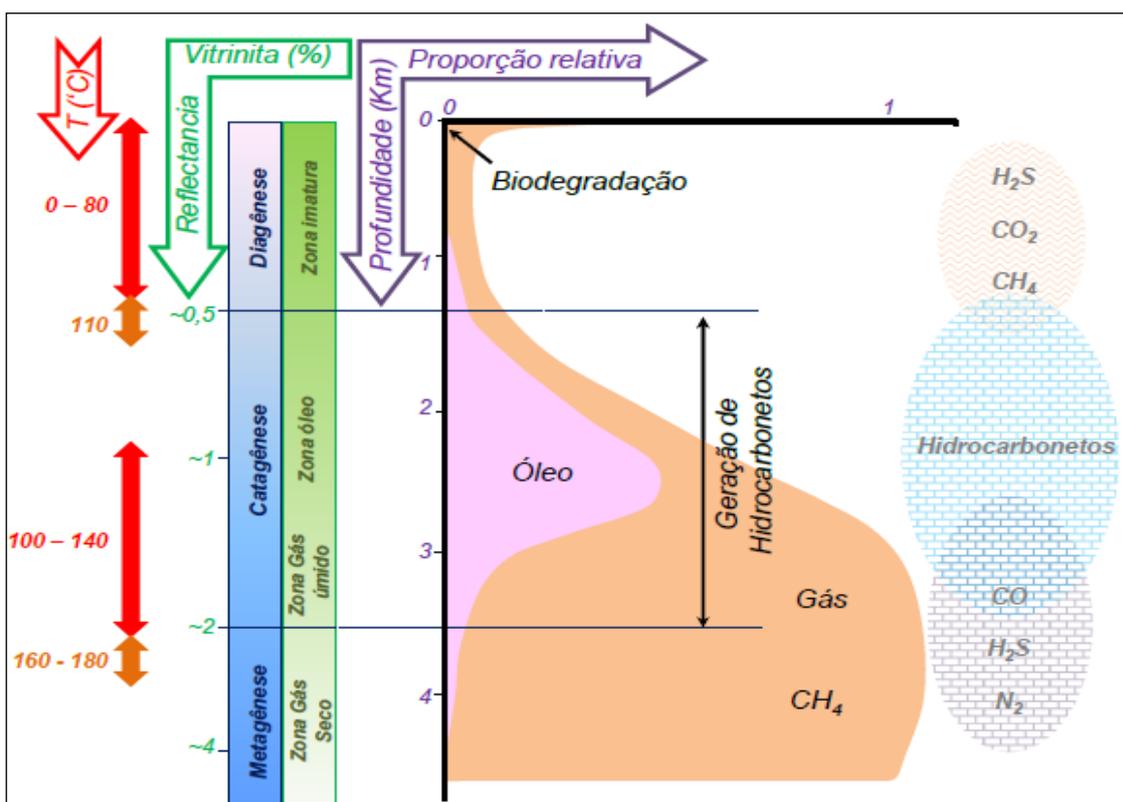


Figura 6 – Processo químico da gênese do petróleo (Fonte: OLIVEIRA NETO, 2012).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU NETO, J. C. de. 2012. *Análise Textural e Geoquímica dos Argilominerais do Talude Continental do Oeste do Ceará*. Dissertação (Mestrado em Geologia).

Departamento De Geologia. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.

ALMEIDA, N. M. de. 2011. *Análise Morfológica e Geofísica da Região Adjacente ao Delta do Rio Parnaíba (PI-MA), Região*

- Nordeste do Brasil*. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia). Universidade Federal do Ceará. Centro De Ciências. Departamento De Geologia. Fortaleza.
- ARAÚJO, M. V. 2011. Modelo Batimétrico da Plataforma Continental Interna de Acaraú – Ceará – Brasil. **Anais XV** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, INPE. Curitiba- PR, maio de 2011. p.7682.
- BARRAGAN, O. L. V. 2012. *Caracterização Geoquímica de Óleos da América Latina*. Dissertação (Mestrado em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente), Universidade Federal da Bahia. Programa de Pós-Graduação em Geoquímica. Salvador. 109 pp.
- BARRETO, L. A.; MILLIMAN, J. D.; AMARAL, C. A. B.; FRANCISCONI, O. 1975. Northern Brazil. In: John D. Milliman e Colin P. Summerhayes (Eds.) *Upper Continental margin sedimentation off Brazil*. Contributions to Sedimentology, Volume 4. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuehhandlung, pp.1-10.
- BRASIL. DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/acesso-a-informacao/estatisticas>>. Acesso em 15 de nov. de 2014.
- CADDAH, L. F. G. 1991. *Análise sedimentológica de testemunhos a pistão do talude Quaternário da Bacia de Campos*. Macaé: PETROBRAS. Comunicação técnica 006/91 SELAB, 51 pp.
- CAVALCANTI, V. M. M.; FREIRE, G. S. S. 2004. Distribuição dos depósitos de biocásticos da Plataforma Continental do Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 42. 2004, Araxá, MG, **Anais**. Araxá, MG: SBG.
- COSTA, R. C. G. 1995. *Three-dimensional modelling of cohesive sediment transport in estuarine environments*. Gainesville: University of Florida.
- DAMUTH, J. E.; PALMA, J. J. C. 1979. Geomorfologia do fundo atlântico equatorial oeste. In: Hernani A. F. Chaves (ed.) *Geomorfologia da Margem continental Brasileira e das áreas oceânicas adjacentes*. Rio de Janeiro, Série Projeto REMAC n° 7, p.53-88.
- DIAS, J. L. M.; QUAGLINO, M. A. 1993. *A Questão do Petróleo no Brasil – Uma História da Petrobrás*. CPDOC/SERINST, PETROBRAS: Edição Fundação Getúlio Vargas.
- EMERY, K. O.; NOAKES, L. C. 1968. *Economic placer deposits of the continental shelf*. Technical Bull. Economic Commission for Asia and Far East, U.N. pp 95-110.
- FOLK R. L.; WARD W. C. 1957. Brazos river bar: a study of significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, **27**(1): 3-26.
- FONTELES FILHO, A. A. 2007. Síntese sobre o pargo (*Lutjanus purpureus*). In: M. Haimovici. *Prospecção pesqueira e abundância de estoques marinhos no Brasil nas décadas de 1960 a 1990: levantamento de dados e avaliação crítica*. Brasília: [s.e], 2007. p. 249-255.
- FRANÇA, A. M. C.; COUTINHO, P. N.; MORAIS, J. O. 1976. Sedimentos superficiais da margem continental Nordeste brasileira. *Revista Brasileira de Geologia*, **6**(2): 78-88.
- KIEHL, E. J. 1979. *Manual de edafologia*. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 464 pp.
- LAMAS, F.; IRIGARAY, C.; OTEO, C.; CHACON, J. Selection of the most appropriate method to determine the carbonate content for engineering purposes with particular regard to marls. *Engineering geology*, **81**(2005): 32-41.
- LARSONNEUR, C. 1977. La caryographie de's dépôts meubles sur le plateau continental français: méthode mise du points et

- utilisée en Manche. *Journal de Recherche Océanographique*, **2**: 33-39.
- LIMA, S. F.; SILVA FILHO, W. F.; PINHEIRO, R. D.; FREIRE, G. S. S.; MAIA, L. P.; MONTEIRO, L. H. U. 2001. ANASED - Programa de análise, classificação e arquivamento de parâmetros sedimentológicos. In: Congresso Da Associação Brasileira De Estudos Do Quaternário. Imbé, **Anais** do VIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Imbé, ABEQUA. 2001.
- MENDES, J. C. 1992. *Elementos de Estratigrafia*. São Paulo: T. A. Queiroz, 566 pp.
- OLIVEIRA, R. C. B. 2012. *Investigação Do Comportamento Geoquímico De Metais-Traços Em Solos E Sedimentos Da Bacia Inferior Do Rio Jaguaribe, Nordeste Do Brasil*. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.
- PINET, P. R. 2006. *Invitation to oceanography*. Sudbury, Massachusetts: Jones & Bartlett Publishers.
- SILVA, F. C. da (Coord.) 1999. *Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.
- SOUSA, J. F. de; VIDAL, F. W. H. 2005. *Rochas Carbonáticas*. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia. Centro de Tecnologia Mineral.
- TOLEDO, F. A. L. 2000. *Variações Paleoceanográficas nos últimos 30.000 anos no oeste do Atlântico Sul: Isótopos de Oxigênio, Assembléia de Foraminíferos Planctônicos e Nanofósseis Calcários*. Tese (Doutorado em Geociências). Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.
- VITAL, H.; ESTEVES, L. S.; ARAÚJO, T. C. M.; PATCHINEELAM, S. M. 2005. Oceanografia geológica e geofísica da plataforma continental brasileira. In: Célia Regina G. Souza; Kenitiro Suguio; Antonio Manoel dos Santos Oliveira e Paulo Eduardo Oliveira *Quaternário do Brasil*. Ribeirão Preto: Holos, pp. 153-175.
- VON SPERLING, M. 2005. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. UFMG. Belo Horizonte, 2005.
- WALKLEY, A.; BLACK, I. A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, **37**:29-38.