



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIAS E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

MARIA CRISTINA DA SILVA SALES DE MELO

**ESTUDO SEDIMENTAR ATUAL E DISTRIBUIÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA
SEDIMENTAR NA PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA E MÉDIA DE
PERNAMBUCO**

Recife

2019

MARIA CRISTINA DA SILVA SALES DE MELO

**ESTUDO SEDIMENTAR ATUAL E DISTRIBUIÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA
SEDIMENTAR NA PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA E MÉDIA DE
PERNAMBUCO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Oceanografia.

Área de concentração: Oceanografia abiótica.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Lima Barcellos.

Coorientador: Prof. Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso.

Recife

2019

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

M528e Melo, Maria Cristina da Silva Sales de.
Estudo sedimentar atual e distribuição da matéria orgânica sedimentar na plataforma continental interna e média de Pernambuco / Maria Cristina da Silva Sales de Melo. - 2019.
101 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Lima Barcellos.
Coorientador: Prof. Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2019.
Inclui Referências e Apêndice.

1. Oceanografia. 2. Sedimentação marinha. 3. Plataforma continental de Pernambuco. 4. Matéria orgânica sedimentar. I. Barcellos, Roberto Lima (Orientador). II. Manso, Valdir do Amaral Vaz (Coorientador). III. Título

UFPE

551.46 CDD (22. ed.) BCTG/2020-224

MARIA CRISTINA DA SILVA SALES DE MELO

**ESTUDO SEDIMENTAR ATUAL E DISTRIBUIÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA
SEDIMENTAR NA PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA E MÉDIA DE
PERNAMBUCO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Oceanografia.

Aprovada em: 12/09/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Roberto Lima Barcellos (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Rochanna Campos Andrade Santos (Titular Externo)
Universidade Federal de Alagoas

Prof. Dr. Virgínio Henrique Miranda Lopes Neumann (Titular Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Manuel de Jesus Flores Montes (Titular Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Antônio Vicente Ferreira Júnior (Titular Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a minha família pelo apoio incondicional, principalmente meu filho Henrique que mesmo com problemas de saúde me apoiava, muitas vezes evitando contar as dores que sentia para evitar que ficasse preocupada, dedica essa tese e tudo que conquistarei para ele.

Aos meus orientadores Roberto Barcellos e Valdir Vaz Manso que me ajudaram durante a vida acadêmica.

A minha amiga dessa e de outras vidas Liza Ellen pela amizade e colaboração. A Luciana, Thais e Thayana pela amizade e trocas de experiências e angústias compartilhadas nesses 4 anos.

Ao departamento de Oceanografia da UFPE e aos laboratórios LABOGEO, LGGM E LABISE pelas realizações das análises.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de doutorado.

RESUMO

As plataformas continentais são ambientes dinâmicos, e sua extensão abaixo da linha d'água encontra-se associada ao movimento eustático do nível do mar. As variações eustáticas do mar em conjunto com os diversos mecanismos de transporte e deposição de sedimentos fazem com que o material depositado seja um registro histórico do ambiente. A matéria orgânica é um dos componentes do sedimento, seu estudo possibilita uma valiosa colaboração para os ciclos biogeoquímicos que ocorrem na natureza. O objetivo geral deste trabalho visa analisar a sedimentologia e as características da matéria orgânica sedimentar da PCPE, relacionando com a granulometria dos sedimentos e composição da fração arenosa e dos teores de carbonato de cálcio. Para os 856 pontos de coleta, distribuídos em 107 perfis perpendiculares à linha de costa, foram analisados os conteúdos de matéria orgânica total, carbonato de cálcio. Para mensurar os teores de carbono orgânico e nitrogênio total, as razões isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, e as razões elementares C/N para descrição geoquímica dos sedimentos, utilizou-se de uma malha de 140 amostras distribuídas ao longo da área de estudo. Foram executadas também análises de correlação (*Spearman*), componentes principais (*PCA*). A região da plataforma continental interna e média de Pernambuco pode ser caracterizada como uma plataforma mista, composta por uma cobertura de sedimentos siliciclásticos, carbonato-siliciclásticos e carbonáticos ($\text{CaCO}_3 > 50\%$), e que abriga uma série de compartimentos de relevo tais como: bancos de rochas de praias e de recifes de corais, vales incisos e paleolinhas de costa. A PCPE apresenta a predominância de sedimentos arenocascalhosos (predomínio entre 40% à 60% de ambos) bioclásticos, pobremente selecionados com baixos teores orgânicos (MOT predominante $< 2\%$) ao longo de toda costa. Com base nos teores mensurados de carbono e nitrogênio, razão C/N, associado às razões isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, observou-se que há um predomínio de um material de origem marinha ao longo de toda área em estudo – $\text{C} < 1$, $\text{N} < 1$, $\text{C/N} < 5$, $\delta^{13}\text{C} > -21$ e $\delta^{15}\text{N} > 8$ – contendo a presença de manchas com material continental nas zonas mais costeiras e nas regiões de canais, indicando que este material foi carreado por meio dos canais adjacentes as zonas mais longe da costa. Em linhas gerais, os dados batimétricos mostram a presença de canais ao longo de toda região em estudo, associado às desembocaduras dos rios, que possuem potencial de reter material mais fino e de carrear material continental para a parte mais distal da linha de costa. O predomínio de uma cobertura carbonática associado a uma matéria orgânica de origem marinha, evidenciam que os aportes costeiros são baixos, e que o material sedimentar é de origem autóctone, e retrabalhada de acordo com os ciclos biogeoquímicos da área em estudo.

Palavras-chave: Sedimentação marinha. Plataforma continental de Pernambuco. Matéria orgânica sedimentar.

ABSTRACT

Continental shelves are dynamic environments, and its length below the waterline is associated with variation in the static sea level. The eustatic variations of the sea together with the various mechanisms of sediment transport and deposition make the deposited material a historical record of the environment. The organic matter is one of the sediment components, their study provides a valuable contribution to biogeochemical cycles that occur in nature. The aim of this study is to analyze the sedimentology and sedimentary organic matter characteristics from the PCPE, relating to the particle size and composition of the sandy sediment fraction and the calcium carbonate content. For the 856 collection stations, distributed in 107 profiles perpendicular to the shoreline, the contents of total organic matter, calcium carbonate were analyzed. To measure the organic carbon and total nitrogen content, the isotopic ratios of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$, and the elemental ratios C/N for geochemical description of sediments, we used a mesh of 140 samples distributed over the study area. Correlation (*Spearman*), principal components (*PCA*) analyzes were also performed. The inner and middle continental shelf region of Pernambuco can be characterized as a mixed platform, composed of a silicytic, carbonate-silicyclastic and carbonate sediment cover ($\text{CaCO}_3 > 50\%$), and hosts a number of prominent magazines such as: banks beachrock, coral reefs, incised valleys and paleolines coast. The PCPE presents a predominance of sandy-gravelly (between 40% and 60% both) bioclastic sediments, poorly selected with low organic content (predominant TOM $< 2\%$) over the entire coast. Based on the measured carbon and nitrogen contents, C / N ratio, associated with the isotopic ratios of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$, it was observed that there is a predominance of a material of marine origin throughout the study area – C < 1 , N < 1 , C / N < 5 , $\delta^{13}\text{C} > -21$ and $\delta^{15}\text{N} > 8$ – containing the presence of spots with continental material in most coastal areas and regions channels, indicating that this material was carried by adjacent channels the most areas away from the coast. In general, the bathymetric data show the presence of channels throughout the study area, associated with river mouths, which have the potential to retain thinner material and carry continental material to the most distal part of the shoreline. The predominance of a carbonate cover associated with an organic matter of marine origin, evidences that the coastal inputs are low, and that the sedimentary material is autochthonous and reworked according to biogeochemical cycles of the study area.

Keywords: Marine sedimentation. Continental shelf of Pernambuco. Sedimentary organic matter.

LISTA DE FIGURAS

Introdução

Figura 1 - Ciclo Biogeoquímico global do carbono.....	18
Figura 2 - Fluxo do carbono no sistema terrestre, valores em Giga tonelada (toneladas).....	19
Figura 3 - Esquema simplificado do ciclo biogeoquímico global do nitrogênio em ecossistemas aquáticos continentais.....	21

Artigo 1

Figura 1 - Distribuição dos pontos de coleta na área de estudo com destaque nos pontos extras para complementar a malha batimétrica.....	33
Figura 2 - Mapa batimétrico da área de estudo, com a localização dos perfis topográficos perpendiculares à costa.....	37
Figura 3 - Mapa de distribuição dos percentuais de cascalho.....	39
Figura 4 - Mapa de distribuição dos percentuais de areia.....	39
Figura 5 - Mapa de distribuição dos percentuais de lama.....	40
Figura 6 - Conteúdos de Carbonato de Cálcio (CaCO ₃ em %)......	42
Figura 7 - Conteúdos de matéria orgânica total (em %)......	42
Figura 8 - Classificação textural de Folk (1954)......	43
Figura 9 - Mapa de distribuição do diâmetro médio (Folk & Ward, 1957)......	43
Figura 10 - Grau de seleção de acordo com Folk & Ward (1957)......	45
Figura 11 - Classificação de fácies sedimentares de acordo com Larssoneur (1977)......	45
Figura 12 - Análise das componentes principais Sedimentológicas.....	46
Figura 13 - Mapa de fácies sedimentares.....	46

Artigo 2

Figura 1 - Localização da área de estudos com os 364 pontos de coleta (em preto), e os 63 pontos de batimetria (em vermelho) coletados por outro projeto e utilizados nesta pesquisa	57
Figura 2 - Mapa batimétrico da área de estudo.....	59
Figura 3 - Classificação do diâmetro médio das partículas sedimentares que compõem os sedimentos de fundo marinho na região de estudo (conforme Folk & Ward, 1957)......	61
Figura 4 - Grau de seleção do sedimento que compõe as coberturas superficiais do fundo marinho na plataforma adjacente a região de Itamaracá (conforme Folk & Ward, 1957)......	61
Figura 5 - Variação dos teores de CaCO ₃ (em %) de acordo com classificação de Larssoneur <i>et al.</i> (1982)......	63

Artigo 3

Figura 1 - Distribuição dos pontos de coleta na área de estudo.....	70
Figura 2 - Teor de COT.....	73
Figura 3 - Teor de NT.....	73
Figura 4 - Distribuição dos valores da razão C/N.....	76
Figura 5 - Teor de $\delta^{13}\text{C}$	77
Figura 6 - Teor de $\delta^{15}\text{N}$	77
Figura 7 - PCA.....	79
Figura 8 - Fácies geoquímicas.....	83

LISTA DE TABELAS

Introdução

Tabela 1 -	Relação da granulometria dos sedimentos com o ambiente da plataforma continental e o clima.	15
Tabela 2 –	Classificação da Matéria Orgânica de acordo com as razões C/N e C/P em literaturas	22

Artigo 1

Tabela 1 –	Caracterização das fácies sedimentares.....	46
Tabela 2 –	Percentual de abrangência dos componentes.....	47
Tabela 3 –	Coeficientes de combinação linear das variáveis dos componentes principais.....	48
Tabela 4 –	Correlação de Spearman (sp)	48

Artigo 3

Tabela 1 –	Coeficiente de correlação de Spearman (<i>rs</i>).....	71
Tabela 2 –	Autovetores do PCA.....	79
Tabela 3 –	Componentes principais calculados através do PCA.....	79
Tabela 4 –	Descrição das fácies geoquímicas da PCPE	82

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	DISTRIBUIÇÃO SEDIMENTAR EM PLATAFORMAS CONTINENTAIS.....	13
2	MATÉRIA ORGÂNICA EM AMBIENTES MARINHOS.....	17
2.1	CICLO DO CARBONO E NITROGÊNIO MARINHO.....	17
2.2	ISÓTOPOS ESTÁVEIS DE CARBONO E NITROGÊNIO.....	22
3	GEOLOGIA COSTEIRA DE PERNAMBUCO	24
4	OBJETIVOS	26
4.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
5	JUSTIFICATIVA.....	27
6	RESULTADOS.....	28
6.1	CARTAS SEDIMENTOLÓGICAS DA PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA E MÉDIA DE PERNAMBUCO, NE BRASIL	28
6.2	ASPECTOS SEDIMENTOLÓGICOS E BATIMÉTRICOS DA PLATAFORMA CONTINENTAL NORTE DE PERNAMBUCO - BRASIL	53
6.3	CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA SEDIMENTAR NA PLATAFORMA CONTINENTAL DE PERNAMBUCO.....	66
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	84
7.1	CONCLUSÕES	84
7.2	POTENCIALIDADES FUTURAS	85
	REFERÊNCIAS	86
	APÊNDICE A – RESULTADOS DAS ANÁLISES GEOQUÍMICAS	96

1 INTRODUÇÃO

As plataformas continentais são províncias fisiográficas, que compõem a margem continental, sendo caracterizada como a extensão adjacente a um continente que se estende desde a linha de baixa-mar até a região de sua quebra – zona na qual há uma variação brusca de declividade, dirigindo-se às profundezas dos oceanos (HEEZEN & MENARD, 1996; IHO 2008). Estas feições possuem como característica predominante um relevo aplainado, contendo em sua extensão a presença de elementos topográficos positivos e negativos, que intercalam com a declividade de 1:1000 (BAPTISTA NETO *et al.*, 2004).

Por está localizado no oceano Atlântico Sul e o mesmo apresentar um limite divergente, a margem da plataforma continental brasileira é classificada como tipo passiva. Nestes tipos de margem, as regiões de plataforma continental oscilam em decorrência das variações eustáticas do nível do mar, onde sua área cresce a medida que o nível sobe e diminuindo quando o nível desce (CONTI & FURTADO, 2009; BLUM *et al.*, 2013; HARRIS *et al.*, 2014). Quando há ocorrências de períodos glaciais, como o Último Máximo Glacial, as geleiras atingiram seu volume máximo, ocasionando diminuição significativa do nível do mar – cerca de 120 metros abaixo do nível atual – expondo a plataforma às ações subaéreas e fluviais (YOKOYAMA *et al.*, 2000; CONTI & FURTADO, 2009; BLUM *et al.*, 2013; HARRIS *et al.*, 2014). Após o término da última glaciação, que marca o início do Holoceno, as plataformas continentais embora tenham tornado a ficarem submersas novamente, ainda guardam consigo registros das ações ambientais durante o período de exposição, revelando assim os efeitos das mudanças climáticas (WAGLE & VEERAYYA, 1996; WESCHENFELDER *et al.*, 2008; CONTI & FURTADO, 2009; BLUM *et al.*, 2013; SALZMANN *et al.*, 2013; HARRIS *et al.*, 2014).

As plataformas continentais são caracterizadas por ser um ambiente dinâmico, no qual a sua extensão oscila ao decorrer do tempo geológico e da variação eustática do nível do mar, podendo desaparecer caso a regressão ultrapasse a quebra da plataforma continental (CAMARGO, 2016). Mediante a tal oscilação, a topografia existente nestas feições é o resultado dos processos de erosão e deposição promovidos pela dinâmica de variação do nível do mar (KENNETT, 1982).

Associado a tais variações eustáticas do mar, há as ações de transporte e deposição de material, que permite com que o que chega e é produzido na plataforma seja depositado em suas feições ou retrabalhado de acordo com a hidrodinâmica local. Desta forma os sedimentos – terrígenos ou marinhos – são reflexos da natureza predominante, onde as partículas de

material orgânico e inorgânico se acumulam trazendo consigo registros históricos sobre o ambiente, por meio da sua classificação textural, maturidade dos grãos e composição (PONZI, 2004; THURMAN, 1997; GARRISON, 2010). Essa dinâmica marinha é responsável pelo complexo mosaico sedimentar existente na plataforma, ordenando materiais antigos e recentes (FREIRE, 2006).

Em meio a tal complexidade sedimentar, tem-se a matéria orgânica como um de seus elementos componentes, que trazem informações sobre as interações biogeoquímicas da atmosfera, biosfera e geosfera (TYSON, 1995). Além da dinâmica de circulação já mencionada, a matéria orgânica sedimentar é influenciada principalmente pelos aportes marinhos e continentais, onde seu estudo permite conhecer sua origem (MEYERS, 1997; BARCELLOS, 2005). O conteúdo orgânico está correlacionado a uma série de fatores, desde a própria dinâmica sedimentar já mencionada, à produtividade das camadas d'água, as taxas de consumo microbianas, tudo isso associado às condições oceanográficas e hidrológicas (BARCELLOS & FURTADO, 1999).

O presente trabalho visa colaborar com o conhecimento da cobertura sedimentar da Plataforma Continental de Pernambuco – PCPE, a cerca de sua distribuição sedimentar e composição do material orgânico superficial até a isóbata de 40 metros de profundidade. Tal estudo traz uma nova visão sobre a cobertura, considerando os aportes continentais e sua interferência nas plataformas rasas e média.

1.1 DISTRIBUIÇÃO SEDIMENTAR EM PLATAFORMAS CONTINENTAIS

Plataformas continentais representam 8,91% de toda a cobertura marinha, mas concentra cerca de 90% dos principais recursos marinhos importantes economicamente – como combustíveis e minerais – além de se desenvolverem a maior parte das atividades, como transporte, pesca artesanal e industrial, turismo, pesquisas e etc. (COUTINHO, 1996; HARRIS *et al.*, 2014; CAMARGO, 2016), desta forma, caracteriza-se como um ambiente com de suma importância socioeconômica e ambiental, ao qual há uma demanda sustentável em suas atividades para não acarretar nenhuma depreciação no meio (REBOUÇAS, 2010).

Devido a grande importância econômica, os estudos realizados nas plataformas continentais – sejam as carbonáticas ou siliciclásticas – foram propulsionados pela indústria petrolífera. Tais estudos evidenciaram semelhanças entre ambas às coberturas, sendo que, as carbonáticas diferem em alguns aspectos específicos como: sua origem, os gradientes apresentados devido as taxas de produção, tendência a litificação do material, propriedades

hidrodinâmicas dos locais em conjunto com o clima (LEEDER, 1999).

Como mencionado na introdução, a plataforma continental brasileira é do tipo Atlântico ou passiva, constituída pela área que margeia os continentes, a parte submersa apresenta relevo aplainado, com quebra em torno dos 130m (dependendo da região em estudo), tendo estas características como herança geológica dos fenômenos ocorridos, dos aportes, do tipo de circulação oceânica existente e do espaço de acomodação (COUTINHO, 1996; SUGUIO, 2003; DOMINGUEZ, 2009).

A cerca da cobertura sedimentar, reitera-se que a mesma é um reflexo dos fatores predominantes na composição – terrígena ou carbonática –, na origem – autóctone ou alóctone – e nas ações de transporte e/ou retrabalhamento dos grãos – que é promovida pela hidrodinâmica, como ondas, marés e correntes (PONZI, 2004). Os sedimentos alóctones, de acordo com Johnson e Baldwin (1996) são aqueles de natureza terrígena, que foram introduzidos na plataforma pelos aportes dos rios. Quanto aos sedimentos biogênicos, Rebouças (2010) afirma que é resultante da acumulação das carapaças e fragmentos de organismos, nos quais sua variedade e abundância estão associadas às condições climáticas e oceanográficas – salinidade, turbidez, temperatura, hidrodinâmica, intensidade fótica, fluxo de nutrientes e outros. Há os sedimentos reliquiais, que são de origem terrígena, mas são do retrabalhamento de sedimentos antigos em decorrência as variações eustáticas do mar (MACMANUS, 1975). Com base nos trabalhos realizados (PONZI, 2004; JOHNSON e BALDWIN, 1996) evidencia-se uma correlação negativa, onde à medida que se diminui o aporte terrígeno, o suprimento autóctone é favorecido, característica relevante na região Nordeste do Brasil, já que os cursos hídricos não carregam sedimentos para a costa, caracterizando-a como faminta. Swift (1974) que as plataformas autóctones recebem sedimentos *in situ* retrabalhados, enquanto as alóctones recebem suprimentos modernos que aportam do continente, definindo assim a tipologia, taxa de sedimentação e origem.

A crença inicial era de que os sedimentos apresentavam uma gradação, no qual os sedimentos mais grossos locavam-se nas regiões mais costeiras e o diâmetro diminuía a medida que a profundidade aumentava. Tal visão só foi quebrada mediante aos estudos conduzidos em distintas partes do mundo que evidenciaram uma composição com grande variedade textural (SHEPARD, 1932, 1973; EMERY, 1952, 1968). Tal conhecimento promoveu a quebra de paradigma, no qual o meio marinho seria um ambiente de equilíbrio e passou a aceitar a concepção de um ambiente dinâmico, onde as relações entre a distribuição e a distância da costa passaram a ser um fator com baixa relevância, já que se observam materiais cascalhosos nas zonas mais profundas e lamas nas regiões mais costeiras

(REBOUÇAS, 2010).

Na tabela 1 abaixo há uma comparação entre a perspectiva de distribuição granular do sedimento entre Shepard (1973) e Hayes (1967). Enquanto Shepard (1973) correlaciona o diâmetro do grão com: as áreas fontes, fisiografia e topografia além das correntes costeiras, Hayes (1967) associa com o tipo de clima.

Tabela 1 - Relação da granulometria dos sedimentos com o ambiente da plataforma continental e o clima

Textura dos sedimentos	Ambientes da plataforma continental (Shepard, 1973)	Clima associado (Hayes, 1967)
AREIAS	Comum em todos os tipos de plataformas continentais. São características de plataformas abertas com baixo relevo adjacente, ou áreas adjacentes a extensas praias arenosas e pontas arenosas, entradas de baías e bancos arenosos.	Abundante em todos os climas, e exibe maior abundância em zonas intermediárias, que possuem temperatura e precipitação moderada, ou em áreas áridas, exceto em climas frios.
LAMA	Estão associados a regiões adjacentes a desembocaduras fluviais, ambientes abrigados (como baías ou golfos) e nas áreas de depressões do relevo de plataformas abertas.	Abundante em áreas de alta precipitação e temperatura, trópicos úmidos.
FUNDO ROCHOSO (Geralmente associados com cascalhos, seixos ou rochas)	Presentes em áreas adjacentes à pontas rochosas, contíguas a costas com falésias rochosas, ou plataformas abertas sob a influência de fortes correntes. Altos no relevo da plataforma continental.	Mais comuns em baixas temperaturas (cascalhos). E na plataforma interna (afloramentos).
CORAL		Baixas latitudes onde há altas temperaturas.
CONCHAS		Não é diagnóstico de temperaturas

Fonte: adaptado de Rebouças (2010).

Comparando as duas classificações, na costa Nordeste espera-se a predominância de areia, com lama presente nas regiões costeiras associadas a ambientes estuarinos ou lagunares, e nas regiões mais profundas um fundo rochoso recoberto de material biogênico marinho.

Associando aos trabalhos de descrição sedimentar, incorporaram-se os dados em relação às texturas, a fisiografia e dinâmica da plataforma continental, e os sonares de varredura lateral, isso serviu para mostrar que o material sedimentar superficial possui uma ampla relação com eventos atuais, principalmente pelo retrabalhamento por processos físicos e biogênicos (STRIDE *et al.*, 1963; JOHNSON e BALDWIN, 1996; ANDERTON, 1976; MACMANUS, 1975; ALLEN, 1980). Com base nesses dados, desenvolveu-se um modelo de sedimentação marinha com base no regime hídrico dominante (ANDERTON, 1976; STANLEY E SWIFT, 1976; FLEMMING, 1980, 1981), classificando em 4 tipos principais:

- a) Dominados por maré;

- b) Dominada por onda;
- c) Dominada por tempestade;
- d) Dominada por correntes oceânicas.

A circulação da água no sedimento possui uma grande relevância, principalmente a atuação dela na distribuição ou reciclagem dos componentes da matéria orgânica, passando a ser um enfoque por dinâmicas distintas, como: a movimentação da água intersticial em decorrência das ondas (RIEDL & MACHAN, 1972; RIEDL *et al.*, 1972), a interação entre a água e o sedimento e o deslocamento que essa interação promove (KERSTEN, 1988 *apud* O'HARA *et al.*, 1995), remoção dos gases presente nos sedimentos por meio da ebulição do metano biogênico (REEBURGH, 1969 *apud* O'HARA *et al.*, 1995), além de como o acréscimo no fluxo dos nutrientes sedimentares resultam da ebulição (MARTEN & KLUMP, 1980 *apud* O'HARA *et al.*, 1995).

Deste modo, os estudos para caracterização da matéria orgânica contida nos sedimentos superficiais marinhos, são utilizados para correlacionar os diversos processos como: a produtividade da coluna d'água, os aportes continentais e os impactos causados, as dinâmicas das massas d'água, as propriedades físico-químicas destes nutrientes, as taxas de deposição, os ciclos biogeoquímicos envolvidos e como ela se distribui na plataforma, promovem a matéria orgânica sedimentar um parâmetro importante para compreensão da dinâmica envolvida e uma excelente base para integração das distintas áreas da oceanografia (MÜLLER & SUESS, 1979; INTÈS & LE LOEUFF, 1986; STEIN, 1991; BONIFAY & GIRESSSE, 1992; FAGANELLI *et al.*, 1994; MEYERS, 1997; ARNOSTI *et al.*, 1998; HEDGES *et al.*, 1999; HYLAND *et al.*, 2005; BURDIGE, 2007; KOHO *et al.*, 2013).

2 MATÉRIA ORGÂNICA EM AMBIENTES MARINHOS

Mayer *et al.* (2007) afirmam que as plataformas continentais são as extensões marinhas onde ocorrem a deposição da maior parte da matéria orgânica presente nos oceanos. Xing *et al.* (2011) afirmam que as plataformas continentais e os estuários recobrem apenas 10% do totalidade marinha, no entanto, conseguem captar mais 90% da matéria orgânica sedimentar marinha, em decorrência da entrada do material terrestre nesses meios e a produtividade marinha primária. Em relação a importância da matéria orgânica para o meio, Barcellos (2000) afirma que a matéria orgânica é essencial para manutenção das áreas costeiras, mas que a natureza dessa matéria orgânica é essencial para se avaliar a disponibilidade do uso desses nutrientes pelos organismos bentônicos. De acordo com o autor, quando a matéria orgânica possui uma origem mais continental, carece de uma atividade decompositora prévia para melhor assimilação dos nutrientes, enquanto as oriundas das produções primárias (fitoplâncton) possibilitam uma maior disponibilidade desses nutrientes no meio (BARELLOS, 2010).

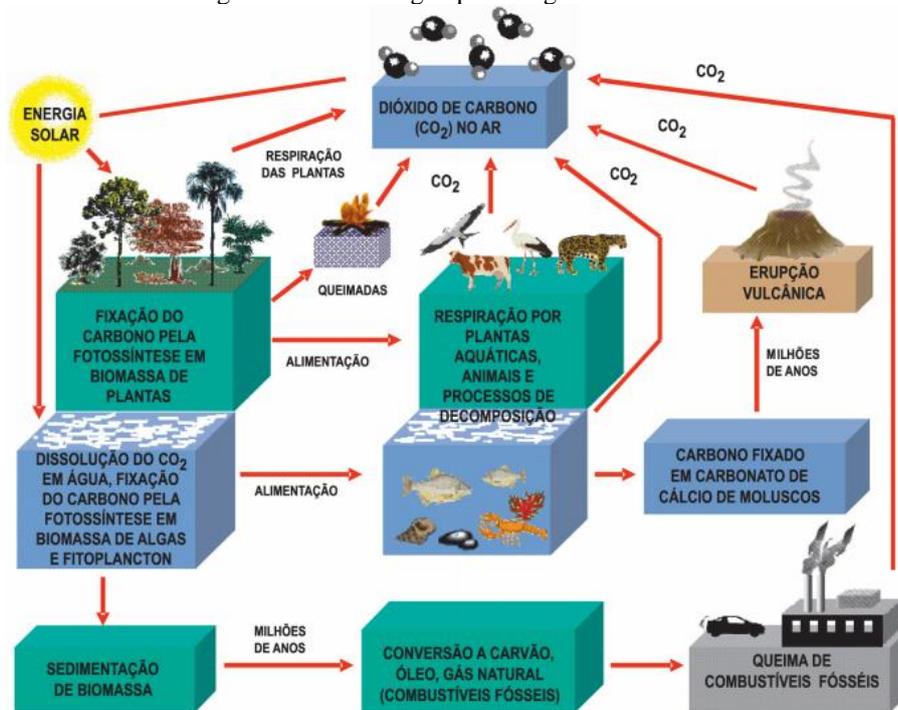
A constituição da matéria orgânica sedimentar (MOS) é composta, principalmente, por macromoléculas insolúveis em água, que são oriundas diretamente dos componentes bióticos presentes, ou são geradas por reações químicas (polimerização ou condensação) em moléculas orgânicas menores (KILLOPS & KILLOPS, 2005 apud OLIVEIRA, 2010). A matéria orgânica pode ser dividida em particulada (MOP), composta pela fração lábil e com maior taxa de reciclagem dos nutrientes, e dissolvida (MOD) que é composta por substâncias refratárias e biodegradáveis (FELLER & BEARE, 1997; AZEVEDO *et al.*, 2008). As fontes da matéria orgânica são alóctone e/ou autóctone. A matéria orgânica alóctone chega ao meio trazida pela descarga fluvial e pelas correntes de maré, sob a forma de produtos da decomposição dos organismos vivos, excreções de animais. As fontes autóctones são oriundas do local como, por exemplo, a produção primária. Dessa forma, a matéria orgânica que se deposita no sedimento é o resultado de uma mistura complexa de substâncias naturais e antrópicas (oriundas de diferentes fontes) que se encontra em constante transformação, originando diferentes compostos de acordo com sua velocidade de degradação e das variáveis bióticas e abióticas dos locais (REZENDE, 2015).

2.1 CICLO DO CARBONO E NITROGÊNIO MARINHO

Os oceanos são as maiores fontes de carbono, as quais a maior parte, excetuando-se os

carbonatos e carbono orgânico precipitado e retido nos sedimentos, está sob a forma de carbono inorgânico dissolvido (PILSON, 1998; MILLERO, 2006; SABINE & FEELY, 2007). Referente às frações orgânicas, nas suas variações dissolvidas e particuladas, embora apresentem no meio marinho uma magnitude inferior em relação ao carbono inorgânico dissolvido, elas tem papel fundamental para o ciclo global do carbono, em virtude dos processos autóctone e alóctone associados à produção primária, que atuam simultaneamente com as trocas que ocorrem entre oceano e atmosfera (SABINE & FEELY, 2007; SMITH, 2005). Na figura 1, vemos como ocorrem as trocas e fluxos de carbono entre os continentes, oceanos e atmosfera.

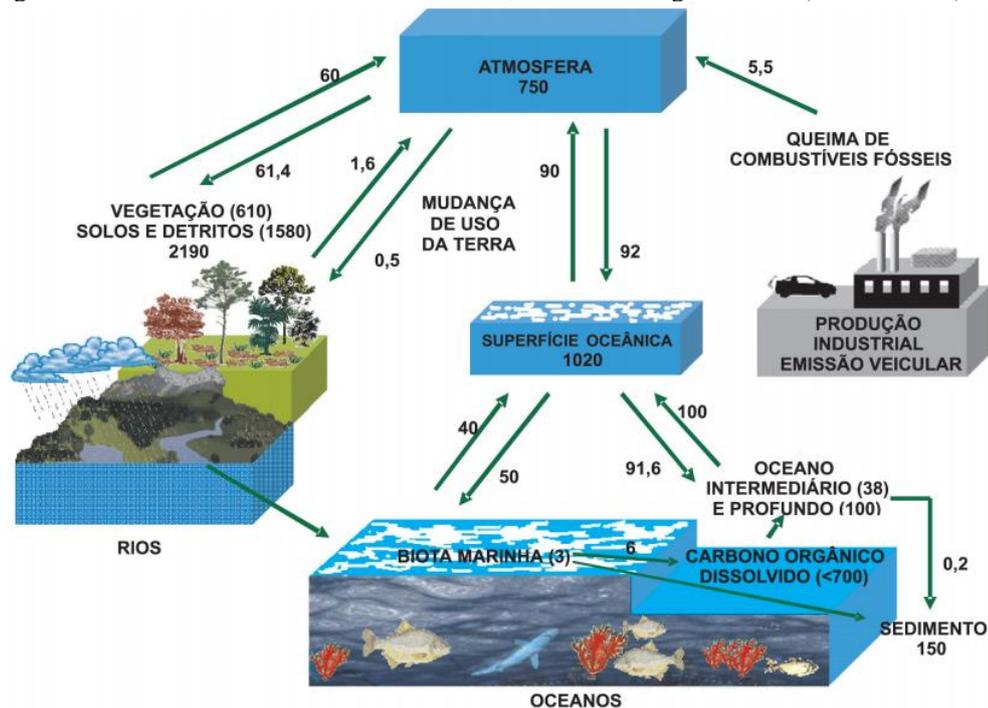
Figura 1 - Ciclo Biogeoquímico global do carbono



Fonte: Martins *et al.* (2003).

Nas zonas costeiras, a principal fonte de carbono para os sistemas marinhos se dá por meio do material que chega dos rios, fluxos e águas subterrâneas, além da deposição atmosférica. Na figura 2 é possível observar todo o fluxo e os teores de carbono que circulam entre a atmosfera-continentes-oceanos. A entradas fluviais são importantes para o sistema, visto que, a composição do material carbonático dos sedimentos oscila em decorrência das fontes que são carreadas estão associadas como a vegetação, o tipo de solo e a litologia da bacia de drenagem, visto que os solos ácidos e densas coberturas vegetais tendem a contribuir com mais carbono orgânico dissolvido e particulado. No caso de terrenos mais carbonáticos e sem vegetação tendem a contribuir mais com material inorgânico dissolvido (SOUZA *et al.* 2012; ROSCOE, 2003).

Figura 2 - Fluxo do carbono no sistema terrestre, valores em Giga tonelada (10^9 toneladas)



Fonte: Martins *et al.* (2003)

A presença do carbono em sedimentos superficiais no meio marinho está correlacionada a diversos fatores que englobam as características sedimentares do local: a produtividade da coluna d'água e a taxa de degradação microbiana, além das condições oceanográficas locais (BARCELLOS, 2000). A presença de baixos teores de carbono orgânico nos sedimentos (<0,5%) é uma característica inerente a grande maioria das bacias oceânicas, sobretudo as de mares abertos (HUC, 1980 apud RASHID, 1985). Nas áreas adjacentes à linha de costa, mares interiores e plataformas continentais há sedimentos enriquecidos com carbono orgânico, onde conteúdos entre 2,0% a 4,0% não são incomuns (BARCELLOS, 2005).

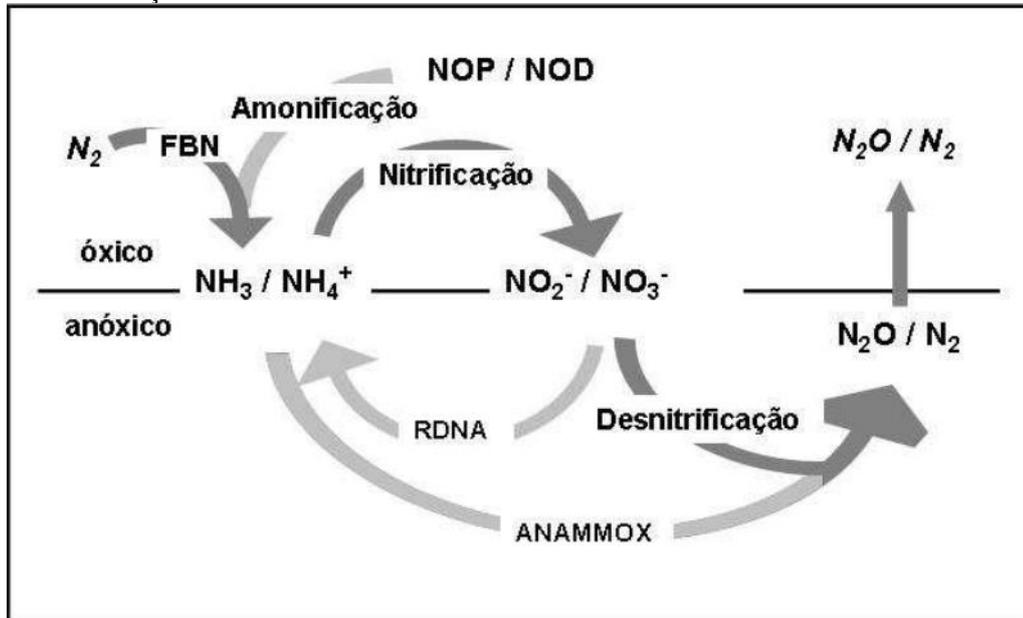
Na plataforma continental de Pernambuco, um fator importante que ocorre é assimilação de carbono pelas algas calcárias. O primeiro autor a observar tal possibilidade foi Oliveira (1989), que chamou a atenção da comunidade acadêmica para o potencial das algas calcárias em ser uma reserva global de carbono. Sabe-se que a assimilação de carbono pelas algas, embora ainda não esteja completamente descrita, decorre do processo fotossintético, no qual elas se utilizam do CO_2 presente no carbonato dissolvido, promovendo um equilíbrio dos gases (LOBBAN & HARRISON, 1994; OLIVEIRA, 1996). A presença de carbonato de cálcio se dá em todos os grandes grupos de algas, mas em poucas ocorrem à deposição (AMANCIO, 2007). A precipitação do carbonato dá-se de duas formas: calcita e aragonita,

mas ambas numa coexistem no meio natural, e a aragonita embora possua a cristalização mais frágil, é a mais abundante (LOBBAN & HARRISON, 1994; AMANCIO, 2007). As algas calcárias são classificadas por alguns autores (BJÖRK *et al.*, 1995; LITTLER & LITTLER, 1995), como as principais cimentadoras de recifes, o que se atribui a nomenclatura de recife algálicos (GOREAU, 1963; HILLIS-COLINVAUX, 1986). Os principais grupos são as algas não articuladas (chegam a compor um terço dos sedimentos calcários), associadas ao gênero *Halimeda* e rodolitos (HALFAR *et al.*, 2000; AMANCIO, 2007). Estes bancos de substrato consolidado são pontos de alta diversidade em regiões ao qual o substrato geológico não permitiria (AMANCIO, 2007). Por ter cerca de 95% da composição em peso composta por carbonato de cálcio, as algas são largamente utilizadas como fertilizantes e corretores de solo (BLUNDEN *et al.*, 1997), sendo que na plataforma brasileira a estimativa dos depósitos algas calcárias é de 2×10^{11} toneladas de sedimentos, os quais 75% são de carbonato (MILLIMAN & AMARAL, 1974).

Galloway *et al.* (2003) afirmam que, dentre os elementos essenciais à vida (carbono, fósforo, oxigênio, enxofre, nitrogênio e sílica), o que possui maior abundância na atmosfera e biosfera é o nitrogênio. O nitrogênio, em sua totalidade, apresenta uma massa 4×10^{21} g maior que as dos demais elementos mencionados juntos (MACKENZIE, 1998).

A diferença está no fato de que, apesar da abundância apresentada em detrimento aos demais elementos, em torno de 99% do nitrogênio não se encontra disponível para os organismos vivos, visto que a maior parte está em sua forma elementar (N_2), que é uma estrutura química cuja os organismos não conseguem assimilar, já que seria necessário quebrar a tripla ligação existente, demandando uma grande energia, alcançada apenas por processos artificiais (envolvendo altas temperaturas) ou por microrganismos especializados em fixar o nitrogênio (GALLOWAY *et al.* 2003). Mas ele é um macro nutriente essencial aos organismos, pois está presente na composição das células, sendo utilizado nas ações mais fundamentais para a existência da vida, como a síntese das proteínas, RNA e DNA, assim como é um dos principais limitantes para a produção primária da biota marinha e terrestre (SANTORO, 2010). A figura 3 mostra como ocorre o ciclo biogeoquímico global do nitrogênio com ênfase para os processos de fixação, nitrificação e desnitrificação, que são realizados pelas bactérias (KLOTZ & STEIN 2008).

Figura 3 - Esquema simplificado do ciclo biogeoquímico global do nitrogênio em ecossistemas aquáticos continentais, com destaque para os principais processos bacterianos envolvidos na regulação da biodisponibilidade de N nos ambientes. FBN – Fixação biológica de nitrogênio; NOP – Nitrogênio orgânico particulado; NOD – Nitrogênio orgânico dissolvido; RDNA – Redução dissimilatória do nitrato a amônia; ANAMMOX – Oxidação anaeróbica da amônia.



Fonte: Santoro, 2010.

No meio marinho o ciclo do nitrogênio ocorre de forma análoga ao ciclo global, sendo encontrado em 4 formas: orgânico dissolvido (ureia e aminoácidos), orgânico particulado (organismos e detritos), inorgânico dissolvido (nitrogênio molecular (N_2), amônia (NH_4^+), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-)) e inorgânico particulado, nos quais as bactérias realizarão processos de ciclagem (decomposição, sinterização, mineralização, redução e formação), disponibilizando esse material para o meio marinho (BARCELLOS, 2000). Os corpos hídricos, como os rios e lagos, que foram submetidos às ações antrópicas, podem apresentar elevadas concentrações de compostos nitrogenados na água, diferindo do meio marinho, onde o tempo de residência na água é bem menor - em decorrência do alto consumo primário e baixa oferta - e mais longo nos sedimentos. (GALLOWAY *et al.* 2003; BARCELLOS, 2000). No sedimento, estudos realizados por Romankevich (1984) evidenciam que os teores são mais elevados estão mais próximos às zonas costeiras, principalmente quando há a ocorrência de ressurgências de águas profundas. Emerson & Redges (1988), afirmam que o fitoplâncton responde pelo quantitativo da matéria orgânica marinha, pois tanto o fitoplâncton quanto o zooplâncton apresentam de um a dois terços da sua massa corporal composto por proteínas, que são os principais componentes nitrogenados dos seres vivos, tornando-se assim um traçador de material orgânico marinho (BARCELLOS e FURTADO, 1999).

Se correlacionarmos as condicionantes geológicas de um local com os valores obtidos de C e N, é possível utilizar destes componentes da matéria orgânica como ferramenta para diagnóstico ambiental (BERBEL, 2008). Uma das possibilidades é a razão C/N, mensurada com base nos teores de carbono orgânico e nitrogênio total, utilizada como uma forma de indicar a origem da matéria orgânica sedimentar (BARCELLOS *et al.*, 2005). Na tabela 2 temos uma síntese dos valores observados por Berbel (2008) com base na literatura para a classificação da matéria orgânica pela razão C/N.

Tabela 2 – Classificação da Matéria Orgânica de acordo com as razões C/N e C/P em literaturas

RAZÃO	TEOR	ORIGEM DA MATÉRIA ORGÂNICA	REFERÊNCIAS
C/N	3 – 4	Poliquetas	Müller, (1977)
	4 – 7	Organismos fitoplanctônicos	Bordoviskiy, 1965 Meyers, 1997
	8 – 12	Mistura de material planctônico e plantas terrestres	
	>20	Aporte continental	

Fonte: Adaptado de Berbel (2008).

2.2 ISÓTOPOS ESTÁVEIS DE CARBONO E NITROGÊNIO

Em linhas gerais, os isótopos são espécies atômicas de um mesmo elemento químico, que possuem massas diferentes, pelo fato do número de nêutrons em seus núcleos serem diferentes (MARTINELLI *et al.*, 2009). Os isótopos são divididos em dois tipos: os estáveis, que são os que apresentam mais de um nuclídeo estável (que permanece no meio mantendo suas características) e os isótopos instáveis, que são chamados de radiativos (ou radioisótopos ou radionuclídeos) em virtude do seu decaimento radioativo (TAUHATA, 2013).

O uso de isótopos estáveis como um traçador natural sobre a origem da matéria orgânica só é possibilitado em decorrência das diferenças entre as suas assinaturas (diferença entre cada isótopo) das várias fontes (origem do material), além do fato de que essas assinaturas se preservam relativamente bem durante os processos de mineralização, transporte e acumulação no sedimento (BOUILLON *et al.*, 2011).

O carbono (C) e o nitrogênio (N) são elementos que possuem mais de um isótopo, e a composição isotópica natural destes elementos pode ser medida, com elevada precisão, utilizando espectrômetro de massa (PETERSON & FRY, 1987; DAWSON & BROOKS, 2001). Utilizar dados de duas variáveis para se estudar a matéria orgânica (como o $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, por exemplo) tornam mais eficientes principalmente pelo fato do valor do $\delta^{13}\text{C}$ poder coincidir mesmo vindo de fontes distintas, tornando assim, indispensável o valor de outra

variável, como o $\delta^{15}\text{N}$ (KRISHNA *et al.*, 2015).

Os isótopos estáveis do carbono são o ^{12}C e ^{13}C , cujas abundâncias no meio natural se encontram na faixa de 98,89% e 1,11%, respectivamente (BIANCHI & CANUEL, 2011). O nitrogênio também possui dois isótopos estáveis, que são o ^{14}N e ^{15}N , onde as abundâncias encontram-se em torno de 99,63% e 0,37%, respectivamente (BIANCHI & CANUEL, 2011). Essa abundância está correlacionada ao fracionamento desse material na natureza, e tais fracionamentos, como a fotossíntese (que realiza trocas de isótopos), processos cinéticos (ações das bactérias), a difusão e fatores como temperatura e composição química, que fazem com que os isótopos mais leves sejam liberados, ficando apenas os mais pesados, em virtude das ligações químicas que eles realizam (HOEFS, 2004).

Bianchi & Canuel (2011) afirma que o $\delta^{13}\text{C}$ é comumente usado para distinguir entre fontes alóctones e autóctones de carbono e o nitrogênio dá uma especialização melhor, pois os diversos processos microbianos influenciam o $\delta^{15}\text{N}$ das espécies orgânicas e inorgânicas de nitrogênio (BIANCHI; CANUEL, 2011). Devido à capacidade de identificar a origem da matéria orgânica, diversos trabalhos utilizam isótopos estáveis como ferramenta analítica em estudos biogeoquímicos (ex.: DITTMAR *et al.*, 2001; OGRINC *et al.*, 2005; BARCELLOS & FURTADO, 2006; LIU *et al.*, 2006; SIQUEIRA *et al.*, 2004; HU *et al.*, 2009; REZENDE *et al.*, 2010; BAO *et al.*, 2013; REZENDE, 2015; ALVES, 2016).

3 GEOLOGIA COSTEIRA DE PERNAMBUCO

A região costeira do Estado de Pernambuco é composta pela combinação das bacias Paraíba/Pernambuco e Cabo, ao qual a primeira compõe a parte norte e a segunda a parte sul do lineamento Pernambuco, apresentando uma forma alongada e com orientação paralela à linha de costa (PFALTZGRAFF, 2003; MANSO *et al.*, 2006).

Está caracterizada geologicamente por rochas do embasamento cristalino, as quais afloram na direção oeste da faixa costeira, com uma orientação E-W em relação ao Lineamento Pernambuco, constituídas por granitos, gnaisses e migmatitos. Sobre esta estrutura, repousam os sedimentos da Formação Cabo, compostos por conglomerados que variam sua dimensão de modo gradacional, estando interdigitada para arenitos arcoseanos, com a presença de siltitos intercalados e estratificados de micáceos e argilitos (RAND, 1976; MANSO *et al.*, 2006). Em sequência estrutural, há a presença de material calcário rico em óxido de magnésio, com estrutura maciça e cristalizada, com a presença de material fossilífero em alguns trechos. De acordo com Beurlen (1959, in COBRA 1960) estes calcários estariam correlacionados com a Formação Estiva, da bacia Sergipe-Alagoas (Pfaltzgraff, 2003; Manso *et al.*, 2006).

A plataforma continental do Nordeste é puramente de caráter biológico e a primeira divisão deve-se a Kempf (1970), o qual estabelece a profundidade de 35 - 40 m como sendo o limite entre as zonas infralitoral e circalitoral, no sentido de Péres & Picard (1964). Segundo o referido autor este limite é caracterizado pelo desaparecimento do prado de fanerógama *Halophiladecipiens*, acompanhado de mudanças na flora algálica.

Coutinho (1976), considerando os vários aspectos da morfologia e da distribuição dos diversos tipos de sedimentos, na plataforma continental do Nordeste, sugeriu dividi-la em três segmentos ou trechos perfeitamente identificáveis, denominando-os de plataforma interna, média e externa.

- a) Plataforma interna - corresponde a área entre a linha de praia e a isóbata de -20 m. Apresenta na sua maioria relevo suave e apenas algumas irregularidades, devido a presença de canais e dos recifes, que servem de substratos ao desenvolvimento de algas e corais;
- b) Plataforma média - entre as isóbata de -20 e -40 m, apresentando relevo bem mais irregular, com presença de canais representativos e paleovales, formados a partir da dissecação da plataforma quando exposta em épocas pretéritas;
- c) Plataforma externa - a partir de -40 m até a isóbata de -60 m. Esta porção da

plataforma caracteriza-se pela presença de vales e cristas dispostos perpendicularmente à costa, representando feições de um sistema de erosão em plataformas carbonáticas, exposta sub-aereamente, quando a sedimentação subsequente não foi suficiente para recobri-las. A plataforma externa apresenta uma ruptura múltipla em degraus, correspondendo a terraços de bordo de plataforma.

Em síntese, a partir do estado da arte até o presente, a plataforma continental do Estado de Pernambuco apresenta na sua quase totalidade uma reduzida largura, média de 35 km, pouca profundidade, declive suave, quebrada plataforma em torno de -50 a -60 m, águas relativamente quentes, elevada salinidade e uma cobertura sedimentar quase que inteiramente composta por sedimentos carbonáticos biogênicos

Reforça-se que um dos traços morfológicos mais característicos do litoral de Pernambuco é sem dúvida a presença constante, na plataforma interna adjacente, de linhas de recifes de arenitos (beachrocks), geralmente paralelos à costa, servindo de substrato para o desenvolvimento de algas e corais, além de constituir uma efetiva proteção ao litoral, na medida em que absorve em torno de 70% da energia das ondas incidentes, mesmo estando completamente submerso. Existem extensas linhas destas “rochas de praia”, que representam antigos ambientes praias holocênicos, hoje submersas em diferentes profundidades (16m, 22-25m, 32m) conforme descrito por Camargo *et al.* (2007). Estes alinhamentos funcionariam como retentores de material fino terrígeno de origem costeira (KEMPF *et al.*, 1970).

4 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi analisar os sedimentos e as características da matéria orgânica sedimentar da plataforma continental interna de Pernambuco, relacionando com a granulação dos sedimentos e composição da fração arenosa e dos teores de carbono.

4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Realizar a descrição e caracterização da distribuição sedimentar na plataforma interna e média adjacente à costa de Pernambuco;
- b) Analisar a distribuição às características composicionais da matéria orgânica sedimentar presente ao longo plataforma continental adjacente de Pernambuco;
- c) Associar as características composicionais da matéria orgânica, relacionada com a granulometria dos sedimentos e composição da fração arenosa, além dos teores de carbono, visando o estudo da sedimentação atual na área;
- d) Analisar a natureza, o comportamento e a provável origem desta matéria orgânica (obtida através da razão C/N e das razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$);

5 JUSTIFICATIVA

Realizando um levantamento histórico sobre as publicações referentes à plataforma continental de Pernambuco, os estudos envolvendo sua geodiversidade, são oriundos da década de 1960, publicadas por Zemruscki (1967), Coutinho & Moraes (1968), Kempf *et al.* (1968), Mabesoone & Coutinho (1970) e Kempf *et al.* (1970). Atualmente há trabalhos sendo desenvolvidos nas regiões de plataforma interna, sendo que apenas os desenvolvidos por Camargo (2016) e Oliveira (2016) abordam a parte geológica e o segundo enfoca na distribuição e caracterização da matéria orgânica sedimentar, carecendo de estudos complementares.

Correlato aos estudos sedimentares, temos a necessidade da caracterização da matéria orgânica depositada em sedimentos superficiais de áreas marinhas, visto que ela têm sido largamente utilizadas na correlação de diversos processos, tais como: produtividade de águas superficiais, aporte de materiais de origem continental para o oceano, dinâmica de massas d'água, variações temporais nos processos sedimentares, potencial de oxi-redução, índices de sedimentação, processos geoquímicos, processos diagenéticos, distribuição sedimentar (Muller & Suess, 1979; Intès & Le Loeuff, 1986; Buscail *et al.* 1995; Faganeli *et al.* 1994; Meyers, 1997 apud Barcellos, 2000). Desta forma tal estudo permite que se avalie as condições ambientais e as interferências antrópicas incidentes (TYSON, 1995).

É propósito desta tese realizar o mapeamento sedimentológico da Plataforma interna adjacente de Pernambuco propondo, analisar as características composicionais da matéria orgânica, relacionado com a granulometria dos sedimentos e composição da fração arenosa, além dos teores de carbonato, visando o estudo da sedimentação atual da área. Convém salientar que o estudo da matéria orgânica sedimentar para a região, poderia fornecer alguns subsídios preliminares para a análise do material de natureza antropogênica oriundo dos constantes processos de impactação ambiental que ocorrem na área, e sua expansão e potencial de retenção na plataforma continental interna adjacente. Estudos sobre a distribuição da matéria orgânica na plataforma continental de Pernambuco não foram, entretanto, realizados até o presente momento. Espera-se que com a análise das características da matéria orgânica, será possível verificar o potencial de exportação e retenção de material em determinados pontos da plataforma interna, reflexo da influência do aporte continental de material.

6 RESULTADOS

Os resultados dessa tese foram divididos em três artigos abordados o estudo sedimentar atual e distribuição da matéria orgânica sedimentar e os aspectos batimétricos na plataforma continental de Pernambuco, estruturado em formato de artigos científicos.

6.1 CARTAS SEDIMENTOLÓGICAS DA PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA E MÉDIA DE PERNAMBUCO, NE BRASIL

Artigo aprovado na qualificação, submetido à revista *Regional Studies in Marine Science*.

Maria Cristina da Silva Sales de Melo, Roberto Lima Barcellos, Liza Ellen Eurico de Oliveira, Valdir do Amaral Vaz Manso

RESUMO

Publicações que descrevam a sedimentologia de setores da plataforma continental do Nordeste brasileiro são escassos, bem como são inexistentes artigos de caráter regional que tratam da sedimentologia e topografia de toda a extensão da Plataforma Continental de Pernambuco - PCPE (8°S/35°W). No intuito de cobrir esta lacuna, o presente artigo tem como objetivo evoluir os conhecimentos sobre a sedimentologia da plataforma continental interna e média de Pernambuco, abrangendo a composição e distribuição dos sedimentos, associando-os aos aportes, hidrodinâmica e fisiografia da região. A metodologia foi empregada por meio de análises de dados batimétricos e sedimentares (granulação, teores em carbonato de cálcio e matéria orgânica total) e a elaboração de mapas georreferenciados de distribuição dos parâmetros e de fácies sedimentares. A PCPE abriga compartimentos de relevo tais como: bancos de rochas de praias e de recifes de corais, vales incisos e paleolinhas de costa. Apresenta a predominância de sedimentos areno-cascalhosos bioclásticos, pobremente selecionados com baixos teores orgânicos, além da presença de ao menos quatro outras fácies sedimentares distintas: cascalhos bioclásticos, areias siliciclásticas, margas e lamas calcárias. Observam-se particularidades na sedimentação mista entre os setores norte, central e sul da plataforma, com gradiente transicional de sedimentos siliciclásticos na plataforma interna, que passam a carbonato-siliciclásticos e carbonáticos na plataforma média, além da presença de lamas junto à foz dos rios e em paleovales na plataforma, associados à Água Costeira (AC).

As informações aqui geradas quando associadas a outros parâmetros ambientais, servirão suporte para outros estudos de cunho oceanográfico que venham a ser desenvolvidos na área.

Palavras chave: Plataforma continental; Sedimentologia; Matéria orgânica; Nordeste do Brasil; Pernambuco.

Introdução

A plataforma continental, de acordo com a classificação de Heezen *et al.* (1966), é uma província fisiográfica, definida como a extensão submarina da margem continental. As margens continentais passivas, apresentam um relevo aplainado, com declividade (1:1000) iniciando desde a área de praia, até a variação abrupta da inclinação, o que caracteriza a quebra da plataforma continental. Nessas regiões há a presença de feições topográficas negativas, como paleovales fluviais; neutras, como terraços de abrasão por ondas; e positivas, como antigas linhas de praia e campos de paleodunas submersos (Amthor & Friedman, 1992; Baptista Neto *et al.*, 2004; Gomes & Vital, 2010). E embora apresentem apenas 8,91% das feições do assoalho marinho, são nelas em que se realizam diversas atividades de importância econômica aos seres humanos, como transporte, pesca, pesquisas e exploração de gás, petróleo e granulados marinhos (Harris *et al.*, 2014). As feições geológicas e relevos observados nas plataformas de margens do tipo passivas, como a da costa do nordeste brasileiro, são regidas pelas variações eustáticas quaternárias associadas aos aportes sedimentares, espaços de acomodação e à circulação costeira e oceânica (Dominguez, 2009).

As oscilações do nível médio do mar durante os períodos glaciais expuseram total ou parcialmente a plataforma aos processos erosivos fluviais e subaéreos, associados ao aporte e erosão de material, promovidos pelos cursos hídricos costeiros. Desta forma, o relevo de fundo atual é produto das variações erosivas e deposicionais, intimamente ligadas à série de regressões e transgressões marinhas quaternárias, associadas às épocas de glaciação e deglaciação global. A sedimentação da plataforma continental do Nordeste reflete a geologia, clima, drenagem e ambiente tectônico, sendo caracterizada por sua reduzida largura, pouca profundidade e predominância de sedimentos carbonáticos (Martins & Coutinho, 1981; Vital *et al.* 2005; Conti, 2009; Conti & Furtado, 2006; Blum *et al.*, 2013; Harris *et al.*, 2014; Camargo *et al.*, 2015).

Como reflexo de toda a dinâmica que ocorre na plataforma continental, há o material sedimentar, cuja natureza predominante do aporte de componentes, marinhos ou terrígenos,

formam depósitos inorgânicos e orgânicos, decorrentes do transporte hidrodinâmico local condicionado pela topografia de fundo. Esses depósitos sedimentares superficiais de fundo são acumulados de maneira não consolidada e trazem consigo registros sobre os ambientes costeiros e plataformais submersos associados, por meio de sua textura, maturidade, composição e distribuição espacial (Thurman, 1997; Ponzi, 2004; Garrison, 2010).

Referente à Plataforma Continental de Pernambuco (PCPE), os primeiros estudos realizados sobre a geodiversidade associados à composição sedimentar datam de meados do século XX, estimulados pela prospecção dos recursos pesqueiros existentes em toda costa (Giulietti & Assumpção, 1995). Desde este período os trabalhos desenvolvidos por Zemruscki (1967), Kempf (1967; 1970), Mabeoone & Coutinho (1970), Coutinho (1976) e Martins & Coutinho (1981); ainda constituem a base de dados topográficos e sedimentológicos publicados para descrição da PCPE, tal como os trabalhos realizados por Chaves (1991), Manso *et al.* (1995), Coutinho (1996), Manso *et al.* (2003), Araújo *et al.* (2004) e Manso *et al.* (2004), Camargo *et al.* (2007), (Almeida & Manso, 2011) e Camargo *et al.* (2015).

Portanto, são escassas publicações que descrevam a sedimentologia de setores da plataforma, bem como são inexistentes artigos de caráter regional que tratam da sedimentologia e topografia de toda a extensão da PCPE até o presente momento. E essa carência de informações dificulta o estabelecimento de políticas públicas e estratégias governamentais relativas à utilização de recursos naturais bióticos e abióticos da plataforma continental (Freire *et al.*, 2002 apud Vital *et al.*, 2005). Desta forma, o presente artigo tem como objetivo evoluir os conhecimentos sobre a sedimentologia da plataforma continental interna e média de Pernambuco (NE, Brasil), abrangendo a composição e distribuição dos sedimentos até 40m de profundidade, associando-os aos aportes, hidrodinâmica e fisiografia da região.

Área de Estudo

A PCPE é composta pela combinação da bacia sedimentar marginal da Paraíba, que se estende até a região do Porto do Recife (PE), e da bacia Pernambuco, que encerra no Alto do Maragogi. As duas bacias têm como divisor o Lineamento de Pernambuco e a estratigrafia rasa na região costeira apresenta rochas sedimentares do Neógeno, compostas pelas unidades estratigráficas Formação Cabo (conglomerados, arenitos e siltitos argilosos); Formação Barreiras (arenitos e conglomerados); Formações Maria Farinha, Gramame e Estiva

(calcários); Formação Itamaracá (arenitos transicionais); e Formação Algodoads (conglomerados com seixos de tufos/rochas vulcânicas) que foram depositadas em ciclos regressivo-transgressivos iniciados no Neocampaniano, estendendo-se até o Holoceno (Dominguez *et al.*, 1990; Barbosa & Lima Filho, 2006; Córdoba *et al.*, 2007; ANP, 2013). A evolução desse processo formou o sistema costeiro-plataforma-talude-bacia para a PCPE e foi observado em outros setores da plataforma continental do NE como no Rio Grande do Norte (Gomes & Vital, 2010). Está situada entre os paralelos 07°32' e 08°55' de latitude Sul e os meridianos 34°49' e 35°09' de longitude Oeste. Apresenta 187 km de comprimento, atingindo até 35km de largura, apresentando um relevo raso, aplainado e com quebra da plataforma à 65m de profundidade em média (Passavante & Feitosa, 1995; Baptista Neto *et al.*, 2004; Manso *et al.*, 2006; Domingues *et al.*, 2017).

O presente artigo abrange a plataforma interna e parte da média segundo a subdivisão de Coutinho (1996). De acordo com essa classificação elaborada com base na topografia e sedimentos, a plataforma interna se estende até a isóbata de 20m de profundidade alcançando até os 6km de largura apresentando, em geral, sedimentos siliciclásticos arenosos e relevo suave, no entanto com irregularidades devido à presença de canais e das rochas de praia que servem de substratos ao desenvolvimento de algas e corais. A plataforma média atinge até os 40m de profundidade com largura média de 21km, apresentando caráter bioclástico e relevo bem mais irregular, com presença de canais representativos e paleovales, formados a partir da dissecação da plataforma quando exposta em épocas pretéritas. A plataforma externa (40 a 60m) com cerca de 7km de largura, se caracteriza pela presença de feições erosivas representados por ravinas, vales e cristas dispostos perpendicularmente à costa, de uma plataforma carbonática exposta subaereamente, quando a sedimentação subsequente não foi suficiente para recobri-la. A plataforma externa apresenta uma ruptura múltipla em degraus, correspondendo a terraços de borda de plataforma com cânions associados.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima é As', tropical quente e úmido com chuvas durante o outono e inverno, média térmica de 27°C (Nimer, 1979; Eskinazi-Leça *et al.*, 1997; Manso *et al.*, 2006). A precipitação média é de 2050 mm, estando susceptíveis às variações decorrentes da influência do El-Niño (Manso *et al.* 2006; Kayano & Andreoli, 2007; Ramos, Santos, Fortes, 2009; Domingues *et al.*, 2017).

A temperatura média da água é de 27,8°C, permanecendo constante até a profundidade de 50m, coincidindo com a quebra da plataforma (Manso *et al.*, 1992; Muehe, 2006; Manso *et*

al., 2006). A salinidade média é de 33,0, onde já foram observados teores de 37,2 no período seco e 28,9 no período chuvoso. Tais oscilações decorrem de acordo com os aportes hídricos sazonais, onde devido ao clima semiárido no interior, os rios não possuem grandes vazões. Apenas as bacias translitorâneas como os rios Goiana, Capibaribe, Ipojuca, Sirinhaém e Una conseguem manter uma vazão constante durante o ano, sendo que no caso do Capibaribe esse processo é mais perene devido aos emissários de origem antrópica descarregados em toda bacia (Manso *et al.*, 1992; Manso *et al.*, 2006; Oliveira *et al.*, 2014; Domingues *et al.*, 2017). A região é submetida a um regime de mesomaré, variando entre 0,7 m e 2,5 m nos períodos de quadratura e sizígia respectivamente, com 99,7% de influência astronômica (Lira, 1997; Manso *et al.*, 2006; Frota *et al.*, 2016).

Os ventos dominantes são de E-SE, com velocidade média entre 3 a 5m/s (Pereira *et al.*, 2005). E as ondulações de SE-SSE com altura e período acima de 1,6m/10seg são comuns do outono à primavera, enquanto que vagas de E-ESE (0,8m/6seg) predominam de novembro a março (Hoflich, 1984; Manso *et al.*, 2006). A corrente marinha atuante na PCPE é a Subcorrente Norte do Brasil, oriunda da bifurcação da Corrente Sul-Equatorial, com águas quentes e salinas do Oceano Tropical Atlântico Sul, com sentido predominante NNE, paralelo à linha de costa e velocidade média de 0,11m/s no inverno, enquanto que no verão apresenta sentido inverso (SSW) e baixa velocidade (0,06m/s) (Domingues *et al.*, 2017).

Um dos principais traços morfológicos da área de estudo é a presença de linhas de beachrocks paralelos à linha de costa, associados às variações eustáticas do Quaternário, onde se pode observar a presença de tais formações em distintas profundidades, podendo representar antigas praias ou terraços de abrasão por ondas associados a períodos de estabilização do nível do mar. Estas feições atuam atualmente como retentores de material terrígeno, substratos para as algas e protegendo a costa das ondas (Kempf, 1970; Camargo *et al.*, 2015).

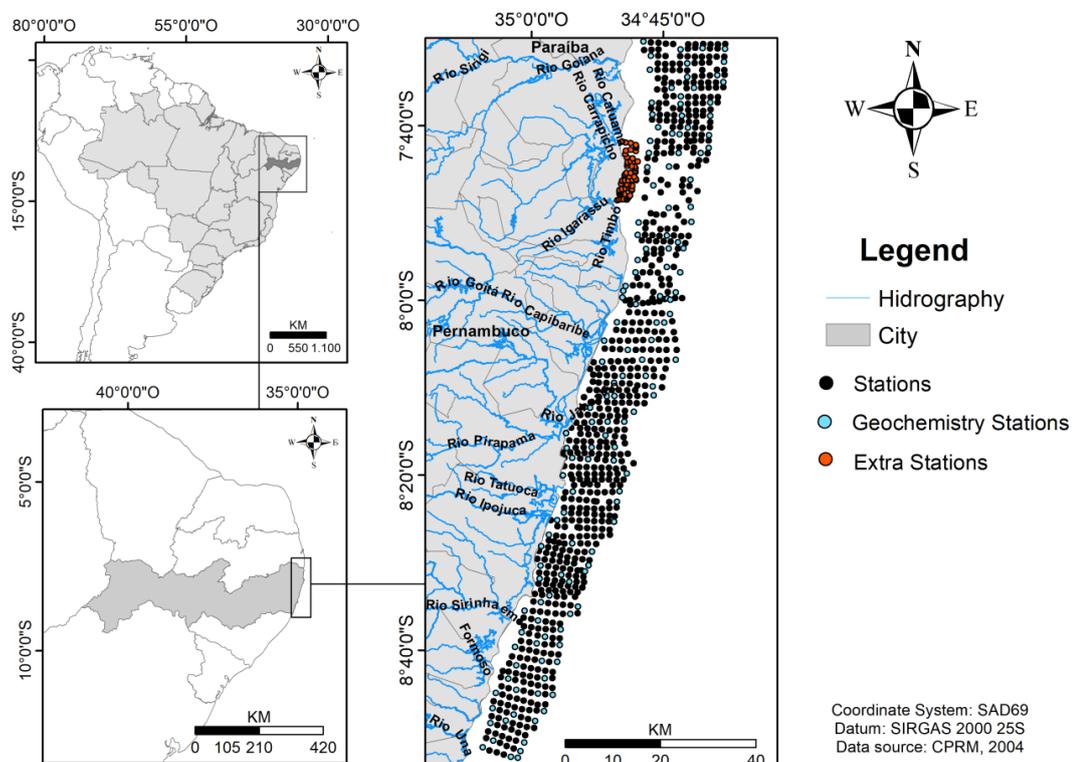
O baixo aporte hídrico promoveu uma plataforma faminta de sedimentos terrígenos, associada à baixa profundidade e a uma camada fótica clara, faz com que o ambiente seja predominantemente recoberto por material carbonático areno-cascalhoso, uma característica inerente a plataformas tropicais rasas, condição favorável especialmente para algas calcárias, com ênfase nos gêneros *Melobesia*, *Lithothamnium*, *Halimeda* e *Udotea*, porém com presença inexpressiva de corais (Kempf, 1967; Laborel, 1967; Coutinho e Moraes, 1970; Dominguez *et al.*, 1990; Manso *et al.*, 2003; Camargo *et al.*, 2015). Os sedimentos terrígenos são, em geral,

palimpsestos e sua composição siliciclástica sugere que no Pleistoceno o clima seria similar ao atual (Vital *et al.*, 2005).

Material e Métodos

Neste estudo foram analisados dados de amostras de sedimentos superficiais de fundo coletados e tratados pelo “Projeto GRANMAR Brasil”, subprojeto “Avaliação do potencial mineral dos granulados marinhos no litoral do Brasil – PE/CE” da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2018). As amostras foram coletadas em cruzeiros oceanográficos ao longo do ano de 2004, cobrindo uma área de aproximadamente 2.500 km² da PCPE (CPRM, 2018). O projeto GRANMAR disponibilizou os dados da análise granulométrica (diâmetro médio, grau de seleção, percentual de cascalho, areia, lama, e diagrama de fácies texturais de Folk (1954)), descrição visual e os dados batimétricos da PCPE com base em 856 pontos de coleta distribuídos em 107 perfis perpendiculares à linha de costa (figura 1). Os perfis foram espaçados de 1 em 1 milha náutica (1853 m) até aproximadamente as isóbatas de 30 e 40 m de profundidade, mapeando toda a plataforma interna e parte da plataforma média da PCPE.

Fig. 1. Distribuição dos pontos de coleta na área de estudo com destaque nos pontos extras para complementar a malha batimétrica.



Os dados das 856 amostras superficiais disponibilizadas foram coletados por uma draga do tipo “Van Veen” e analisados segundo os métodos descritos em Suguio (1973) com

tratamento estatístico de Folk (1954), Folk & Ward (1957) e Larssonneur (1977). Com os dados topográficos disponibilizados e mais 64 estações extras, oriunda da base de dados do Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha (LGGM), confeccionou-se um mapa batimétrico com intervalo de 5 m em 5 m até 40 m de profundidade da PCPE. Esta mesma base de dados de 920 amostras foi utilizada para a confecção dos mapas de distribuição dos parâmetros sedimentares tais como: os percentuais de cascalho, areia e lama, Folk (1954) e Folk & Ward (1957).

Como os dados de carbonato de cálcio (CaCO_3) do GRANMAR eram qualitativos, por verificação visual em lupa, foram realizadas análises dos conteúdos de CaCO_3 e, paralelamente, de matéria orgânica total (MOT), como parâmetros ambientais geoquímicos auxiliares. Estes proxies são empregados como indicativos de influência marinha na sedimentação, no caso do CaCO_3 (Paraopkari *et al.*, 1991) ou da magnitude dos aportes de material e da dinâmica de fundo, no caso da MOT (Meyers, 1997). Desta forma, para as análises de matéria orgânica e carbonato foram selecionadas 140 amostras distribuídas de modo a abranger e representar espacialmente a área de estudo. Os teores de CaCO_3 e de MOT foram mensurados pela diferença em peso seco aferido em balança semi-analítica, do material antes e após ataque de HCl e H_2O_2 , respectivamente, a 10%, de acordo com a metodologia descrita por Carver (1971). Os teores de CaCO_3 foram classificados de acordo com a descrição de Larssonneur *et al.* (1982).

A confecção dos mapas de distribuição dos parâmetros geoquímicos, além dos tratamentos estatísticos empregados: análise de agrupamento, componentes principais (PCA) e correlação de Spearman (r_s), foram realizados para a interpretação e discussão integrada dos resultados obtidos, a partir das 140 amostras selecionadas, gerando os mapas de CaCO_3 , MOT, fácies sedimentares, classificação de fácies adaptado de Larssonneur (1977) e a figura da PCA. Com vistas à padronização do mapa faciológico as amostras foram tratadas por meio do software Sysgran (Camargo, 2006) que classifica os sedimentos de acordo com Folk (1954), Folk & Ward (1957) e Larssonneur (1977). A classificação textural aqui empregada foi a de Vital *et al.* (2005, 2008), com base em Larssonneur (1977), substituindo-se o termo litoclástico por siliciclástico devido à origem das partículas de fragmentos de rochas e minerais silicáticos locais (argilitos, arenitos e conglomerados), portanto mais apropriado para a cobertura sedimentar da plataforma NE do Brasil. Essa adaptação da classificação de Larssonneur (1977) é também adequada no que se diz respeito à predominância regional de depósitos carbonáticos, formados por uma mistura biogênica/biodetrítica, constituída principalmente

por fragmentos de algas calcárias, moluscos, foraminíferos, briozoários, ostracodes e corais que ocorrem em maior abundância nesta região plataformal brasileira.

Resultados e Discussão

Morfologia de Fundo

Os resultados apresentados relativos à morfologia foram interpretados de acordo com o que a pequena escala e detalhe permitiram visualizar, traduzidas na forma de uma carta batimétrica em escala regional.

Por meio do mapa batimétrico elaborado (figura 2), é possível identificar o comportamento relativamente paralelo à linha de costa das isóbatas ao longo de toda a plataforma continental pernambucana. A carta como um todo revela em linhas gerais um ambiente marinho que apresenta a fisiografia de plataforma continental plana, rasa e estreita (até aproximadamente 18 km, atingindo a isóbata de 40 m). O talude se encontra mais a offshore da carta, estando à linha de quebra de plataforma posicionada a cerca de 60 m de profundidade a aproximadamente 33 km do continente (Araújo *et al.*, 2004; Camargo *et al.*, 2015). Em toda extensão da plataforma, na porção próxima à linha de costa, encontra-se um maior declive que é característico, constante e que marca o gradiente de passagem da porção emersa para o ambiente de plataforma em si, tal qual na plataforma interna da costa do Estado do Ceará (Almeida & Manso, 2011). Isto pode ser observado na figura 2 que também ilustra os perfis batimétricos perpendiculares ao litoral efetuados e que foram utilizados na descrição da morfologia regional.

As principais feições submarinas observadas sobre a PCPE na escala do mapa são os bancos de rochas de praia (beachrocks) e os vales incisos. Nota-se que a distribuição das isóbatas são irregulares ao longo de toda a plataforma, com espaçamento variável apresentando padrões franjados e de diferentes amplitudes. Na porção mais ao Norte, é possível identificar a presença de todas as isóbatas até a profundidade em torno de 30-35 m, revelando uma morfologia com um declive suave e uma plataforma mais rasa e larga (perfis A1 a A4). Este comportamento se altera e é mais perceptível, nas proximidades do complexo industrial portuário de Suape, ao centro-sul da PCPE, próximo ao estuário do rio Ipojuca. O qual ainda apresenta uma plataforma interna mais profunda (15-20 m), com ausência de isóbatas de 5 m, 10 m e 15 m (perfis D1 e D2). Ainda na porção mais ao Sul, adjacente ao estuário do rio Sirinhaém, é possível observar uma região com a maior profundidade de toda a plataforma estudada (35-40 m), marcando um trecho de transição da plataforma média para a

externa, associado ao paleovale de Campas (perfil E) distando apenas 16 km da costa (Camargo *et al.*, 2015).

A configuração das isóbatas indica, também, a existência de feições positivas, localizadas na porção centro-norte da PCPE próxima ao rio Goiana e feições negativas ao longo de toda a plataforma continental geralmente orientadas no sentido NW-SE.

As feições positivas ocorrem paralelas à costa e são compostas por bancos arenocascalhosos de algas calcárias que se estendem do limite norte da carta às adjacências da Ilha de Itamaracá, associados aos beachrocks submersos.

Essas feições estão bem destacadas nos perfis A1 e A3 com relevos positivos associados a linhas de rochas de praia a 16 e 22 m de profundidade, sendo também registrados de forma mais suavizada nos perfis A2, A4, B1, B2, C1, C2, D2 e F. Têm sua formação relacionada a períodos pretéritos, nos quais o nível do mar era mais baixo que o atual. E correspondem antigos níveis de estabilização do nível do mar associados a paleopraias e terraços de baixa-mar/abrasão por ondas, que foram litificados e ficaram preservados durante o processo de transgressão do pleistoceno superior para o Holoceno.

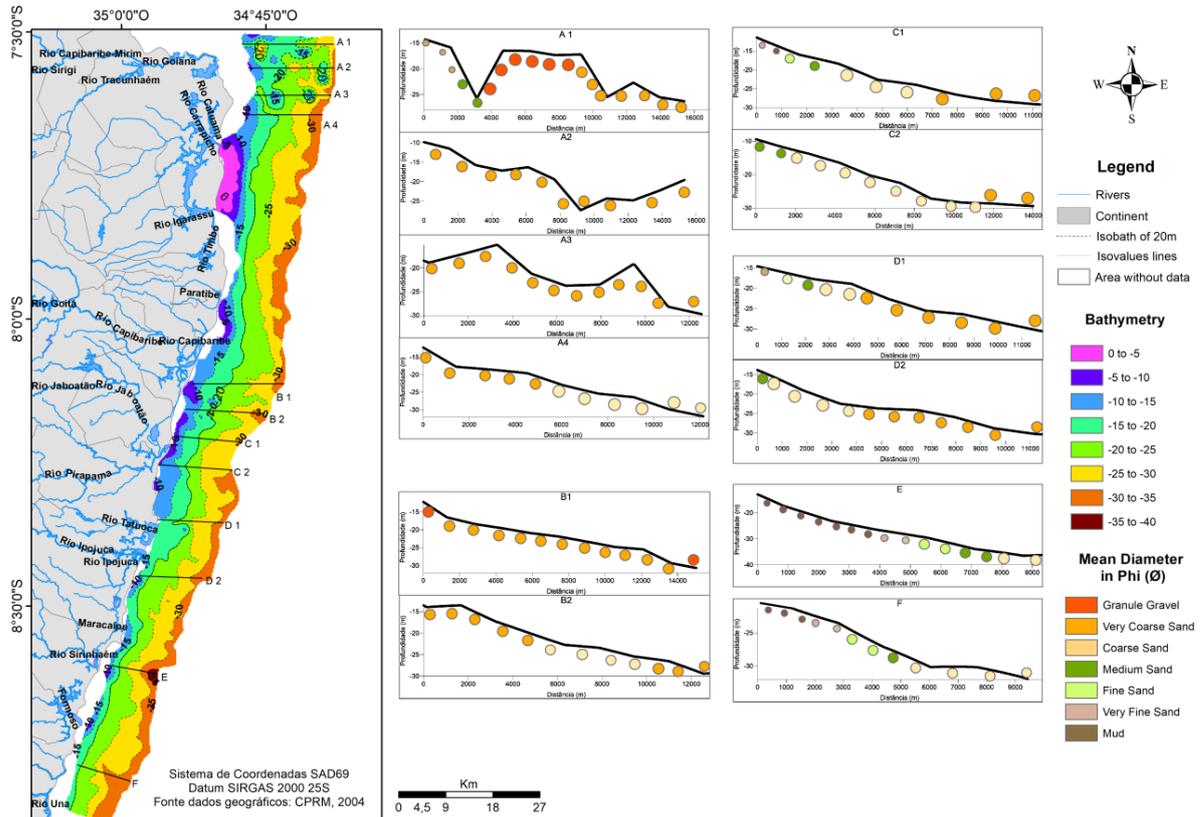
A ocorrência de rochas de praia junto às isóbatas de 16, 22 e 25 m já descrita por outros autores para a plataforma continental do Nordeste (Camargo *et al.*, 2007; Vital *et al.*, 2005; Gomes & Vital, 2010).

E encontra correspondência direta como o nível de estabilização de 20 m de profundidade observado na costa Sudeste e Sul do Brasil, na forma de terraços de abrasão por ondas, conforme descrito por Conti & Furtado (2006) e Corrêa (1996), para as plataformas dos Estados de São Paulo e Rio Grande do Sul, respectivamente.

As feições morfológicas negativas que se destacam na carta são os vales incisivos que cortam a plataforma continental, em geral, no sentido NW-SE, destacando-se os seguintes: a) três paleovales associados ao rio Goiana (perfis A2, A3 e A4), sendo o do perfil A4 o mais destacado representado por uma inflexão para NNW da isóbata de 20m; b) duas feições associadas ao sistema estuarino do rio Capibaribe (perfis B1 e B2), sendo a mais ao norte denominada de canal de Olinda (DHN, 2003); c) um paleovale associado à bacia dos rios Jaboatão-Pirapama (perfil C2); d) dois vales incisivos relacionados ao delta intralagunar do rio Ipojuca, o perfil D1 associado canal dragado do porto de Suape e o perfil D2 mais ao sul; e) o paleovale de Campas e porção proximal do cânion no perfil E, associado aos rios Sirinhaém e

Formoso (Camargo *et al.*, 2015); f) e o paleovale associado à bacia do rio Una (perfil F) (Barcellos *et al.*, 2013). Esses vales incisos descritos se destacam na carta elaborada apenas na plataforma média, com exceção dos paleovales associados aos sistemas dos rios Goiana, Capibaribe e Ipojuca que são observados também na plataforma interna.

Fig. 2. Mapa batimétrico da área de estudo, com a localização dos perfis topográficos perpendiculares à costa.



Fonte: autor (2019)

Essas áreas de vales marinhos submersos foram objetos de estudo de diversas pesquisas na plataforma continental brasileira (Corrêa, 1996; Vital *et al.*, 2010; Dominguez *et al.*, 2013), pois apresentam a capacidade de serem criadas condições de baixa dinâmica de correntes, por se tratarem de depressões da ordem de metros a dezenas de metros, propícias para retenção do material sedimentar fino, da matéria orgânica e demais poluentes inerentes (Cramp *et al.* 1987; Granata *et al.* 1999; Liu *et al.*, 2002). Estes vales foram amplamente estudados em áreas com grandes aportes sedimentares, estimulados pela exploração de petróleo (Dalrymple *et al.*, 1994; Gutierrez *et al.*, 2003; Mitchell *et al.*, 2007; Bellec *et al.*, 2009), excluindo dessa gama todos os vales oriundos das regiões de plataformas famintas como a PCPE (Camargo *et al.*, 2015). Foi observado que durante o período de transgressão marinha, estas feições nas plataformas de RS e SP

serviram como ponto de depósito de material orgânico sedimentar e finos que preencheram as depressões (Weschenfelder *et al.*, 2008; Conti e Furtado, 2009). Enquanto que as plataformas do Nordeste, com pouco aporte de sedimento terrígenos, continuaram com suas feições negativas preservadas entre os 25m até a quebra da plataforma, o que associou que as partes mais rasas na plataforma interna foram modificadas pelos arenitos que marcavam os períodos de estabilização do nível do mar (Manso *et al.*, 2003; Michelli *et al.*, 2001; Camargo *et al.*, 2003).

Caracterização Sedimentológica

Cascalho

Os teores de cascalho (figura 3) variaram entre 0,0% a 100%, prevalecendo teores entre 40% e 60%. Os maiores percentuais, entre 60% e 80%, estão concentrados em três pontos na plataforma interna: nas adjacências do rio Goiana, até a isóbata de -25 m; entre os rios Paratibe e Jaboatão; e na região dos rios Tatuoca e Ipojuca (porto de Suape). E na plataforma média ao largo do rio Capibaribe (porto do Recife) e nas isóbatas entre -25 m e -35 m, com a presença de material com teores entre 40% a 60% de cascalho. Teores abaixo de 20% coincidem com os locais com maior presença de material argiloso.

Areia

Os teores de areia (figura 4) variaram entre 0,0% a 99,1% com predominância de teores entre 40% e 60% de areia ao longo da área de estudo. Os maiores teores observados, acima de 80%, ocorrem no litoral central junto à região costeira entre os rios Pirapama e Tatuoca, corroborando Manso *et al.* (2004) que indicaram a existência de uma jazida de granulados arenosos siliciclásticos nesta área. Ocorrem também na plataforma média, entre as isóbatas de 25m a 35m, com teores entre acima de 60%, localizados em uma grande mancha na região centro-norte da PCPE que se estende do rio Capibaribe ao rio Catuama, e dois outros pequenos núcleos ao largo dos rios Sirinhaém e Una.

Fig. 3 . Mapa de distribuição dos percentuais de cascalho.

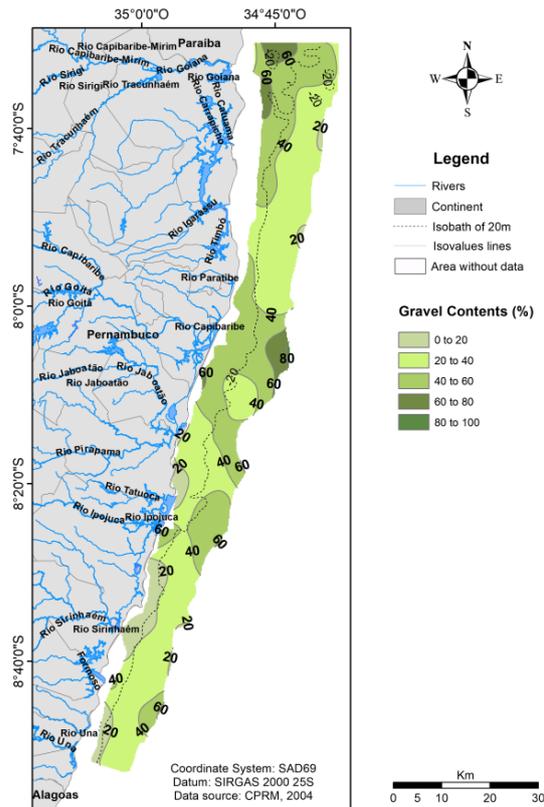
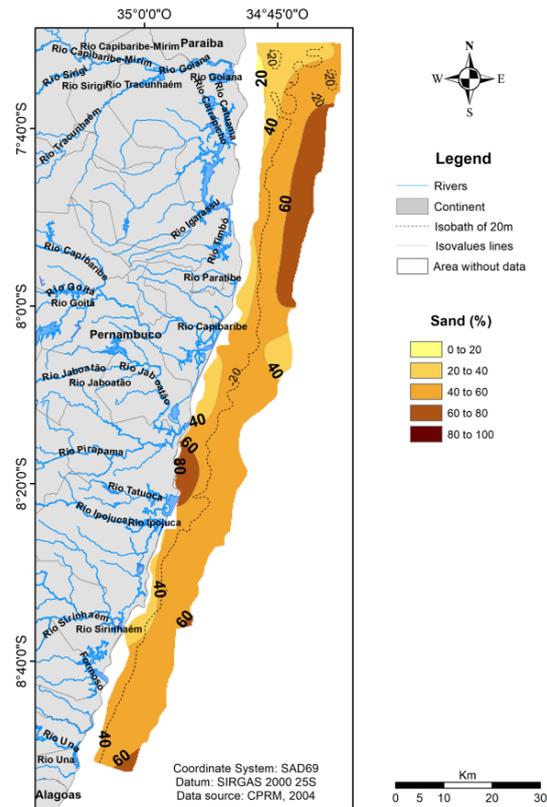


Fig. 4 . Mapa de distribuição dos percentuais de areia.



Fonte: Autor (2019)

Teores abaixo de 40% ocorrem, em sua maioria, na plataforma interna em manchas distribuídas ao longo da área de estudo, como nas adjacências dos rios Goiana, Paratibe, Jaboatão, Maracáipe e Sirinhaém. E na plataforma média entre as isóbatas de 25m e 30m de profundidade, ao largo da região de influência do rio Capibaribe. De acordo com Manso *et al.* (2006), o material arenoso observado até a isóbata de 20m, decorre do aporte de material terrígeno das bacias de drenagem e dos processos erosivos que ocorrem na linha de costa, carregando um material quartzoso para plataforma interna. Coutinho *et al.* (1970) afirmam que o material arenoso presente na região é composto pelas associações terrígenas, as lamas modernas e areias, em geral reliquias (palimpsestos), com o material carbonático autóctone presente em toda área de estudo.

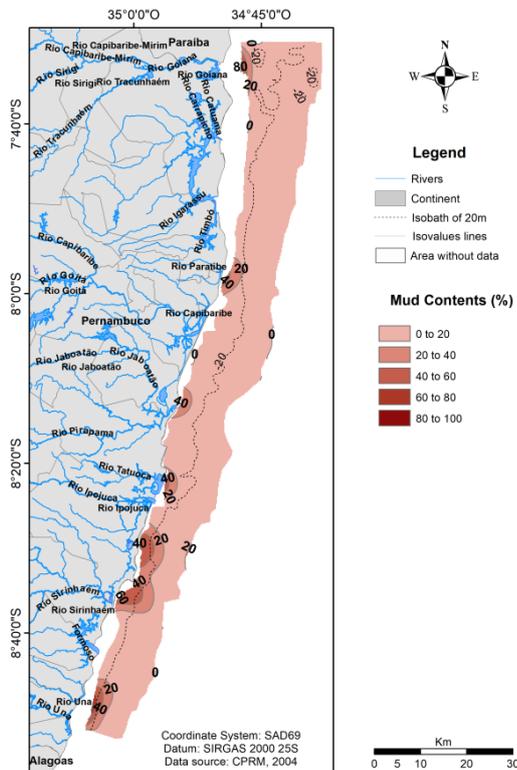
Lama

Os teores de lama variaram de 0,0% a 100,0% nas amostras coletadas na PCPE predominando, entretanto, conteúdos abaixo dos 20% de material lamoso. Com base no mapa de distribuição dos teores de lama (figura 5) é possível observar que estes ocorrem exclusivamente na plataforma continental interna e que os maiores teores, acima de 80%,

concentraram-se nos setores adjacentes às desembocaduras dos rios Goiana e Una. Enquanto que junto às desembocaduras dos rios Paratibe/Capibaribe, Jaboatão, Tatuoca, Maracaípe e Sirinhaém os teores variam entre 20% e 80%, decrescendo à medida que se afastam da linha de costa.

As regiões de desembocaduras as quais estão concentrados os teores de lama acima de 20%, encontram-se também associadas a feições morfológicas como canais, sejam estes entre as linhas de beachrocks ou em paleovales fluviais. De acordo com Coutinho *et al.* (1994; 1996) e Manso *et al.* (2006), o baixo aporte hídrico, ocasionado pela baixa precipitação em decorrência do clima, dificulta o carregamento de material sedimentar para a região costeira adjacente, na qual o material em suspensão encontra-se em média, abaixo dos 0,5mg/l, atingindo até 4,5mg/l durante o inverno na plataforma interna adjacente à cidade de Recife (rio Capibaribe). Porém, parece ocorrer uma concentração dos teores finos associadas às regiões de relevo deprimido, reiterando o que afirma a literatura, que o material terrígeno tende a ficar retido nestas feições em decorrência da topografia negativa e consequente menor hidrodinâmica (Cramp *et al.* 1987; Granata *et al.* 1999; Liu *et al.*, 2002), associado ao aporte da Água Costeira (AC) no inverno (Domingues *et al.*, 2017).

Fig. 5. Mapa de distribuição dos percentuais de lama.



Fonte: Autor (2019)

Carbonato de cálcio (CaCO₃)

Os teores de CaCO₃ variaram de 13,0 a 99,6%, com a alta média de 80,3%. O mapa de distribuição do carbonato de cálcio (figura 6) indica que sedimentos bioclásticos e biosiliciclásticos (CaCO₃ > 50%), com base na classificação de Larssoneur *et al.* (1982), predominam em toda PCPE, em especial em sua porção centro-norte e sul, a partir do rio Maracaípe em direção a APA Costa dos Corais (ICMBIO, 2018). Sedimentos siliciclásticos e silicibioclásticos são encontrados na plataforma interna adjacente aos estuários do Capibaribe/Paratibe, Tatuoca e Maracaípe e na plataforma média ao largo do Porto de Suape (Rio Tatuoca).

Matéria Orgânica Total (MOT)

Os teores de MOT variaram de 0,20 a 9,30%, com média de 2,72% e predominando valores entre 1,0 e 2,0%, sendo em geral baixos e típicos de plataformas continentais expostas (Rashid, 1985; Furtado *et al.*, 2008). O mapa de distribuição da MOT (figura 7) apresenta um padrão relativamente similar ao do CaCO₃, no qual as maiores concentrações (> 3,0%) ocorrem da porção central da PCPE em direção ao norte e no setor sul a partir do rio Maracaípe até seu limite sul. Manchas com concentrações acima de 4,0% estão presentes adjacentes às desembocaduras do sistemas estuarinos dos rios Capibaribe e Paratibe, bem como na plataforma interna do rio Goiana.

Na porção centro-sul da PCPE são observados teores de MOT abaixo de 2,0%, sedimentos siliciclásticos junto à costa do rio Tatuoca (porto de Suape). Neste setor a plataforma interna muito é estreita (3km) devido à presença do cabo de Santo Agostinho que se destaca 2km mar adentro em relação à linha de costa (DNH, 2003). Os baixos teores orgânicos e a menor preservação do CaCO₃, seriam indicativos de uma maior energia hidrodinâmica de correntes a que este setor se encontra submetido, o que pode ser condicionado pelas profundidades maiores, muito próximas da costa, desta porção da plataforma. Domingues *et al.* (2017) afirmam que a hidrodinâmica se modifica de acordo com a morfologia local, o que interfere nos fluxos existentes da Subcorrente Norte do Brasil.

Fig. 6. Conteúdos de Carbonato de Cálcio (CaCO₃ em %).

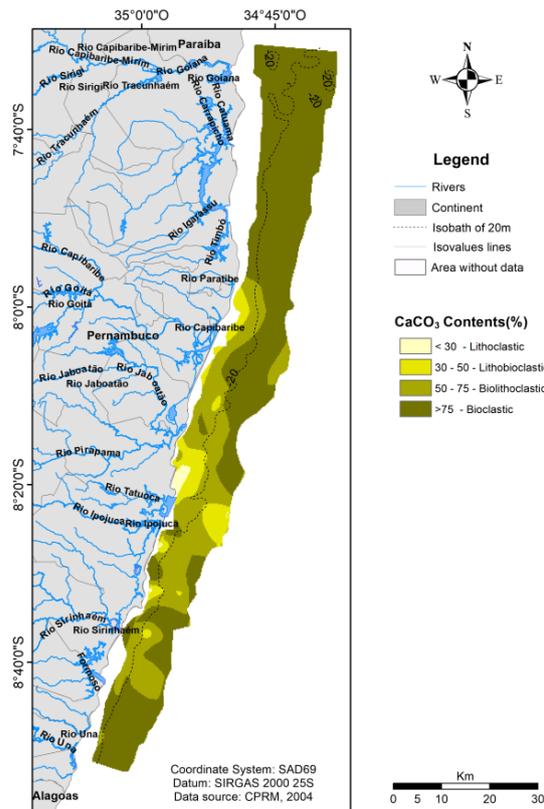
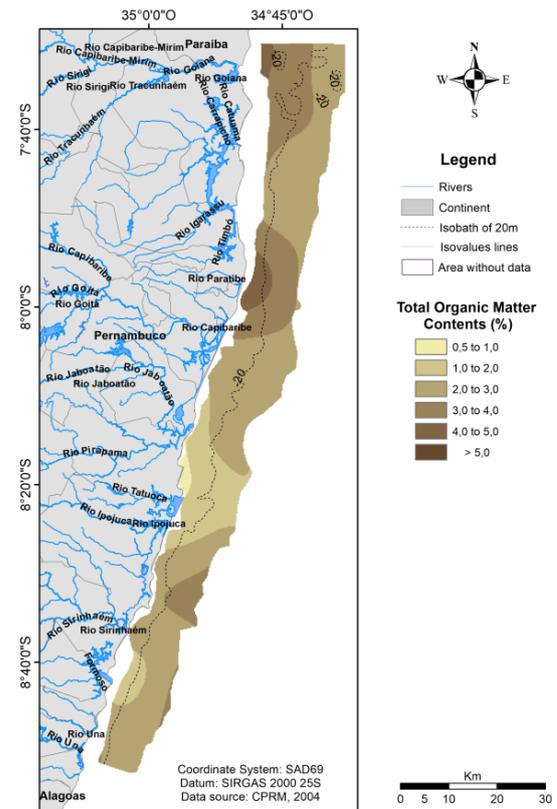


Fig. 7. Conteúdos de matéria orgânica total (em %).



Fonte: Autor (2019)

Distribuição dos sedimentos superficiais segundo o diagrama de fácies texturais de folk (1954)

De acordo com a classificação de Folk (1954) (figura 8) é possível observar a ocorrência de cinco fácies sedimentares: areia, areia cascalhosa, cascalho arenoso, areia lamosa e lama, com o predomínio da fácies areia cascalhosa em toda PCPE. As fácies lamosas estão presentes nas regiões adjacentes à linha de costa junto às desembocaduras dos rios Goiana, Paratibe, Jaboatão, Tatuoca, Una e em uma grande mancha entre os rios Maracaípe e Sirinhaém, já relatada por Manso *et al.* (2003). Enquanto que a fácies cascalho ocorre tanto na plataforma interna junto aos rios Goiana, Igarassu (Ilha de Itamaracá), Capibaribe, Pirapama e Ipojuca; quanto na média ao largo dos rios Goiana, Capibaribe, Ipojuca e Formoso.

Distribuição dos sedimentos superficiais de acordo com a classificação do diâmetro médio de folk & ward (1957)

No mapa de diâmetro médio (figura 9), observamos a distribuição do material sedimentar sob a classificação dos parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957). Ao relacionar a distribuição sedimentar com o mapa batimétrico, observou-se que a presença de sedimentos finos está associada às áreas próximas às desembocaduras dos rios, sendo mais

proeminente nas porções a leste das principais bacias de drenagem translitorâneas de Pernambuco: Goiana, Capibaribe, Jaboatão-Pirapama, Ipojuca, Sirinhaém e Una. A concentração dos teores finos nos vales incisos na plataforma reitera o que afirma a literatura, que o material terrígeno aportado, ao ser carregado pelas correntes de deriva litorânea e costeiras, tende a ficar retido nestas feições negativas do relevo submerso, bem como entre as linhas de rochas de praia submersas presentes na plataforma interna local (Kempf *et al.*, 1970; Cramp *et al.* 1987; Granata *et al.* 1999; Liu *et al.*, 2002; Vital *et al.*, 2005).

A combinação entre a areia e o cascalho promoveu uma cobertura sedimentar predominantemente composta por diâmetro médio areia grossa a muito grossa, principalmente do centro-sul ao norte da PCPE. Ao sul do rio Ipojuca predomina a fração areia grossa. De acordo com Coutinho *et al.* (1970; 1996) e o mapa de Potencialidade Mineral (CPRM, 2008), estas granulações decorrem principalmente do material carbonático que recobre a região. Tal distribuição corrobora com o baixo aporte de material em suspensão descrito por Coutinho (*et al.* 1994; 1996) e Manso *et al.* (2006), ocasionados pelo baixo aporte hídrico e sedimentar da região costeira adjacente.

Fig. 8. Classificação textural de Folk (1954)

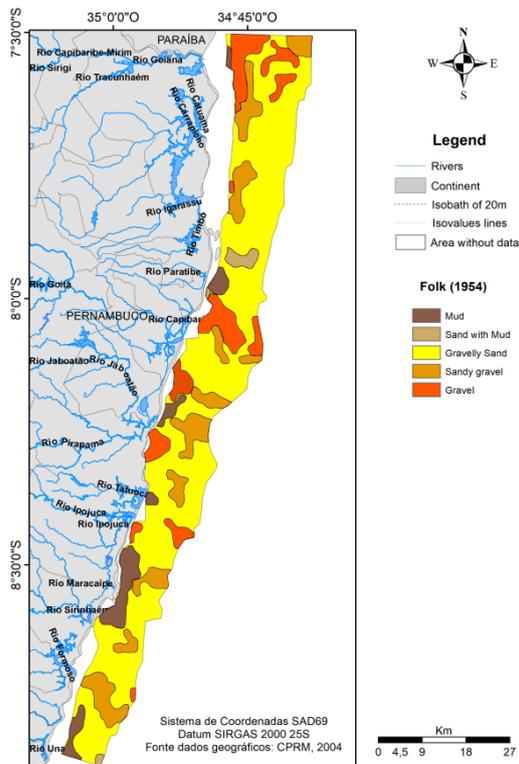
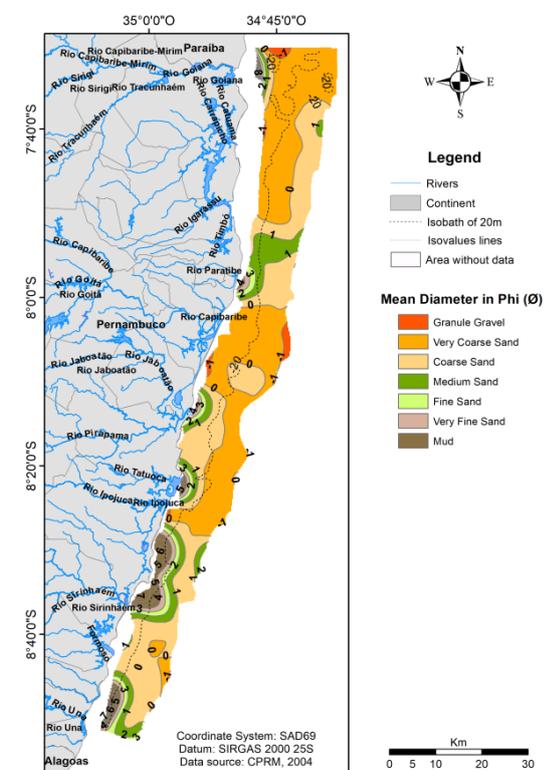


Fig. 9. Mapa de distribuição do diâmetro médio (Folk & Ward, 1957).



Fonte: Autor (2019)

Distribuição dos sedimentos superficiais de acordo com a classificação do grau de seleção de Folk & Ward (1957)

De acordo com o grau de seleção (figura 10) proposto por Folk & Ward (1957), a região apresenta sedimentos com o predomínio das classes pobremente e muito pobremente selecionados. O mapa indica, no geral, um padrão com decréscimo no selecionamento dos grãos da plataforma interna em direção a offshore, com sedimentos bem selecionados predominando junto à faixa costeira até a isóbata de -20 m na plataforma interna. Abaixo da isóbata de -20 m na plataforma média prevalecem os grãos moderadamente a muito pobremente selecionados. Segundo Sahu (1964) este comportamento espacial decorre das diferentes energias aplicadas no ambiente, estando relacionado com a combinação das correntes, aportes e fisiografia.

Distribuição dos sedimentos superficiais de acordo com a classificação de Larssoneur (1977)

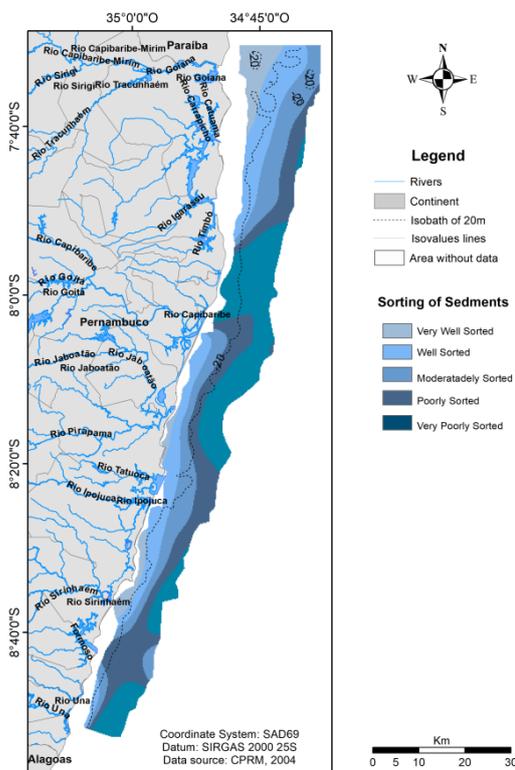
Para o material carbonático observado nas amostras da PCPE, foi utilizada a classificação de fácies sedimentológicas de Larssoneur (1977), empregando-se o termo siliciclástico para os sedimentos terrígenos. Com base nos autores citados, a classificação permitiu o reconhecimento de 12 classes distintas representadas na Figura 11 ao longo da PCPE.

O mapa revela um predomínio da fácies areia bioclástica com grânulos e cascalho em toda plataforma pesquisada. Areias siliciclásticas e Lamas terrígenas são encontrados na plataforma interna junto aos estuários do Capibaribe, Ipojuca e Sirinhaém. Há uma mancha de material terrígeno lamoso e litoclástico localizada adjacente ao Cabo de Sto. Agostinho. Em decorrência da localização espacial deste grupo, infere-se que este material siliciclástico é oriundo da região adjacente a área de estudo, devido à presença de uma rocha matriz vulcânica na costa (suíte vulcânica do Cabo), que sofre intemperismo constante decorrente as ações da hidrodinâmica local (Cruz *et al.*, 2003; Nascimento *et al.*, 2004; Mariano & Barbosa, 2008). Cascalhos bioclásticos ocorrem em manchas em toda PCPE com destaque para a região a norte, adjacente ao rio Goiana, onde também há manchas de grânulos carbonáticos e além de substratos consolidados.

Prevaleceu na PCPE a presença de um material arenoso bioclástico, composto por grânulos e cascalhos ao longo de toda a plataforma. Outro aspecto corroborado pela

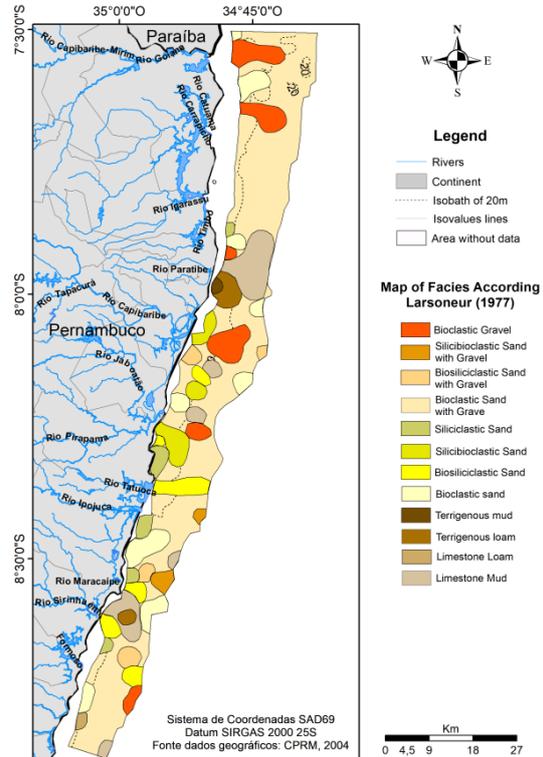
literatura, é que o material carbonático que predomina na PCPE é decorrente não só do baixo aporte hídrico e terrígeno que chega a zona costeira, mas pelas características físico-químicas das águas trazidas pela Subcorrente Norte do Brasil, que com suas águas cristalinas, quentes e salinas do Oceano Atlântico Sul associadas à Corrente sul-Equatorial, propiciam a ampla distribuição de material carbonático de origem biogênica, como algas calcárias e corais (Kempf, 1970; Coutinho e Moraes, 1970; Coutinho *et al.* 1994, 1996; Manso *et al.*, 2003; Camargo *et al.*, 2015; Martins *et al.*, 2016; Domingues *et al.*, 2017).

Fig. 10. Grau de seleção de acordo com Folk & Ward (1957).



Fonte: Autor (2019)

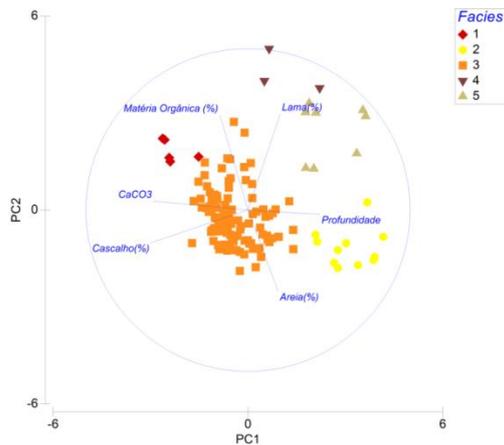
Fig. 11. Classificação de fácies sedimentares de acordo com Larssoneur (1977)..



Carta das fácies sedimentológicas da PCPE

De modo a padronizar as classes faciológicas com a normalização dos dados das 140 amostras completas analisadas (% cascalho, areia, lama, CaCO_3 , MOT e profundidade) nas análises de agrupamento e componentes principais (figura 12), foram obtidas 5 fácies sedimentares (figura 13) de acordo com a distância euclidiana 4. Foi também aplicada a classificação de Larssoneur (1977) para reconhecimento das 5 fácies distintas. Na tabela 1 encontra-se a caracterização das fácies sedimentares, contendo as médias, máximos e mínimos, e o desvio padrão dos sedimentos em cada agrupamento.

Fig. 12. Análise das componentes principais Sedimentológicas



Fonte: Autor (2019)

Fig. 13. Mapa de fácies sedimentares

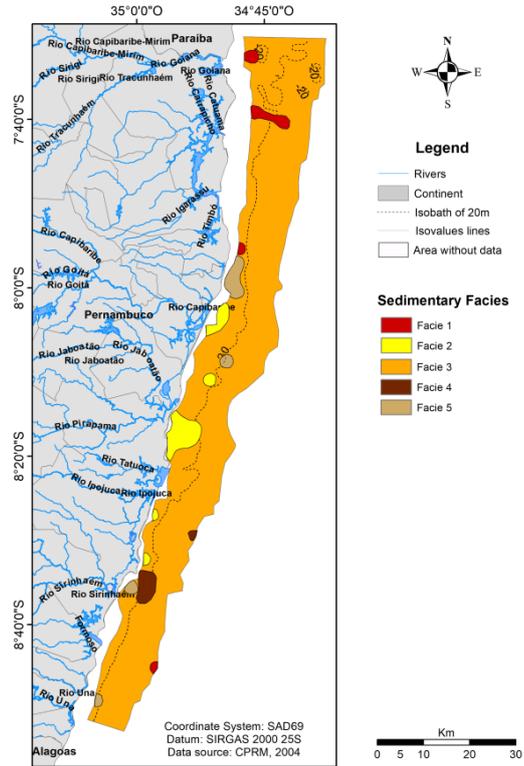


Tabela 1 – Caracterização das fácies sedimentares

Fácies	Prof. (m)	Cascalho (%)	Areia (%)	Lama (%)	MOT (%)	CaCO ₃ (%)	Larssoneur (1977)
Média	-22,14	100,00	0,00	0,00	6,54	95,28	CB2
1	Máximo	-9,50	100,00	0,00	0,00	9,00	Cascalho
	Mínimo	-25,30	100,00	0,00	0,00	4,45	Bioclast
	Desvio Padrão ±	7,07	0,00	0,00	0,00	2,14	MOT+
Média	-13,63	2,00	96,97	1,03	1,09	32,75	AL 1b
2	Máximo	-9,30	6,52	99,09	2,48	4,40	Areia
	Mínimo	-19,90	0,00	92,93	0,53	0,20	siliciclas
	Desvio Padrão ±	3,72	1,93	1,90	0,55	1,21	MOT-
Média	-24,81	30,61	65,07	4,32	2,52	86,35	AB2a
3	Máximo	-9,90	91,76	95,74	55,10	9,30	Areia bio
	Mínimo	-37,60	0,91	6,95	-0,49	0,40	gran casc
	Desvio Padrão ±	6,31	20,05	20,46	8,79	1,78	MOT-
Média	-26,50	0,00	0,00	100,00	3,60	75,33	LB2
4	Máximo	-22,00	0,00	0,00	100,00	6,60	Lama
	Mínimo	-31,40	0,00	0,00	100,00	2,00	calcárea
	Desvio Padrão ±	4,71	0,00	0,00	0,00	2,60	+ MOT
Média	-13,93	1,04	40,37	58,59	4,94	55,18	LB1
5	Máximo	-7,50	3,94	78,49	88,32	9,20	Marga
	Mínimo	-20,10	0,00	11,52	17,57	2,40	calcárea
	Desvio Padrão ±	4,97	1,55	27,26	28,09	2,07	+MOT

A fácies 1, cascalhos bioclásticos, ocorrem na plataforma interna norte no setor do rio Goiana, próximo aos rios Timbó e Ipojuca, e também na plataforma média no paleovale de Campas (rio Formoso). É composta por sedimentos cascalhosos biogênicos, pobremente selecionados, com médios a altos teores orgânicos.

A fácies 2, areias siliciclásticas, ocorrem na plataforma interna em manchas ao longo da costa, adjacentes aos rios Capibaribe, Ipojuca/Tatuoca e Maracaípe. É composta por sedimentos terrígenos arenosos bem selecionados, com baixos teores da MOT e CaCO_3 .

A fácies 3, areias bioclásticas com grânulos e cascalhos, predominam em toda PCPE, sendo composta por sedimentos arenosos pobremente selecionados, com altos teores de carbonatos e baixos teores de MOT, refletindo a característica biogênica areno-cascalhosa da PCPE.

A fácies 4, lama calcárea, ocorre em uma mancha na plataforma média ao largo do rio Sirinhaém. Manso *et al.* (2003) apontaram a existência de sedimentos areno-lamosos biogênicos neste setor da plataforma. Camargo *et al.* (2015) atestaram essa presença de finos e a associaram ao preenchimento do paleovale do rio Sirinhaém. É composta por sedimentos essencialmente lamosos, bioclásticos e com baixos teores orgânicos.

A fácies 5, marga calcárea, ocorre em manchas na plataforma interna ao largo dos rios Capibaribe e Sirinhaém e no paleovale do Una. É formada por lammas arenosas biosiliciclásticas pobremente selecionadas com baixos a médios teores orgânicos.

Com base na análise de PCA (tabela 2), dois eixos fatoriais representaram 62,1% da variância total. O diagrama e as cargas do PCA (Tabela 3), revelou que a profundidade teve a maior carga positiva (0,443) seguido por % lama (0,199) no componente principal 1 (PC1) e na carga negativa o % de CaCO_3 (-0,584) e cascalho (-0,599). O PC2 foi caracterizado por carga positiva para lama (0,588) e MOT (0,595) o carregamento negativo mais forte para % areia (-0,505). Outros parâmetros pouco influenciaram na análise de PCA, com cargas menores que $\pm 0,3$ para PC1 e PC2.

Tabela 2 – Percentual de abrangência dos componentes

Componentes Principais	Autovalores	%Variação	% Variação Acumulada
1	2,02	33,7	33,7
2	1,71	28,4	62,1

Tabela 3 – Coeficientes de combinação linear das variáveis dos componentes principais

Variáveis	Componentes Principais 1	Componentes Principais 2
Profundidade	0,443	-0,028
Cascalho (%)	-0,599	-0,203
Areia (%)	0,186	-0,505
Lama (%)	0,199	0,595
Matéria Orgânica (%)	-0,174	0,588
CaCO₃ (%)	-0,584	0,054

Foi realizado a análise de correlação de Spearman (*sp*) entre os parâmetros avaliados, descrito na tabela 4.

Tabela 4 – Correlação de Spearman (*sp*)

	Prof	Casc.(%)	Areia(%)	Lama(%)	MOT (%)	CaCO ₃
Profundidade	1,00					
Cascalho(%)	-0,17	1,00				
Areia(%)	0,10	-0,67	1,00			
Lama(%)	0,07	-0,33	-0,48	1,00		
MOT (%)	0,04	0,23	-0,45	0,31	1,00	
CaCO₃ (%)	-0,40	0,43	-0,28	-0,16	0,16	1,00

Com base na discussão conjunta dos dados espaciais gerados para a PCPE fica claro que a região apresenta uma cobertura sedimentar predominantemente carbonática, conforme apresentado nas figuras 11 (Larssoneur, 1977) e 12 (fácies). A fácies areia siliciclástica ocorre na plataforma interna ao longo da costa, passando em transição para areias e cascalhos bioclásticos em direção mar afora. As lamas terrígenas e calcárias estão restritas às desembocaduras fluviais e ao preenchimento de paleocanais na plataforma, tal qual observado na plataforma continental do estado do Rio Grande do Norte (Vital *et al.*, 2005; Gomes e Vital, 2010). Desta forma, a região pode ser caracterizada como uma plataforma mista composta por uma cobertura de sedimentos siliciclásticos, carbonato-siliciclásticos e carbonáticos, abrigando uma série de compartimentos de relevo tais como: bancos de rochas de praias e de recifes de corais, vales incisos e paleolinhas de costa.

O predomínio da fácies areno-cascalhosa pode indicar um ambiente de energia hidrodinâmica moderada (Coutinho, 1976), comparado ao observado para a plataforma do Rio Grande do Norte, localizada a cerca de 250km ao norte (Vital *et al.*, 2008). De fato, embora estudos sistemáticos sobre a hidrodinâmica da PCPE sejam ainda incipientes na região, dados recentes indicam velocidades máximas de correntes de plataforma da ordem de 33 cm.s⁻¹ no inverno e 14 cm.s⁻¹ no verão (Domingues *et al.*, 2017).

Ao confrontar-se a PCPE com outras regiões de plataforma interna, é possível observar que a sedimentação regional é regida pelos baixos aportes terrígenos da Água Costeira, que está presente em apenas 5% da PC (Domingues *et al.*, 2017), em conjunto com as feições fisiográficas locais e a produção biogênica autóctone. O aumento da granulação observado a partir do afastamento da linha de costa resultante dessa presença de material mais fino costeiro e mais cascalhoso biogênico para offshore foi similar ao observado por Bremner *et al.* (1981) para plataforma interna da Namíbia e por Larcombe *et al.* (1995) para a região da barreira de corais adjacente à Townsville na Austrália, evidenciados pela correlação entre a profundidade e cascalho com o teor de CaCO_3 , ($r_s = -0,40$) e ($r_s = 0,43$), respectivamente (vide tabela 4). De acordo com esses autores, o material mais fino é oriundo dos aportes hídricos, sendo o material cascalhoso originário dos organismos marinhos presentes na biota. De fato, com base nos mapas sedimentares gerados, o material terrígeno tem presença sensível em relação ao marinho até a isóbata de 20 metros na plataforma interna, enquanto na plataforma média há a predominância de material carbonático. Isto é decorrente de que as águas são mais claras, quentes, oligotróficas salinas e sob a ação de correntes moderadas, associadas à massa d'água Água Tropical (AT), descrita por Domingues *et al.* (2017) e que predomina em 95% da PCPE.

As regiões carbonáticas (algálicas ou coralíneas) apresentam pouco material em suspensão na coluna d'água (Carannante *et al.*, 1988). Este fator permite o bom desenvolvimento das estruturas, mas que estão associadas às regiões com baixo aporte hídrico, condição análoga à local. No entanto, completamente distinta das regiões de plataforma adjacente a região do mar Leste da China, que de acordo com o estudo realizado por Xu *et al.*, (2009) apresentam um grande aporte de material sedimentar, carreando para a plataforma continental uma quantidade considerável de silte, acima de 20%, e que juntamente com a dinâmica de circulação, tem capacidade de transportar este material até a região adjacente à Taiwan. Embora não apresentem um aporte sedimentar tão considerável quanto o estudado por Xu *et al.*, (2009), as regiões de desembocaduras associadas aos paleocanais e vales incisos submersos são pontos de acúmulo do material sedimentar fino e matéria orgânica aportados, tal qual adjacente aos rios Goiana, Capibaribe, Ipojuca, Sirinhaém e Una. A correlação entre os teores de MOT e lamas ($r_s = 0,31$) pode ser indicativa desse processo.

Observa-se ainda que estes canais, principalmente na parte sul da PCPE, no caso os paleovales do Sirinhaém e Una de acordo com Camargo *et al.* (2015), possibilitam a dispersão de um material mais fino até as isóbatas mais profundas, refletidas por um substrato mais

lamoso, divergindo das áreas batimetricamente mais elevadas do entorno. Este processo ocorre pelo fato destas regiões serem ambientes com uma baixa dinâmica de fundo, possibilitando assim a deposição de materiais mais finos e as partículas de matéria orgânica sedimentar (Cramp *et al.* 1987; Granata *et al.* 1999; Liu *et al.*, 2002; Liu *et al.*, 2018). Camargo *et al.* (2015) afirmam que esse material fino e enriquecido com MOT passa a servir de fonte de nutrientes, assim como os canais atuam como abrigo para os organismos que se instalam. De fato, esse mecanismo de dispersão para offshore foi observado por Domingues *et al.* (2017), no qual afirmam que as variações de temperaturas observadas na coluna d'água, ocorrem devido à presença desses paleocanais, possibilitando que as águas mais quentes costeiras adentrem às camadas mais profundas da plataforma.

A correlação entre o cascalho e o CaCO_3 com a MOT ($r_s = 0,23$) e ($r_s = 0,16$), são respectivamente baixas, porém pode indicar uma relação direta entre os altos teores de matéria orgânica e os cascalhos biogênicos que compõem a fácies 1, presentes na plataforma interna adjacente ao rio Goiana, cuja origem da MOT é provavelmente de origem marinha. O material carbonático está presente ao longo de toda região de estudo, estando em menor percentagem ($< 50\%$) apenas em algumas regiões próximas à costa associadas a desembocaduras estuarinas como o Capibaribe e Ipojuca. As associações de material cascalhoso com a lama e a matéria orgânica, implicam que há pontos em que o material orgânico não é originário exclusivamente das fontes fluviais, mas também em grande parte da produção biogênica local, por meio do retrabalhamento do fundo por correntes de plataforma que fragmentam e selecionam o material carbonático em lamas, associado à presença das águas oligotróficas da Água Tropical (AT).

Conclusão

A região da plataforma continental interna e média de Pernambuco pode ser caracterizada como uma plataforma mista, composta por uma cobertura de sedimentos siliciclásticos, carbonato-siliciclásticos e carbonáticos, e que abriga uma série de compartimentos de relevo tais como: bancos de rochas de praias e de recifes de corais, vales incisos e paleolinhas de costa.

Com base nos dados gerados pelo presente trabalho, fica evidente que a PCPE apresenta a predominância de sedimentos areno-cascalhosos bioclásticos, pobremente selecionados com baixos teores orgânicos ao longo de toda costa. Essa característica decorre dos baixos aportes sedimentares dos rios, e da pouca capacidade de retenção de materiais

finos pelas feições, negativas e positivas, presentes ao longo de toda região de estudo. É constatada a presença de ao menos quatro outras fácies sedimentares distintas: cascalhos bioclásticos, areias siliciclásticas, margas e lamas calcárias; que oscilam em sua composição em decorrência da combinação dos materiais presentes de acordo com o que aporta, as feições fisiográficas, hidrodinâmica e a produção biogênica local.

Apesar da PCPE apresentar uma cobertura sedimentar relativamente homogênea composta predominantemente por areias cascalhosas bioclásticas mal selecionadas com baixos teores orgânicos, observam-se particularidades na sedimentação tanto em sentido paralelo, quanto perpendicular à costa e também entre os setores norte, central e sul da plataforma. Ocorre, perpendicularmente ao litoral, um gradiente transicional de sedimentos siliciclásticos na plataforma interna, que passam a carbonato-siliciclásticos e carbonáticos na plataforma média. Enquanto que paralelo à costa, as plataformas central e norte são mais largas, planas, rasas, cascalhosas e biogênicas; a centro-sul, adjacente ao rio Ipojuca, é arenosa, mais terrígena e mais profunda próximo à costa (Porto de Suape); e a plataforma sul é mais estreita, irregular, carbonática, mais lamosa devido aos paleovales e cânions mais preservados neste setor.

O presente trabalho traz uma colaboração diferenciada para a literatura acerca da geodiversidade da PCPE, visto que não há apenas uma caracterização sedimentar e topográfica geral, mas uma descrição da distribuição sedimentar correlacionando-a com fisiografia e os aportes de sedimentares que chegam da costa. E que gerou uma delimitação mais precisa do padrão de distribuição sedimentar de superfície de fundo. Carece, no entanto, de traçadores mais detalhados da matéria orgânica avaliada, elementar (Carbono, Nitrogênio) e isotópica estável ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$), de modo a refinar como ocorre o aporte e a interação desse material em toda a região de estudo.

Por fim, as informações geradas neste manuscrito, quando associadas a outros parâmetros ambientais, servirão como base e trarão subsídios em potenciais atividades de avaliação de recursos marinhos de interesse econômico; no melhor entendimento dos processos sedimentares modernos e pretéritos; na determinação dos tipos de comunidades bióticas associadas ao fundo marinho; e no fornecimento suporte para outros estudos ambientais de cunho oceanográfico que venham a ser desenvolvidos na área.

Agradecimentos

Os autores do presente trabalho agradecem ao Serviço Geológico do Brasil – CPRM que por meio do projeto Granulados Marinhos – GRANMAR Pernambuco, realizou a coleta e armazenamento das amostras. Agradecem à Hortência M. B. de Assis e equipe (CPRM-PE), Ronaldo G Bezerra (CPRM-PE) pela concessão dos dados coletados in loco, a Carlos Fernando de A. Soares Junior (UFC) e Prof. George Satander Sá Freire (UFC) pela concessão das análises sedimentares realizadas. Ao Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha e ao Laboratório de Oceanografia Geológica da Universidade Federal de Pernambuco, pela estrutura e suporte para realização das análises geoquímicas.

6.2 ASPECTOS SEDIMENTOLÓGICOS E BATIMÉTRICOS DA PLATAFORMA CONTINENTAL NORTE DE PERNAMBUCO - BRASIL

Artigo submetido e aceito na revista Estudos Geológicos

Maria Cristina da Silva Sales de Melo; Roberto Lima Barcellos; Liza Ellen Eurico de Oliveira; Valdir do Amaral Vaz Manso

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma contribuição acerca da fisiografia e da cobertura sedimentar da região de plataforma interna e média adjacente à Ilha de Itamaracá (PE). Esta pesquisa se baseou nos dados obtidos do projeto “*Granulados Marinhos – GRANMAR Pernambuco*”. A partir desta cobertura de dados foram elaborados mapas de batimetria, do tamanho médio das partículas sedimentares, dos aspectos de seleção do sedimento, e dos teores de carbonato de cálcio dos depósitos superficiais. A análise da fisiografia revelou a presença de reentrâncias e depressões associadas às desembocaduras dos rios. Os principais resultados demonstraram que a cobertura sedimentar é predominantemente calcária de origem bioclástica, com granulação arenosa e que a distribuição dos depósitos superficiais é controlada pela associação de aspectos fisiográficos e hidrodinâmicos locais. Os arenitos de praia e canais atuam na energia do meio, o que promove a seleção dos sedimentos na plataforma. Enquanto que os paleovales e depressões do fundo marinho atuam como elementos de retenção dos sedimentos mais finos oriundos do continente.

Palavras chave: Ilha de Itamaracá, batimetria, plataforma interna, plataforma média, sedimentologia.

ABSTRACT

This paper provides a brief contribution about the physiography and sedimentary cover of the inner and middle shelf adjacent to Itamaracá Island (PE). This research was based on data obtained from the project “*Granulados Marinhos - GRANMAR Pernambuco*”. From this data coverage, maps of bathymetry, mean diameter of sedimentary particles, sorting aspects, and calcium carbonate contents of surface deposits were prepared. The analysis of the physiography revealed the presence of indentations and depressions associated with the mouths of the rivers. The main results showed that the sedimentary cover is predominantly limestone of bioclastic origin, with sandy granulation and that the distribution of surface deposits is controlled by the association of local physiographic and hydrodynamic aspects.

Beach sandstones and channels act on the environment energy, which promotes the sorting of sediments in the shelf.

Keywords: Itamaracá Island, bathymetry, inner shelf, middle shelf, sedimentology.

Introdução

As plataformas continentais são ambientes dinâmicos, nos quais a cobertura sedimentar e a fisiografia são reflexos de todas as dinâmicas existentes (Ponzi, 2004). Como definição geral, as plataformas continentais representam extensões submarinas da margem continental (Hezen *et al.*, 1996).

No Brasil, as margens continentais são do tipo passiva, apresentando um relevo aplainado, cuja declividade inicia-se desde a região praial até a quebra da plataforma, onde ocorre uma variação abrupta da declividade, em torno dos 130 m de profundidade (Coutinho, 1996; Suguio, 2003). As características fisiográficas são resultantes da combinação entre a herança geológica local com outras condicionantes ambientais, como os espaços de acomodação, o aporte de sedimentos, a circulação oceânica, além das variações do nível do mar ao longo do tempo (Dominguez, 2009).

Durante o último processo regressivo do nível relativo do mar, o Último Máximo Glacial (UMG), que ocorreu há cerca de 20.000 anos AP, as plataformas brasileiras ficaram expostas, parcial ou totalmente. Esse evento proporcionou a ocorrência de processos erosivos, tanto de origem fluvial quanto subaéreo o que ocasionou a formação de vales fluviais na plataforma (Conti & Furtado, 2009; Blum *et al.*, 2013; Harris *et al.*, 2014). Os sedimentos que provêm do continente por meio dos rios que percorreram estes vales de plataforma, carreando material para zonas mais distantes. A presença dos vales, associado aos influxos de material terrígeno podem ocasionar a criação de outras feições, como os deltas e cristas arenosas ao longo de toda plataforma (Wagle & Veerayya, 1996; Gardner *et al.*, 2007; Weschenfelder *et al.*, 2008; Salzmann *et al.*, 2013).

No UMG o nível do mar ficou cerca de 120 m abaixo do nível atual, o que deixou um grande número de plataformas continentais expostas em todo o globo. Essa exposição afetou a plataforma externa da região de estudo, em decorrência da baixa declividade desta, o que indica que a plataforma ficou sob ação dos condicionantes climáticos e dos processos relacionados à ação de sistemas fluviais, possibilitando a ocorrência de vales na região (Koss *et al.*, 1994; Yokoyama *et al.*, 2000; Clark *et al.*, 2009; Yokoyama *et al.*, 2018; Camargo *et*

al., 2015). No caso da plataforma continental de Pernambuco, cuja quebra está relacionada à cota batimétrica média de 65 m (Araújo *et al.*, 2004; Camargo *et al.*, 2015), o talude superior ficou exposto durante este período.

O presente trabalho objetivou ampliar o conhecimento da fisiografia das regiões de plataforma interna e média, adjacentes à Ilha de Itamaracá, costa centro-norte de Pernambuco, com enfoque nas estruturas morfológicas e na composição da cobertura sedimentar do leito marinho.

Área de Estudo

A área de estudo representa a folha Itamaracá do projeto “*Granulados Marinhos em Pernambuco – GRANMAR-PE*”, e está localizada entre as coordenadas 7°30’32”/7°59’54”S e 34°37’55,2”/34°49’48,2”W, com uma área de aproximadamente 750 km². Os pontos de coleta foram dispostos desde a divisa entre os estados de Pernambuco e Paraíba (porção norte da área), ao largo da foz do rio Goiana, e o limite entre as cidades de Paulista e Olinda, adjacente à foz do Rio Paratibe (porção sul da área). A malha amostral foi composta por 40 transectos perpendiculares à linha de costa, com espaçamento aproximado de 1 milha náutica (1852 m) entre os pontos. Para assegurar uma melhor definição das feições batimétricas, foram incluídos no presente estudos 63 dados de profundidade na região adjacente à Ilha de Itamaracá, obtidos pelo Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha da UFPE.

Conforme Flores-Montes *et al.* (1998), a área de estudo apresenta clima classificado como tropical do tipo Am’ conforme a classificação de Köppen, com transição para As’, apresentando uma faixa térmica média entre 25° C e 27° C com oscilação de ± 3° C durante o de um ano. Apresenta uma precipitação média de 1600 mm, com período chuvoso delimitado entre abril e agosto (CPRH, 2003; Oliveira filho, 2015; Barcellos *et al.*, 2016).

A zona costeira foi densamente recoberta pelo bioma de Mata Atlântica, mas grande parte dessa vegetação foi substituída pela monocultura canavieira e pelo crescimento urbano desordenado. No presente, existem apenas vestígios de mata secundária em decorrência dos impactos antrópicos (SUDENE, 1978; Almeida, 2011).

Na região destaca-se uma extensa zona estuarina o sistema Ilha de Itamaracá, formado pelos canais de Santa Cruz e Itapessoca/Catuama, onde ocorrem sistemas de manguezais com a presença dos gêneros *Avicennia* (mangue canoé), *Conocarpus* (mangue de botão), *Laguncularia* (mangue manso) e *Rhizophora* (mangue vermelho) (Silva, 2004).

Na região marinha ocorre uma dominância de diatomáceas, *Chlorophyceae* e *Pheophyceae* na porção junto à costa, e na direção offshore ocorre abundância de algas calcárias do gênero *Lithothamnium*, cuja distribuição é controlada pelas condições hidrodinâmicas e pela topografia de fundo (Almeida, 2011; Silva, 2004; Silva, 2012; Varela, 2011).

A área de estudo apresenta influência de três bacias hidrográficas e de um sistema estuarino associado a rios costeiros. A norte situa-se a bacia do rio Goiana, na região central ocorre a bacia do Rio Jaguaribe (Ilha de Itamaracá), e a sul localiza-se a bacia do rio Paratibe. Todas essas bacias hidrográficas costeiras apresentam grande impacto antrópico, agravado pelo crescimento populacional (CPRH, 2001; Almeida, 2011). O sistema Itamaracá (canais de Santa Cruz e de Itapessoca/Catuama) é formado pela confluência dos rios Aracata, Bonança, Botafogo, Carrapicho, Catuama, Cumbre, Igarassu, Itapessoca, Itapirema, Palmeira, Riacho Jardim, Tabatinga e Utinga. Na porção norte e sul, os afluentes mais importantes são o Botafogo e Igarassu, respectivamente. Ambos sofrem uma grande influência antrópica, e os poluentes neles descarregados (Gaspar 2009; Silva, 2012), chegam a plataforma interna juntamente com a carga sedimentar.

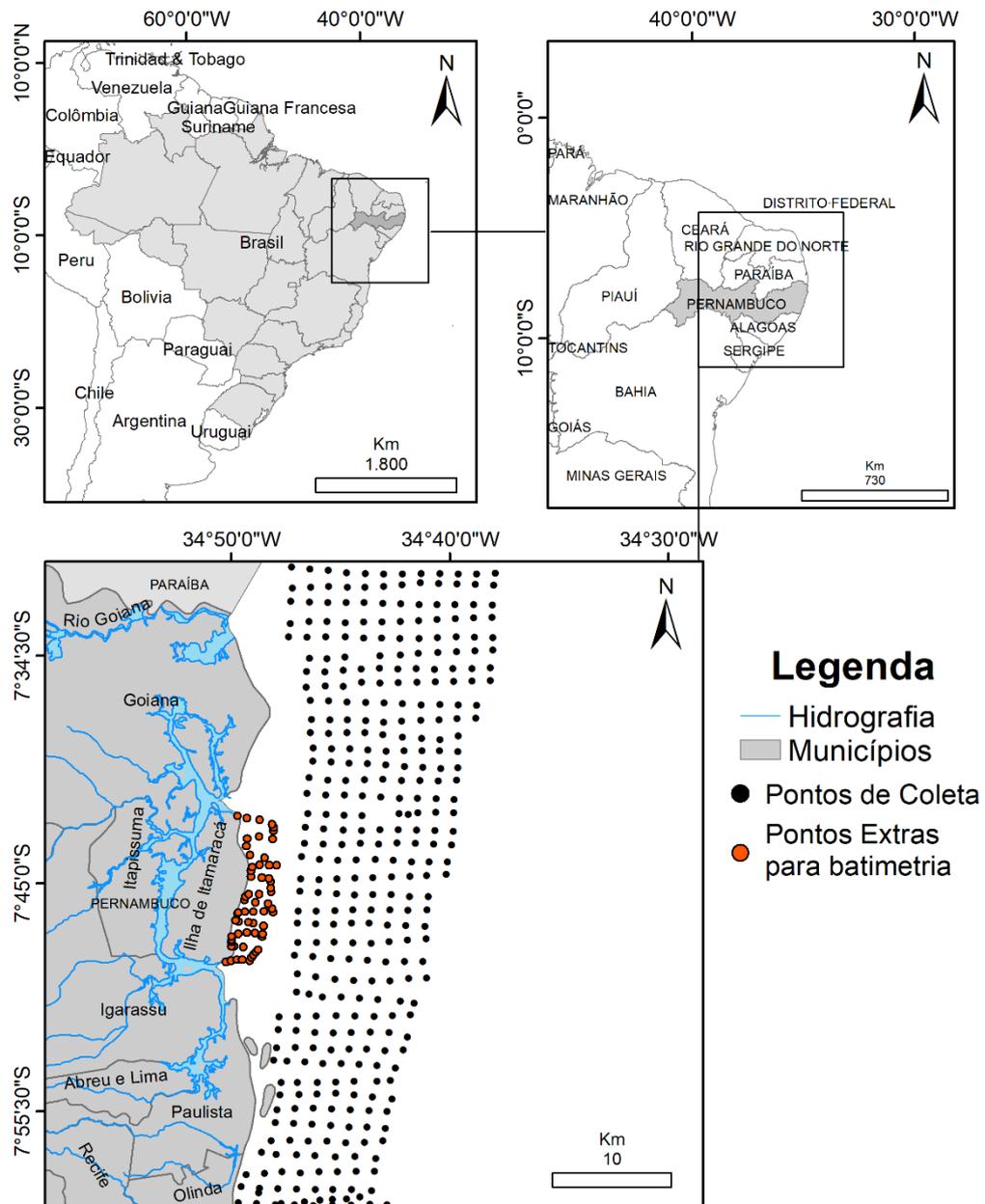
Ratisbona (1976) afirmou que durante o período anual a região apresenta 3 direções de vento dominantes: o período chuvoso com direção SE com média de 3,2 m/s, período seco com direção NE e média de 2,6 m/s, e em dezembro, durante o ápice térmico, ENE e com média de 2,0 m/s. As marés da região são do tipo meso-maré, conforme a classificação de Hayes (1979), o que resulta em uma variação de 2 a 4 m. As ondas são predominantemente do tipo *sea*, com ocorrência de swell. As ondas apresentam altura média de 0,4 m e período médio de 7,5 s (Barros, *et al* 2007; Varela, 2010). A temperatura da água varia entre 25,7° a 30,8°C nos períodos secos e chuvosos respectivamente. Outro fator que possui variação sazonal da mesma forma é a salinidade que oscila entre 28,9 e 37,2, e para ambos parâmetros os menores valores são observados mais próximos à costa (Manso *et al.*, 1992; Varela, 2010; Domingues *et al.*, 2017). De acordo com Domingues *et al.* (2017), a região é classificada como de águas tropicais, caracterizada por temperaturas quentes (> 26°C) e salinas (> 35), com gradientes superficiais observados durante o verão, e uma coluna d'água com salinidade e temperatura predominantemente uniforme.

Com base em Medeiros & Kjerfve (1993) a zona costeira do litoral Norte de Pernambuco é caracterizada por uma série de linhas de recifes paralelas e contínuas, que

apresentam abundância de formações coralíneas e algas calcárias que se fixam a um substrato arenoso.

A figura 1 mostra a localização da área de estudo, com os pontos de coleta e os pontos de batimetria já existentes que foram incluídos nesta pesquisa.

Figura 1 – Localização da área de estudos com os 364 pontos de coleta (em preto), e os 63 pontos de batimetria (em vermelho) coletados por outro projeto e utilizados nesta pesquisa.



Fonte: Autor (2019)

Material e Métodos

Os dados tratados nesta pesquisa foram coletados pela equipe do “*Projeto GRANMAR Brasil*”, dentro do qual a área de estudo foi tratada pelo subprojeto: “*Avaliação do potencial mineral dos granulados marinhos no litoral do Brasil – PE/CE*”, realizado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2018). As coletas de sedimentos foram realizadas em cruzeiros oceanográficos que ocorreram em 2004, e cobriram os 40 perfis mostrados na figura 1 (CPRM, 2018). A coleta totalizou 364 amostras sedimentos superficiais de fundo marinho.

As amostras foram coletadas com o uso de uma draga do tipo “*Van Veen*”. O material foi analisado segundo os métodos de análise granulométrica descritos em Suguio (1973), e foi aplicado o tratamento estatístico conforme proposto por Folk & Ward (1957) e Larssonneur *et al.* (1982). Os parâmetros observados, conforme o interesse desta pesquisa, foram os dados de diâmetro médio (ϕ) e grau de seleção das partículas sedimentares que compõem os depósitos coletados. Os dados de teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) foram obtidos por meio da aferição de peso do material seco em balança semi-analítica, executada antes e após o ataque com HCl a 10%, de acordo com os métodos descritos em Carver (1971).

Os dados batimétricos utilizados, conforme mencionado antes, foram obtidos pelo projeto. Adicionalmente foram incorporados mais 63 pontos de profundidade adjacentes à ilha de Itamaracá, anteriormente coletados pelo LGGM-UFPE para um melhor refinamento da malha amostral gerada. Os *shapefiles*, utilizados para elaboração dos mapas do presente trabalho, são da CPRM (2004), georreferenciados no sistema SAD69, cujo datum é o SIRGAS 2000, para latitude 25S.

Resultados e Discussão

Fisiografia de fundo

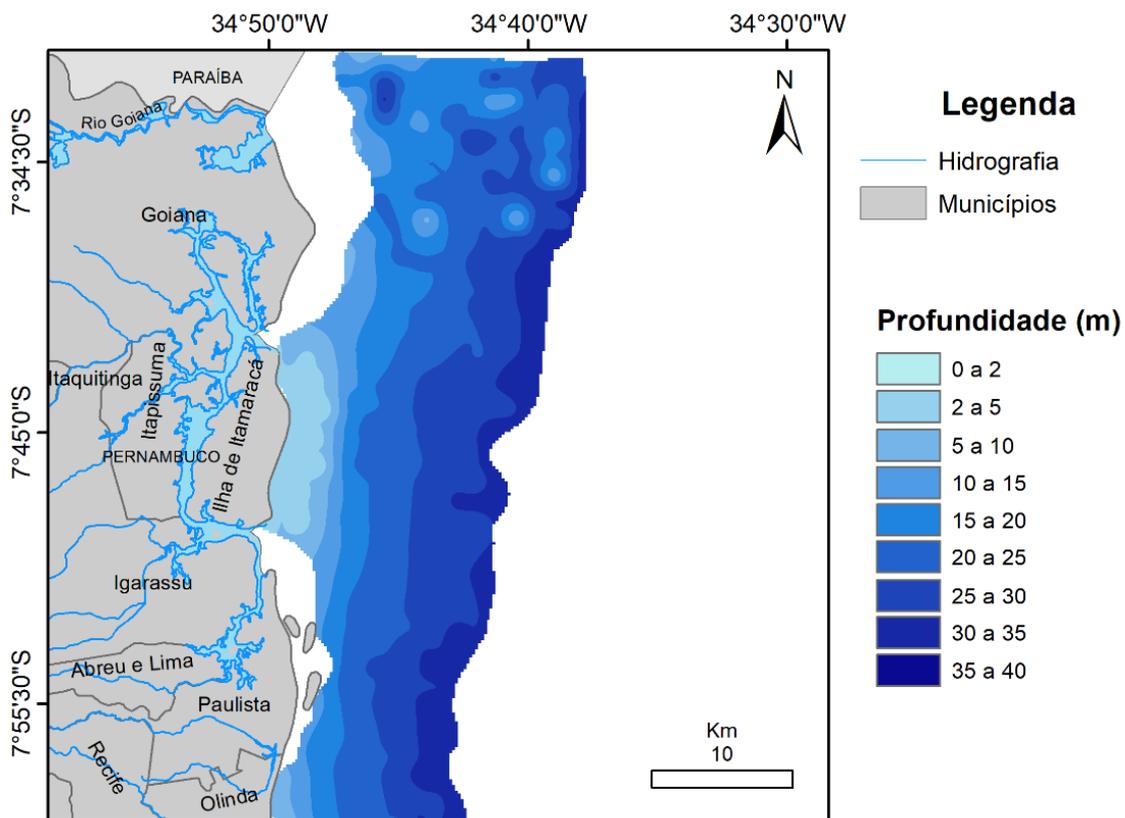
Com o processamento dos dados de profundidade, foi elaborado um mapa batimétrico da região de estudo (Fig. 2).

Varela (2010) e Almeida (2011, 2018) descreveram a ocorrência de arenitos de praia ao longo de toda costa da área em estudo, estruturas que apresenta algumas falhas (aberturas) longitudinais e perpendiculares ao longo de sua extensão. Segundo os autores citados, essas estruturas são responsáveis por regular a dinâmica local. Por estarem localizados na plataforma interna, estes arenitos atenuam a ação dos impactos das ondas até o ambiente praiado. De acordo com Almeida (2018), as regiões de depressões observadas adjacentes à

costa são resultantes da combinação da dinâmica das marés, desembocaduras dos cursos hídricos e das falhas observadas nos arenitos.

Estudo desenvolvido por Camargo *et al.* (2015), em relação à região sul da plataforma continental de Pernambuco, descreve que as estruturas morfológicas atuais como paleovales e terraços de abrasão por ondas, são resultantes de eventos ocorridos durante o processo de regressão marinha. Os estudos desenvolvidos por Dalrymple *et al.* (1994), Harris *et al.* (2003, 2005) evidenciaram que estas estruturas de relevo positivas e negativas permanecem preservadas e, principalmente, controlam a distribuição dos aportes sedimentares.

Figura 2 – Mapa batimétrico da área de estudo.



Fonte: Autor (2019)

Ao comparar-se o resultado obtido com o estudo realizado por Camargo *et al.* (2015), observou-se que os canais encontrados estão associados às reentrâncias dos rios, como ocorre na região adjacente ao rio Sirinhaém, porção Sul da plataforma continental de Pernambuco. De acordo com Summerhayes *et al.*, (1976), França (1979), Weschenfelder *et al.* (2008) e Conti & Furtado (2009), estas depressões (paleocanais) são resultantes da erosão fluvial e subaérea que ocorreu durante o evento regressivo. Com base nestes autores, estas feições estão preservadas devido à cobertura sedimentar, semelhante às feições observadas por Harris

et al. (2014) nas regiões de sedimentação carbonática da plataforma continental da Austrália, o que caracteriza, na área de estudo, o desenvolvimento de *shelf valleys*.

Camargo *et al.* (2015) afirmaram que estas áreas possuem uma grande importância ecológica, pois propiciam uma série de habitats para organismos bentônicos de diversos níveis tróficos, de acordo com o tipo de substrato. Segundo estes autores, estas regiões além de seu destaque ecológico, em muitos casos são locais propícios para espécies de interesse pesqueiro e econômico.

Caracterização Sedimentológica

Diâmetro médio

Com base na classificação do diâmetro médio de Folk & Ward (1957) (Fig. 3) os depósitos superficiais apresentam um predomínio de grãos de classe areia muito grossa. Estes sedimentos apresentam uma combinação de areias quartzosas e de material de composição biogênica (Almeida, 2011; Oliveira, 2016). De acordo com Almeida (2018) a presença dos arenitos de praia e dos bancos de areia/cristas arenosas na plataforma interna dissipa a ação das ondas, deste modo possibilita a concentração desses materiais nas regiões centrais e norte da presente área de estudo.

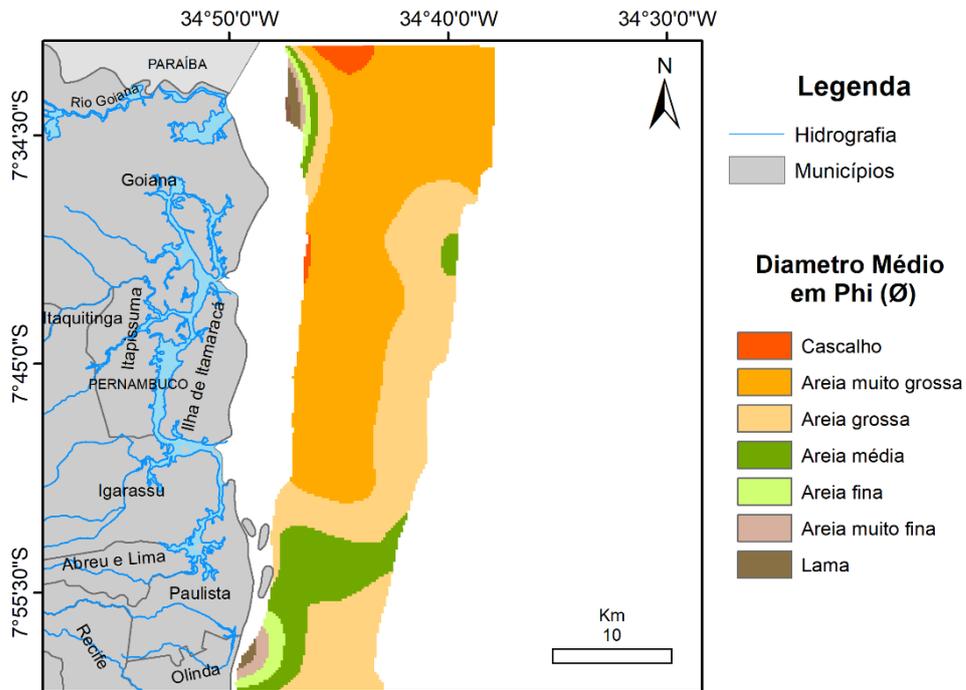
No caso da deposição dos sedimentos finos nas regiões de depressões observadas próximo à linha de costa, sugere-se que este processo ocorre devido ao baixo aporte sedimentar na região de estudo, em decorrência do clima, o que gera um baixo aporte fluvial (Martins & Coutinho, 1981; Vital *et al.* 2005; Conti, 2009; Conti & Furtado, 2006; Blum *et al.*, 2013; Harris *et al.*, 2014; Camargo *et al.*, 2015), e ao fato de que essas regiões mais profundas atuam como armadilhas para esses materiais devido a baixa hidrodinâmica de fundo (Kempf, 1970; Cramp *et al.* 1987; Granata *et al.* 1999; Liu *et al.*, 2002; Vital *et al.*, 2005).

Grau de seleção

De acordo com a classificação de Folk & Ward (1957) (Fig. 4), observou-se um gradiente negativo da seleção dos sedimentos. Os sedimentos muito bem selecionados estão localizados na parte norte da área de estudo, adjacentes à desembocadura do Rio Goiana. A diminuição do grau de seleção ocorre no sentido sudoeste, onde os sedimentos muito pobremente selecionados recobrem a região sul e a parte mais distante da linha de

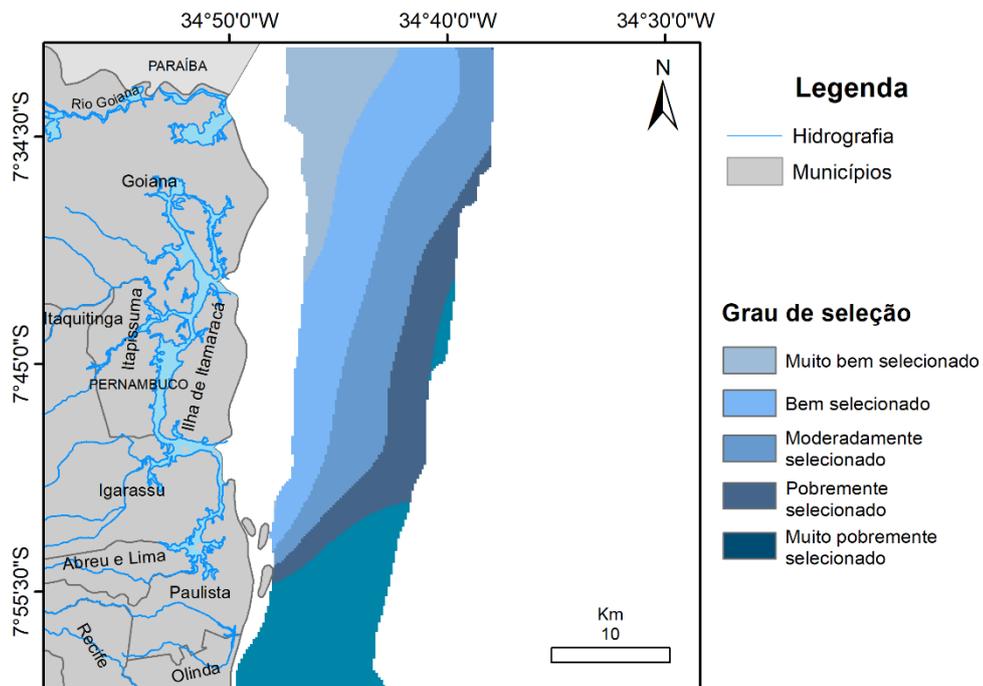
costa.

Figura 3 – Classificação do diâmetro médio das partículas sedimentares que compõem os sedimentos de fundo marinho na região de estudo (conforme Folk & Ward, 1957).



Fonte: Autor (2019)

Figura 4 – Grau de seleção do sedimento que compõe as coberturas superficiais do fundo marinho na plataforma adjacente a região de Itamaracá (conforme Folk & Ward, 1957).



Fonte: Autor (2019)

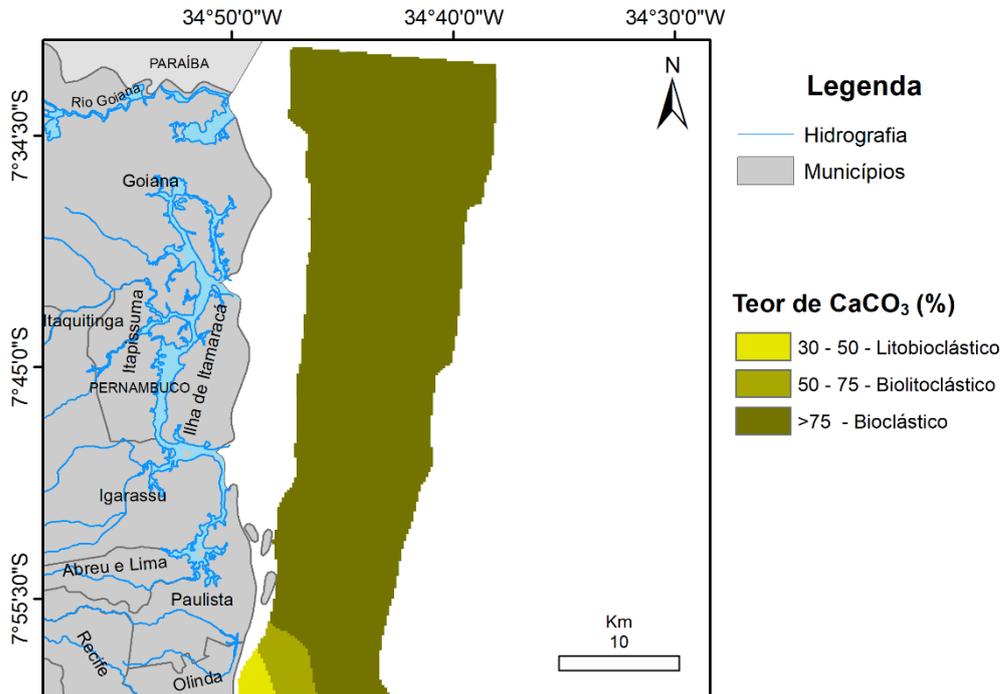
Sahu (1964) afirma que o grau de seleção está associado à energia presente no meio. Com base no mapa batimétrico (Fig. 2) e os mapas batimétricos elaborados por Varela (2010), além da modelagem batimétrica apresentada por Almeida (2018), infere-se que a presença dos arenitos em combinação com os paleovales são responsáveis pelo controle da energia hidrodinâmica do meio.

Teor de Carbonato de cálcio

A partir da classificação dos teores de carbonato (Fig. 5), com base em Larssoneur *et al.* (1982), foi possível definir que a região que apresenta menor cobertura de material carbonático (litobioclástico) é a zona costeira adjacente à Olinda. Também ocorre uma região com composição intermediária (biolitolástico) localizada na região adjacente ao litoral de Paulista. Sugere-se que a maior quantidade de componentes terrígenos alóctones está atualmente relacionada ao aporte de origem fluvial (Oliveira *et al.*, 2014; Barcellos *et al.*, 2016; Santos & Barcellos, 2017). Além disso, o aporte terrígeno está relacionado à erosão contínua de zonas de praia adjacentes (Manso *et al.*, 2006). Estas regiões sofrem processos erosivos constantes, que acabam por fornecer material para a plataforma adjacente.

Sedimentos bioclásticos predominam em todo o restante da região da plataforma continental norte de Pernambuco. De acordo com a análise da composição dos sedimentos realizados por Barros *et al.* (2007), verificou-se que o material é composto por uma elevada carga de artigos de algas (*Halimeda*), conchas inteiras e fragmentos de gastrópodes, microgastrópodes, bivalves, microbivalves, foraminíferos e outros. Desta forma, é possível concluir que o sedimento que prevalece é de origem autóctone, cuja fonte é a produtividade primária local, e que a dinâmica local atua no retrabalhamento deste material.

Figura 5 – Variação dos teores de CaCO_3 (em %) de acordo com classificação de Larssoneur *et al.* (1982).



Fonte: Autor (2019)

Integração dos resultados

Camargo *et al.* (2015) afirmam que o clima da região e das áreas onde as bacias costeiras estão inseridas não favorece um aporte considerável de material sedimentar terrígeno, deste modo há pouca contribuição, mesmo para a plataforma interna. Os sedimentos alóctones modernos são impedidos de atingir porções mais externas da plataforma por conta das diversas linhas de beachrocks dispostas paralelas à costa e presentes em diferentes profundidades (2-5, 16, 22, 25m) desde as porções mais rasas, conforme observado por Camargo *et al.* (2007) e Costa (2010). Isto fica evidenciado na figura 3 onde são observados 2 núcleos de acumulação de lama ao norte e ao sul adjacentes, respectivamente, ao sistema estuarino do Rio Goiana e ao complexo estuarino do Rio Capibaribe, associadas a paleovales que cortam estes alinhamentos de beachrocks. De fato, Pardal *et al.* (2019 in press) observou a deposição sazonal de lamas ao largo da desembocadura do sistema Capibaribe, incluindo estações de coleta mais ao norte adjacentes à Olinda, sugere que estas lamas são exportadas para o norte a partir da desembocadura do sistema, conforme o sentido das correntes predominantes na costa (SW-NE) (Domingues *et al.*, 2017), mas também para leste condicionada pelo Canal de Olinda (paleovale do Rio Capibaribe) (DHN, 2019).

O baixo gradiente topográfico e aporte sedimentar terrígeno, a fisiografia acidentada e a alta produção biogênica algálica, o que se deve à presença mais marcada dos alinhamentos de beachrocks na plataforma centro-norte de Pernambuco, condiciona esta sedimentação predominantemente bioclástica areno-cascalhosa na quase totalidade da área de estudo (vide fig. 5). Estudos realizados por Santos e Barcellos (2017) e Oliveira *et al* (2017) indicam inclusive que alguns sistemas estuarinos pernambucanos, além de reter os terrígenos nas planícies de maré e manguezais, são também importadores de material biogênico da plataforma interna, como nos estuários do rio Formoso (litoral sul) e de Catuama/Itapessoca, respectivamente. Oliveira *et al.* (2017) observaram que durante a preamar sedimentos carbonáticos adentram no sistema estuarino de Catuama/Itapessoca. Ao comparar-se tais dados com os do presente trabalho, observa-se que os aportes terrígenos acabam aprisionados, sejam pelos ambientes estuarinos ou pelas feições geológicas – arenitos e paleocanais. Kempf (1970) observou que lamas terrígenas também ficariam aprisionadas entre as linhas de beach rocks, imprimindo esta característica biogênica à plataforma de Pernambuco, sendo esta considerada por fim como uma “plataforma faminta” (Dominguez *et al.*,1990).

Conclusões

Os resultados do estudo de aspectos batimétricos e da natureza da cobertura de sedimentos recentes na região plataformal rasa adjacente a Ilha de Itamaracá, mostraram que nesta área os sedimentos são predominantemente areno-cascalhosos carbonáticos. A distribuição dos sedimentos terrígenos e carbonáticos está associada à fisiografia da região, em conjunto com a hidrodinâmica e a produção biogênica local. Sugere-se que os arenitos praias (beachrocks) que ocorrem na linha de litoral controlam o efeito de energia das ondas e marés o que interfere no transporte de sedimentos terrígenos. Também, é sugerido que as regiões de paleocanais (Shelfvalleys) servem como uma zona de armadilha para os sedimentos mais finos, principalmente junto à costa, conforme observado ao largo dos estuários dos rios Goiana e Capibaribe.

Sugere-se também que devido ao aporte reduzido de terrígenos para a plataforma ocorreu a preservação de feições como os alinhamentos de beach-rock e paleovales submersos. Para uma melhor compreensão acerca das estruturas morfológicas e sedimentos observados, faz-se necessário estudos mais detalhados advindos de dados de sonografia de varredura lateral sonar multi-feixe, de sísmica rasa, de novas coletas diretas de sedimentos de

superfície de fundo, bem como de estimativas de carga sedimentar de aporte de sedimentos para a plataforma.

Agradecimentos

A autora agradece à CAPES pela concessão da bolsa de doutorado. Os autores agradecem Serviço Geológico do Brasil – CPRM que por meio do projeto Granulados Marinhos – GRANMAR Pernambuco pela coleta e armazenamento das amostras, à Hortência M. B. de Assis e equipe (CPRM-PE), Ronaldo G. Bezerra (CPRM-PE) pela concessão dos dados coletados in loco, a Carlos Fernando de A. Soares Júnior (UFC) e Prof. George Satander Sá Freire (UFC) pela concessão das análises sedimentares realizadas. Ao Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha e ao Prof. Valdir Manso pelos dados extras de batimetria.

6.3 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA SEDIMENTAR NA PLATAFORMA CONTINENTAL DE PERNAMBUCO

Maria Cristina da Silva Sales de Melo, Roberto Lima Barcellos, Liza Ellen Eurico de Oliveira, Valdir do Amaral Vaz Manso

RESUMO

Trabalhos cujo o enfoque é a geoquímica são amplamente relevantes em áreas de plataforma, em decorrência da ampla complexidade e importância socioambiental e econômica deste ambiente. Nas plataformas do Nordeste, com ênfase na Plataforma Continental de Pernambuco – PCPE, os estudos publicados estão voltados aos ambientes mais próximos à linha de costa. O presente trabalho teve como objetivo trazer uma descrição sobre a matéria orgânica sedimentar da plataforma continental interna e média de Pernambuco, descrevendo a distribuição e caracterização do material sedimentar. As amostras estão localizadas em 136 pontos de coleta distribuídos ao longo da área de estudo. As amostras foram analisadas em reator elementar EA (COSTECH), acoplado a um espectrômetro de massa IRMS (ThermoFinnigan Delta V Advantage) após a remoção do CaCO_3 com HCl à 10%. Os dados obtidos foram os percentis de carbono e nitrogênio e as razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$. Com base nos teores mensurados de carbono e nitrogênio, razão C/N, associado às razões isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, observou-se que na PCPE há um predomínio de um material de origem marinha ao longo de toda área em estudo: $\text{C}<1$, $\text{N}<1$, $\text{C/N}<5$, $\delta^{13}\text{C}>-21$ e $\delta^{15}\text{N}>8$. Apresenta manchas com material continental nas zonas mais costeiras e nas regiões de paleocanais, o que pode indicar que este material foi carregado a partir das desembocaduras dos canais adjacentes, para as zonas mais distantes da costa. Em linhas gerais, os dados batimétricos mostram a presença de canais ao longo de toda região em estudo, associado às desembocaduras dos rios, que possuem potencial para reter e transportar para regiões mais profundas os sedimentos finos que chegam à plataforma. O predomínio de uma cobertura bioclástica areno-cascalhosa muito pobremente selecionada associada à matéria orgânica de origem predominantemente marinha, evidenciam que os aportes costeiros são baixos, e que o material sedimentar é de origem autóctone biogênico, e retrabalhado de acordo com a topografia de fundo e condicionantes meteoceanográficos da área em estudo.

Introdução

As plataformas continentais podem ser definidas como um relevo pertencente a margem continental, cuja principal característica é ser o prolongamento da porção continental abaixo da linha d'água (Heezen & Menard, 1996; IHO 2008). Plataformas continentais representam 8,91% de toda região marinha, mas concentram atualmente cerca de 90% dos principais recursos marinhos importantes economicamente – como combustíveis e minerais – além de se desenvolverem a maior parte das atividades, como transporte, pesca artesanal e industrial, turismo, pesquisas e etc.(Coutinho, 1996; Harris *et al.*, 2014; Camargo, 2016). Desta forma, caracteriza-se como um ambiente de suma importância socioeconômica e ambiental, ao qual há uma demanda de exploração sustentável em suas atividades para não acarretar nenhuma degradação ambiental (Rebouças, 2010). As plataformas possuem um ambiente dinâmico, no qual a sua extensão oscila ao decorrer do tempo geológico e da variação eustática do nível do mar, podendo desaparecer caso a regressão ultrapasse a quebra da plataforma continental (Camargo, 2016).

Associado a tais variações eustáticas do mar, há as ações de transporte e deposição, fazem com que o material, aportado e produzido na plataforma, sejam depositados em suas feições ou retrabalhado de acordo com a hidrodinâmica local. Desta forma os sedimentos – terrígenos ou marinhos – são reflexos da natureza predominante, onde as partículas de material orgânico e inorgânico se acumulam trazendo consigo registros históricos sobre o ambiente, por meio da sua classificação textural, maturidade dos grãos e composição (Ponzi, 2004; Thurman & Burton, 1997; Garrison, 2010). Essa dinâmica marinha é responsável pelo complexo mosaico sedimentar existente na plataforma, ordenando materiais antigos e recentes (Freire, 2006).

Em meio a tal complexidade sedimentar, tem-se a matéria orgânica como um de seus elementos componentes, que trazem informações sobre as interações biogeoquímicas da atmosfera, biosfera e geosfera (Tyson, 1995). Além da dinâmica de circulação já mencionada, a matéria orgânica sedimentar é influenciada principalmente pelos aportes marinhos e continentais, onde seu estudo permite conhecer sua origem (Meyers, 1997; Barcellos, 2005). O conteúdo orgânico está correlacionado a uma série de fatores, desde a própria dinâmica sedimentar já mencionada, à produtividade da coluna d'água, as taxas de consumo microbianas, tudo isso associado às condições oceanográficas e hidrológicas (Bouillon *et al.*, 1982; Meyers, 1997; Barcellos, 2000). Caracterizar a matéria orgânica presente nos sedimentos é de extrema importância em estudos ambientais, visto que a interpretação de sua ocorrência representa uma grande contribuição sobre o ciclo – origem, natureza e destino –

dessa matéria no ambiente marinho, além da compreensão do ciclo global do carbono (Dias & Lima, 2004).

O carbono, em decorrência as suas propriedades moleculares, é elemento essencial a vida, presente em todos os organismos (Souza *et al.*, 2012). O nitrogênio, dentre os elementos essenciais a vida (carbono, fósforo, oxigênio, enxofre nitrogênio e silicatos), é o que apresenta maior abundância na atmosfera e biosfera (Galloway *et al.*, 2003), está presente nas ações fundamentais da vida e é um dos principais limitantes para a produção primária marinha e terrestre (Santoro, 2010). O carbono (C) e o nitrogênio (N) são elementos que possuem mais de um isótopo, e a composição isotópica natural destes elementos pode ser medida, com elevada precisão, utilizando espectrômetro de massa (Peterson & Fry, 1987; Dawson & Brooks, 2001).

A razão elementar C/N, de acordo com Berbel (2008), os valores obtidos quando são correlacionados com as condições geológicas local, atuam como uma ferramenta geoquímica para caracterização ambiental. Müller (1977) classifica os valores <4 como material orgânico oriundo de poliquetas. Bordovskiy (1965) e Meyers (1997) classificam de acordo com tais intervalos: 4 a 7 fitoplâncton; 8 a 12 mistura de material planctônico e terrestre; e >20 como aporte continental.

O uso de isótopos estáveis como traçadores naturais da origem da matéria orgânica está fundamentado nas possíveis diferenças entre as suas assinaturas (diferença entre cada isótopo) das várias fontes (origem do material), além do fato de que tais assinaturas se preservam estáveis durante os processos de mineralização, transporte e acumulação no sedimento (Bouillon *et al.*, 2011). O uso de duas variáveis para caracterização da matéria orgânica torna o estudo mais eficiente, visto que o valor do $\delta^{13}\text{C}$ poder coincidir mesmo vindo de fontes distintas, tornando assim, indispensável o valor de outra variável, como o $\delta^{15}\text{N}$ (Krishna *et al.*, 2015). Para o $\delta^{15}\text{N}$, Yamamuro *et al.* (2003) e Yamamuro & Kamiya (2013) afirmam que tal teor não pode configurar como único parâmetro, devido as sobreposições de assinaturas que um sedimento pode ter de acordo com as interações do entorno. Avaliando as classificações realizadas por Bordovskiy (1965), Chester & Riley (1978), Ruttemberg e Goñi (1997), Stein (1991), Meyers (1997), Lamb *et al.* (2006) em diversos ambientes de plataformas, em conjunto com os valores observados nas zonas costeiras da área em estudo por Oliveira *et al.* (2014), Barcellos *et al.* (2016), Barcellos *et al.* (2018) Guenther *et al.* (2015) e Travassos *et al.* (2016), observa-se que os valores $\delta^{13}\text{C}$ >

21,00_{PDB}‰ são classificados como mais enriquecido em material marinho, já os valores $\delta^{13}\text{C} < -24,00_{\text{PDB}}\text{‰}$ são classificados como origem continental.

Área de Estudo

A plataforma continental de Pernambuco está localizada entre os paralelos 07°32' e 08°55' de latitude Sul e os meridianos 34°49' e 35°09' de longitude Oeste. Apresenta 187 km de extensão, atingindo até 35km de largura, com um relevo raso e aplainado, cuja quebra da plataforma ocorre à uma profundidade média de 65m (Passavante & Feitosa, 1995; Baptista Baptista Neto *et al.*, 2004; Manso *et al.*, 2006; Domingues *et al.*, 2017). Segundo a subdivisão de Coutinho (1996), o presente trabalho aborda até a plataforma média, que vai até a isóbata de 40m de profundidade.

Em linhas gerais, a plataforma é composta pelas bacias sedimentares Paraíba – que abrange do Alto do Mamanguape até o Porto do Recife – e Pernambuco – que vai até o Alto do Maragogi, com sedimentos datados do Neógeno. A região possui clima As' na classificação de Köppen (quente e úmido), com presença de chuvas durante o outono e inverno, média de 27 °C, precipitação em torno dos 2050 mm (Nimer, 1979; Eskinazi-Leça *et al.*, 1997; Manso *et al.*, 2006; Kayano & Andreoli, 2007; Ramos, Santos, Fortes, 2009; Domingues *et al.*, 2017).

A região é delimitada pelos rios Goiana e Una, que junto com o Capibaribe, Ipojuca e Sirinhaém, mantém um aporte hídrico regular, principalmente pelos emissários urbanos presentes nas bacias destes rios próximas à costa (Manso *et al.*, 1992; Manso *et al.*, 2006; Oliveira *et al.*, 2014; Domingues *et al.*, 2017). A água possui temperatura média de 27,8 °C e salinidade média de 33, oscilando mediante aos aportes dos rios citados (Manso *et al.*, 1992; Muehe, 2006; Manso *et al.*, 2006). De acordo com Domingues *et al.* (2017), a região possui águas costeiras, em decorrência da interação com os aportes, mas predomina a presença de águas oceânicas, quentes e salinas.

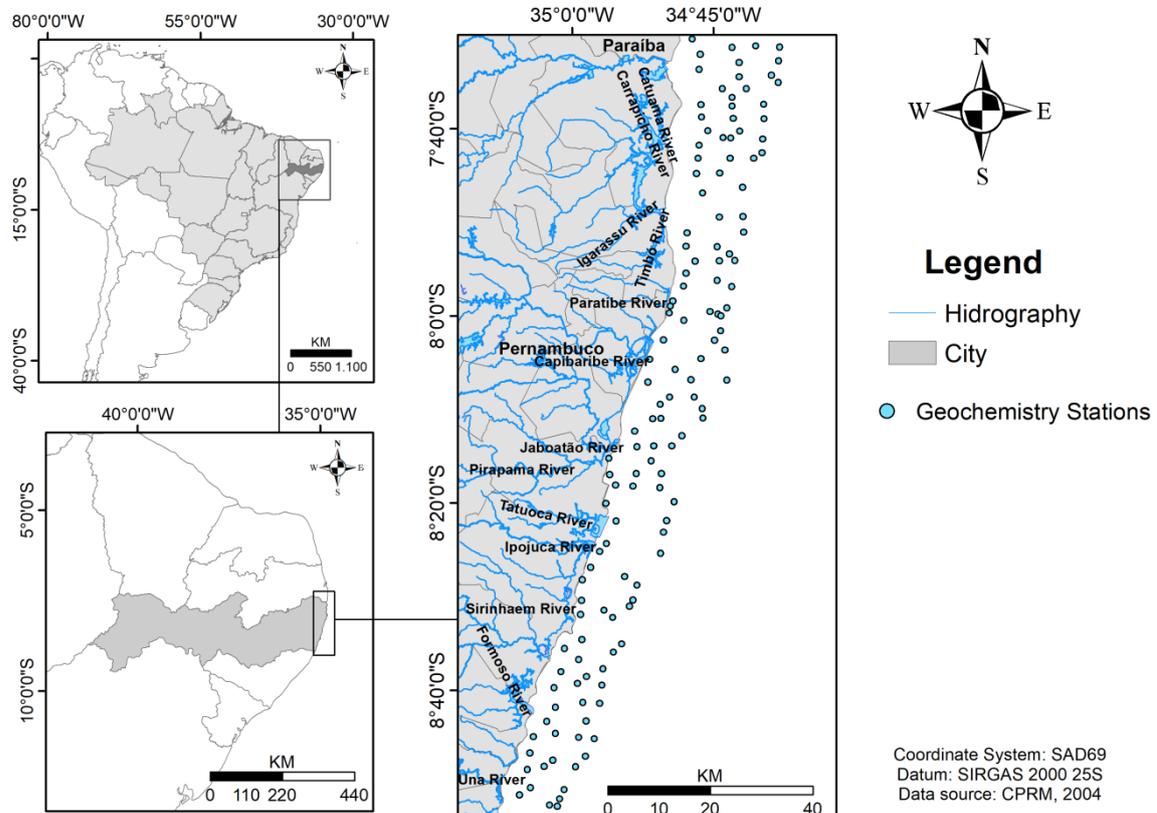
Materiais e Métodos

Análise da Composição Elementar da Matéria Orgânica do C e N e das Razões de Isótopos Estáveis de Carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e Nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$)

Para realização da presente pesquisa foram selecionadas 136 amostras ao longo da área de estudo. As amostras de sedimentos superficiais foram coletadas por uma draga do tipo Van Veen, triados pelo “Projeto GRANMAR Brasil”, subprojeto “Avaliação do potencial

mineral dos granulados marinhos no litoral do Brasil – PE/CE” da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2018) (figura 1).

Fig. 1. Distribuição dos pontos de coleta na área de estudo.



Fonte: Autor (2019)

Conforme descrito em Hedges & Stern (1984), foi realizada a remoção do CaCO_3 das amostras com uso de HCl a 10%. Posteriormente as amostras foram homogeneizadas e maceradas. Cerca de 500 mg de cada amostra foi pesada dentro de uma cápsula de estanho em balança microanalítica Metler, e em seguida, fechada para acondicionamento com uso de pinças. As cápsulas foram alocadas no autoamostrador para se analisar a composição elementar e isotópica de carbono e nitrogênio. O processo analítico ocorre pela combustão automática da amostra em um analisador elementar EA (COSTECH), acoplado a um espectrômetro de massa IRMS (ThermoFinnigan Delta V Advantage).

O processo consiste na combustão das amostras encapsuladas em colunas com óxido de cromo (CrO) à 1020°C . Em seguida o material é carregado para outra coluna com cobre ionizado (Cu^{2+}) a 650°C para liberação do N_2 e CO_2 , que são separados pela cromatografia de troca iônica. O material gasoso é analisado pelo espectrômetro de massa, o qual o N_2 e CO_2 foram calibrados previamente com padrões internacionais.

Para os dados de C e N, expressos em % (percentil), foram obtidos em conjunto com os valores das razões isotópicas de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$). As amostras foram queimadas em meio oxidante, e os gases produzidos separados por cromatografia gasosa, purificados e carregados por um fluxo contínuo de Hélio. Os valores das razões isotópicas de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) (em partes por mil) são referidos, respectivamente, ao PDB (Pee Dee Belemnite) e ao Ar (ar atmosférico). Os valores das razões C/N, por sua vez foram obtidos pela simples divisão entre os teores dos elementos de cada amostra analisada.

Análises Estatísticas

Para melhor discussão dos dados obtidos com a análise isotópica e elementar em com os dados sedimentares fornecidos, utilizou-se das análises de correlação e PCA. De modo a comparar como ocorreu a variabilidade espacial e a determinar as relações de independência existente entre os parâmetros, foi utilizado o coeficiente de correlação não paramétrico de *Spearman* (r_s) (Fernandes *et al.*, 1999). Os dados da correlação estão dispostos na tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – coeficiente de correlação de *Spearman* (r_s)

	Prof.	Cascalho (%)	Areia (%)	Lama (%)	Matéria Orgânica Total (%)	CaCO ₃	%C	%N	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}\text{‰}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Ar}}\text{‰}$
Prof.	1,00									
Cascalho (%)	-0,17	1,00								
Areia (%)	0,10	-0,67	1,00							
Lama (%)	0,07	-0,33	-0,48	1,00						
Matéria Orgânica Total (%)	0,04	0,23	-0,45	0,31	1,00					
CaCO₃	-0,40	0,43	-0,28	-0,16	0,16	1,00				
%C	-0,03	0,06	-0,05	0,00	0,06	0,18	1,00			
%N	-0,18	-0,01	0,04	-0,03	0,06	0,06	0,72	1,00		
$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}\text{‰}$	-0,03	-0,09	0,03	0,05	-0,01	-0,07	0,07	0,30	1,00	
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Ar}}\text{‰}$	0,06	0,27	-0,12	-0,15	0,25	0,05	0,22	0,28	0,26	1,00

A análise de componentes principais foi realizada para obter as fácies, visto que ela correlaciona todos os parâmetros entre si em conjunto. O software utilizado foi o *Primer 6* os dados foram normalizados pela função $[\log_{10}(x+1)]$, para uma melhor elucidação dos dados. Nesta análise não foram utilizados os parâmetros N% e o $\delta^{15}\text{N}_{\text{Ar}}\text{‰}$, visto que houveram poucas detecções no material, o que acarretaria numa interpretação equivocada devido à ausência (Regazzi, 2000). Mas para discussão das fácies os dados são trabalhados em conjunto.

Resultados e Discussão

Composição Elementar da Matéria Orgânica

Os teores de carbono orgânico total (COT) (figura 2) variaram de 0,01% a 18,08%, com média de 1,07%. Os valores abaixo de 1,0% estão presentes em 79,4% das amostras ao longo de toda área de estudo. Os valores acima de 1,0% de COT estão localizados nas áreas dos paleovales ou associados às desembocaduras de rios.

Os conteúdos de nitrogênio total (NT) (figura 3) variaram de 0,00% a 3,49%, com média de 1,09%. Da malha amostral, em apenas 52,2% das amostras houve detecção dos teores de NT. Para as 71 amostras com detecção, em 74,6% os valores estão abaixo de 0,50%. Análogo ao COT, os maiores valores estão associados às regiões dos paleocanais, principalmente nas zonas mais distantes da linha de costa.

Fig. 2. Teor de COT

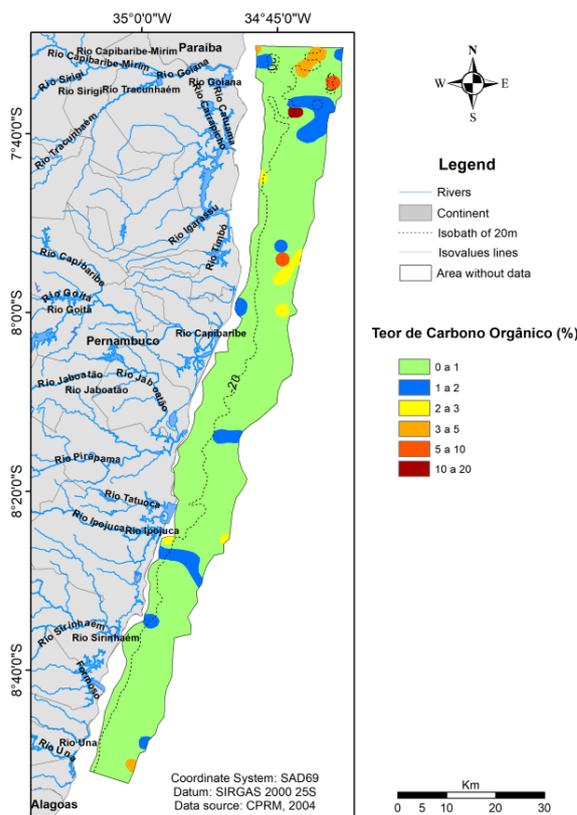
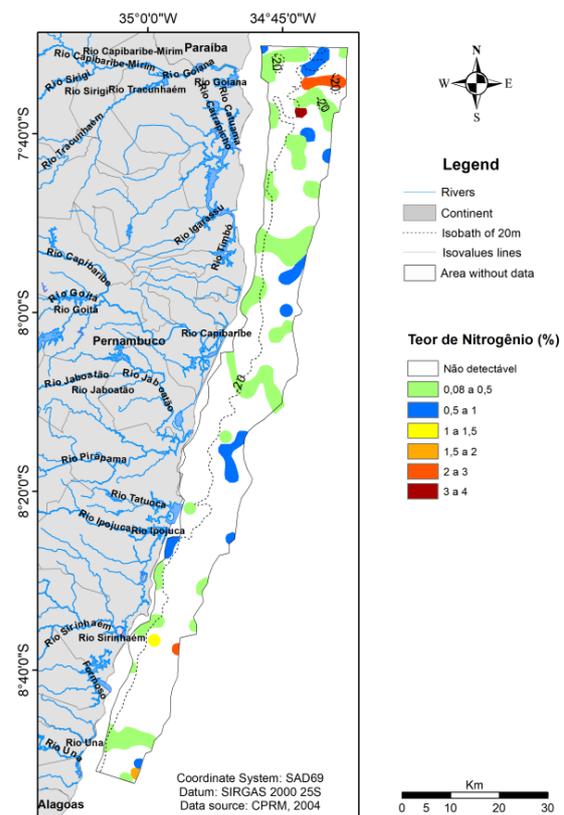


Fig. 3. Teor de NT



Fonte: Autor (2019)

Os aportes de carbono nas zonas costeiras estão associados às macroalgas, biodepósitos e decomposição da vegetação vascularizada submersa. Nos oceanos o material que chega ao fundo, é composto pela combinação do material alóctone presente na coluna

d'água, que não foi decomposto pelos microrganismos, com os restos biogênicos autóctones. Esta combinação apresenta valores entre 0,1% nas zonas costeiras e 0,1% (organismos marinhos) até 94% (querogênio) nas regiões oceânicas (Rashid, 1985; Tyson, 1995). Segundo Romankevich (1984) os teores de nitrogênio apresentam variações similares aos de conteúdos de carbono orgânico em relação à sua distribuição, numa faixa entre 0,00% a 2,19% e, os quais à medida que se aproximam de zonas costeiras tais concentrações se elevam.

Com base na correlação de *Spearman* observa-se que ambos parâmetros apresentaram uma correlação significativa ($r_s=0,72$) entre si, os teores de carbono estão positivamente associados ao teor de CaCO_3 ($r_s=0,18$), que de acordo com Paropkari *et al.* (1991), tal correlação positiva é um indicador de que o material carbonático presente nas amostras é de origem marinha.

Comparando os teores de carbono e nitrogênio com os valores observados em sedimentos por Oliveira *et al.* (2014) para a desembocadura do estuário do Rio Capibaribe ($\text{C}<3\%$; $\text{N}<0,5\%$), Barcellos *et al.* (2016) para a desembocadura do Rio Goiana ($\text{C}<1,27\%$; $\text{N}<0,1\%$), Santos e Barcellos (2017) para desembocadura do estuário do Rio Formoso ($\text{C}<2\%$), e Barcellos *et al.* (2018) para plataforma adjacente à Fernando de Noronha ($\text{C}<3,4\%$ e $\text{N}<0,9\%$), e pelo que foi observado por Guenther *et al.* (2015) na desembocadura do porto do Recife (C variando de 475 à 975 μM ; já os compostos nitrogenados $\text{N-NO}^2 + \text{N-NO}^3$ variaram de 1,5 à 6,9 μM) e Travassos *et al.* (2016) nas plumas dos rios Capibaribe e Jaboatão (C médio $<3,2\%$, N médio $<0,92\%$) na coluna d'água, observa-se que os valores são similares. Ao comparar os dados do presente trabalho com o estudo feito por Ruttemberg e Goñi (1997), observou-se que os teores são coerentes para uma região tropical, visto que para a zona adjacente ao rio Amazonas os teores de $\text{C}<0,8\%$ e $\text{N}<0,2\%$, enquanto na zona temperada (Golfo do México) os valores são um pouco mais elevados ($\text{C}<1,5\%$ e $\text{N}<0,2\%$). Na região ártica (rio e plataforma do Mackenzie) os valores de C atingem 17%, mas prevalece $\text{C}<2\%$ e o N é similar as demais regiões.

Ao comparar-se os estudos desenvolvidos por Oliveira *et al.* (2014), Barcellos *et al.* (2016), Santos e Barcellos (2017) em consonância com os dados do presente trabalho, observa-se que as regiões estuarinas possuem um potencial para retenção de material orgânico. Os teores das regiões mais internas são mais elevados ($\text{C}<9\%$ e $\text{N}<1\%$), decrescendo ao chegar às regiões de desembocaduras. Melo *et al.* (2019) descreve que feições

positivas (*beachrocks*) e negativas (paleocanais) influenciam a deposição do material sedimentar que aporta na plataforma norte da PCPE. Camargo *et al.* (2015) e Martins (2016) evidenciam que a presença zonas mais profundas propicia ambientes mais favoráveis à deposição de materiais mais finos. Esse mecanismo de transporte permitiu que sedimentos mais finos fossem carreados as regiões mais distantes da costa, possibilitando a presença de sedimento contendo $C > 10\%$ e $N < 4\%$ na plataforma média.

Origem da Matéria Orgânica

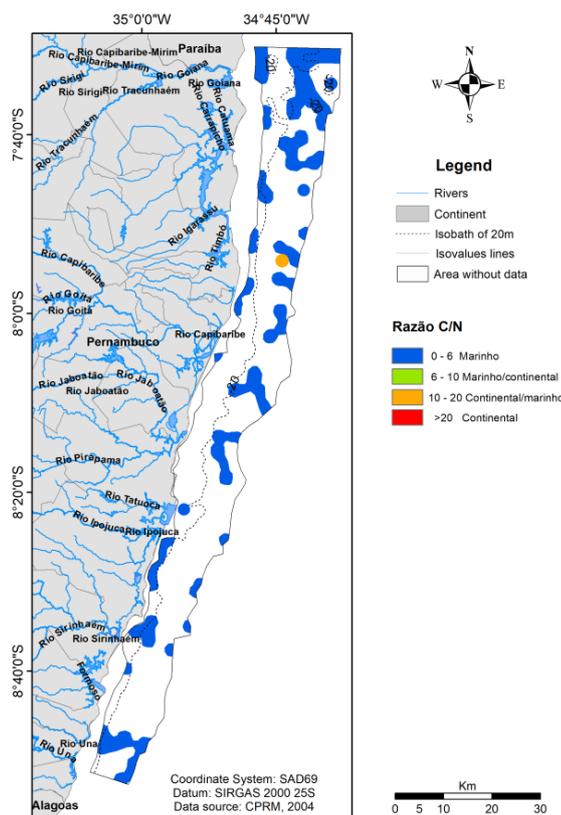
Razão C/N

A razão elementar C/N é ferramenta amplamente utilizada para realizar a caracterização de diversos tipos de matéria orgânica existentes nos ambientes aquáticos (Redfield *et al.*, 1963). Esta classificação é possível, visto que a razão pode fornecer informações que permitem indicar a origem do material orgânico, presente nos sedimentos, distinguindo fontes marinhas e terrestres (Meyers, 1997). De acordo com Faganelli *et al.* (1988) a matéria orgânica de origem terrígena pode ser identificada nos sedimentos marinhos por meio de altos teores de carbono e baixos conteúdos de proteína ($< 10\%$), resultando assim, em uma elevada razão C/N (> 10) classificando aportes terrígenos.

Para as regiões que foram possíveis realizar o cálculo da razão C/N (figura 4), os valores oscilaram entre 0,01 e 17,8, com média de 3,5 e em 98,6% das amostras os valores estão abaixo de 6. Com base na classificação proposta por Bordoviskiy (1965) Meyers (1997) prevalece material com origem autóctone, de origem marinha e com a presença de material continental carreado para zonas mais profundas

O estudo realizado em sedimentos por Oliveira *et al.* (2014) para a desembocadura do estuário do Rio Capibaribe mensurou valores C/N entre 4 e > 12 , Barcellos *et al.* (2016) para a desembocadura do Rio Goiana observou valores de $C/N < 13,6$. Travassos *et al.* (2016), para as plumas dos rios Capibaribe e Jaboatão, observaram uma razão C/N $< 12,8$ e $< 27,9$ respectivamente. Ruttenberg e Goñi (1997) classificam o material das regiões do Golfo do México e da plataforma do Rio Amazonas como material biogênico, composto por proteínas ($C/N \approx 5$). Os valores dos estudos citados são semelhantes aos observados no presente estudo. De acordo com Travassos *et al.* (2016), os valores da razão C/N crescem no período chuvoso de acordo com o aumento do aporte na zona costeira e que estimula a produção primária.

Fig. 4. Distribuição dos valores da razão C/N



Fonte: Autor (2019)

Razões isotópicas de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$)

Os teores de $\delta^{13}\text{C}$ variaram $-31,5_{\text{PDB}}\text{‰}$ a $-14,4_{\text{PDB}}\text{‰}$, com média de $-21,1_{\text{PDB}}\text{‰}$. Para as 106 amostras que o $\delta^{13}\text{C}$ foi mensurado, 53,8% estão acima de $-21,0_{\text{PDB}}\text{‰}$. Com base nas classificações propostas por Bordovskiy (1965), Ruttemberg e Goñi (1997), Stein (1991), Meyer (1997), Lamb *et al.* (2006) e para os valores observados nas zonas costeiras da área em estudo por Oliveira *et al.* (2014), Barcellos *et al.* (2017), Barcellos *et al.* (2018), Guenther *et al.* (2015) e Travassos *et al.* (2016), foi realizada a classificação em relação à origem da MO que se observa na figura 5. Há um predomínio de material marinho ($>-21,0_{\text{PDB}}\text{‰}$); em seguida há uma ampla presença de material marinho com presença de aportes continentais (entre $-21,00_{\text{PDB}}\text{‰}$ e $-24,00_{\text{PDB}}\text{‰}$), com presença de material misto continental e marinho ($-24,00_{\text{PDB}}\text{‰}$ e $-26,00_{\text{PDB}}\text{‰}$) e aportes continentais ($<-26,00_{\text{PDB}}\text{‰}$).

Os teores de $\delta^{15}\text{N}$, que foram mensurados apenas 72 amostras, variaram de $-14,6_{\text{Ar}}\text{‰}$ a $24,6_{\text{Ar}}\text{‰}$, com média de $5,8_{\text{Ar}}\text{‰}$ e prevalecendo valores $<8_{\text{Ar}}\text{‰}$ em 76,4% das amostras. Os valores negativos estão localizados nos paleocanais, sendo um ao norte e o outro ao sul da área de estudo. Com base nas literaturas citadas, estabelece-se a classificação presente na figura 6. O

predomínio ficou de material misto (3 Ar‰ à 8 Ar‰) com material de origem marinha (>8 Ar‰).

Fig.5. Teor de $\delta^{13}\text{C}$

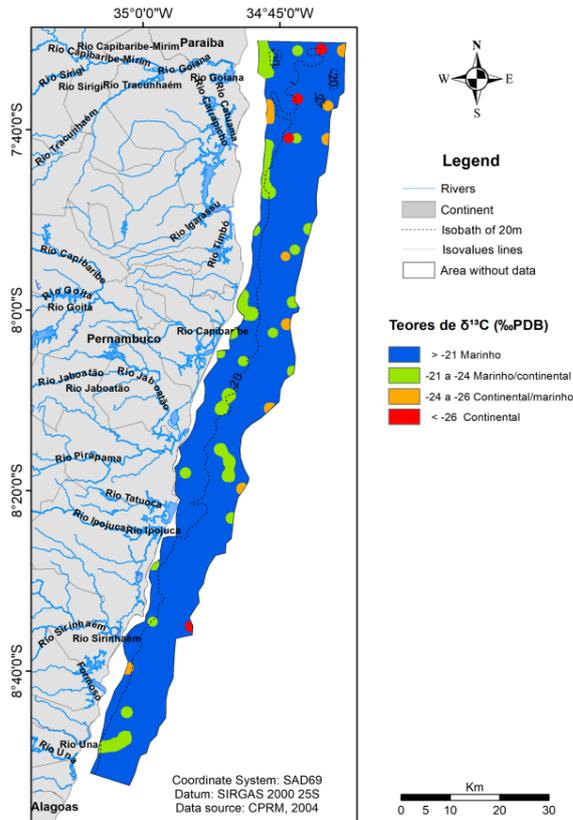
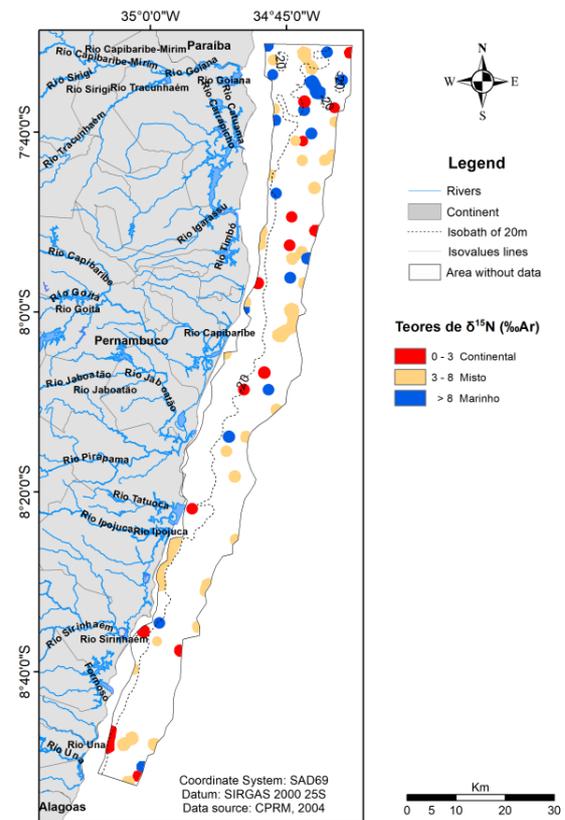


Fig.6. Teor de $\delta^{15}\text{N}$



Fonte: Autor (2019)

Com base no estudo desenvolvido por Domingues *et al.* (2017) e Travassos *et al.* (2016) para as massas d'água e as plumas dos rios Capibaribe e Jaboatão respectivamente, é possível observar que as emissões de material orgânico regulam os ciclos que ocorrem na zona costeira, principalmente nos períodos de maior produção primária. Domingues *et al.* (2017) evidenciam que em decorrência do clima associado à dinâmica local, a influência não atinge uma longa área da plataforma – até a isóbata de 20 m de profundidade –, sendo mais expressiva durante o período chuvoso, trazendo para costa material oriundo das fontes de emissão antrópicas. Camargo *et al.* (2015) afirma para a bacia do rio Formoso há a presença de canais que passaram a existir em decorrência da variação eustática do nível do mar. Os canais estão preservados pelo baixo aporte sedimentar que chega a costa, e em decorrência da baixa energia presente neles tornam-se locais de armadilhas de sedimentos mais finos (Summerhayes *et al.*, 1976; França, 1979; Weschenfelder *et al.*, 2008; Conti e Furtado, 2009; VITAL *et al.*, 2010; Camargo *et al.*, 2015). Com base nestes estudos, infere-se que o material

continental observado nestas regiões seja fruto do carreamento e deposição de aportes oriundos da costa, que podem ter ocorrido em momentos de um elevado aporte continental. As manchas de material característico que seriam traçadoras de matéria orgânica de origem continental estão associadas espacialmente, de acordo com a figura 5.5, ao largo dos estuários dos rios Goiana, Capibaribe e Una e sistema Ilha de Itamaracá. Os três primeiros estuários, excetuando-se o do Ipojuca, são os maiores rios translitorâneos pernambucanos (Manso *et al.*, 2018). Estas manchas de sedimentos finos com material orgânico alóctone estão nas estações junto à costa estariam diretamente associadas ao aporte destes cursos d'água, que apesar da baixa vazão média ($-11\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ a $50\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) (Barletta e Costa, 2009; Oliveira *et al.*, 2014), teriam a capacidade exportar material terrígeno e de imprimir esta sedimentação litoclástica, mesmo que pontual, na plataforma interna adjacente às desembocaduras.

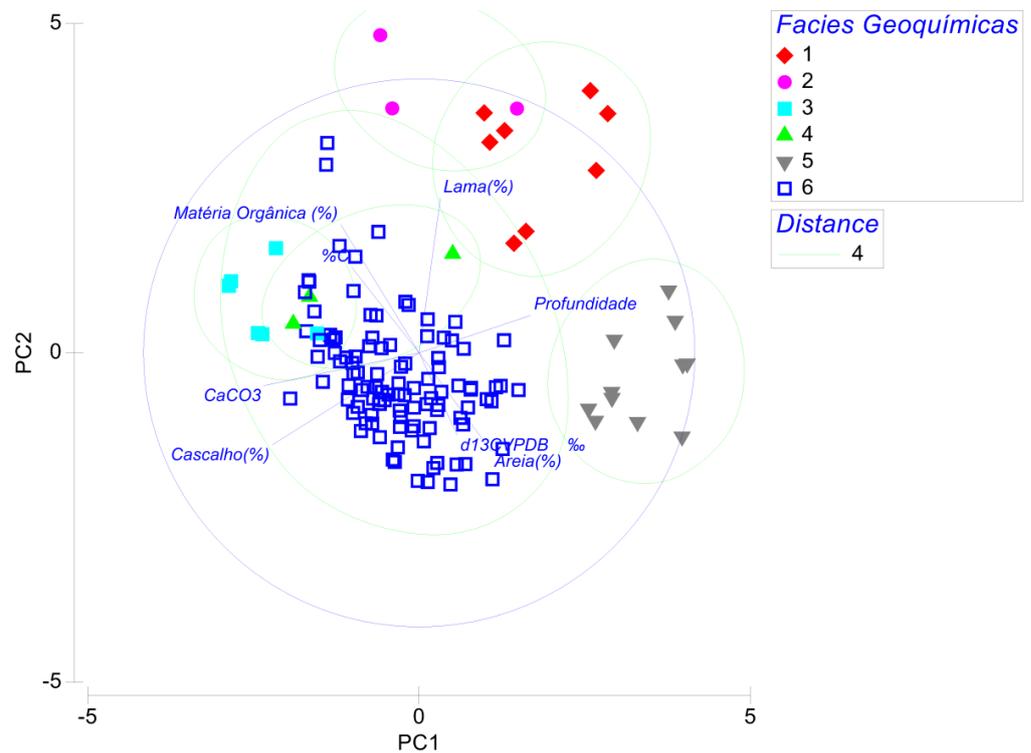
Análises Estatísticas

Análise de Componentes Principais – PCA

Os parâmetros utilizados na estatística foram: profundidade, os percentis – cascalho, areia, lama, matéria orgânica total, carbonato e carbono – e a razão isotópica $\delta^{13}\text{C}$. Os dados isotópicos e elementares do nitrogênio não foram incluídos na análise por terem tido um baixo quantitativo de detecção, desta forma a ausência de dados seria considerada um parâmetro de qualificação geoquímica durante a execução da estatística pelo software, promovendo uma falsa interpretação dos dados. Os dados de nitrogênio e $\delta^{15}\text{N}_{\text{ar}}\text{‰}$ foram reconsiderados para descrição e caracterização das fácies observadas para maior detalhamento.

Foram obtidas 6 fácies, os quais os dois principais autovetores do PCA englobam 48,7% da informação total das variantes (tabela 2). Na tabela 3 é possível observar que em ambos as componentes a profundidade selecionou positivamente as amostras, enquanto os teores de cascalho e carbonato influenciaram negativamente. Na figura 7 está exposto o gráfico e os respectivos vetores.

Fig. 7. PCA



Fonte: Autor (2019)

Tabela 2 – autovetores do PCA

Componentes Principais	Autovalores	% Variação	% Variação Acumulada
1	2,07	25,9	25,9
2	1,83	22,8	48,7

Tabela 3 – Componentes principais calculados através do PCA

Variáveis	PC1	PC2
Profundidade	0,406	0,137
Cascalho (%)	-0,532	-0,335
Areia (%)	0,262	-0,359
Lama (%)	0,077	0,564
Matéria Orgânica (%)	-0,284	0,468
CaCO ₃	-0,564	-0,120
%C	-0,245	0,312
δ ¹³ C PDB(‰)	0,138	-0,300

Fácies Geoquímicas

Com base no PCA foram estabelecidas 6 fácies geoquímicas (tabela 4) (figura 8):

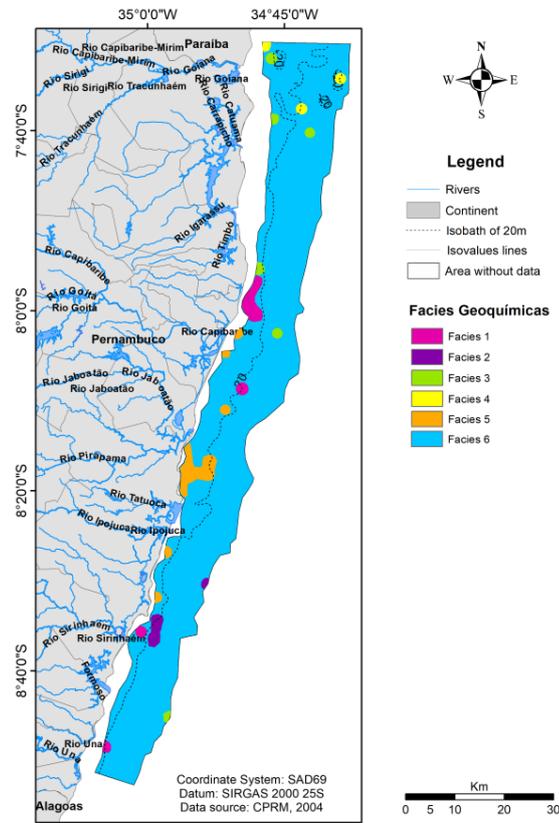
- A fácies 1 – são amostras que variaram de litoclásticas a bioclásticas, com predomínio de biolitoclásticas, granulação de lama e areia, apresentando em torno de 5,0% de MOT em média, teores de nitrogênio (< 0,36%) e carbono abaixo de 1,20% com matéria orgânica de origem marinha ($\delta^{13}\text{C}$: $-21,2_{\text{PDB}}\text{‰}$; C/N: 2,9 em média), situadas em torno dos 14m de profundidade, localizados ao largo dos estuários Capibaribe, Sirinhaém e Una;
- A fácies 2 – composta por lama bioclástica, de origem marinha ($\delta^{13}\text{C}$: $-19,3_{\text{PDB}}\text{‰}$; C/N: 2,3 em média) com teores de matéria orgânica total de 3,6% em média, teores de carbono e nitrogênio abaixo de 1,37% e 1,47% respectivamente, localizadas em uma profundidade média de 26m, ao largo do estuário do Rio Sirinhaém;
- A fácies 3 – é formada por cascalho bioclástico, com teor médio de matéria orgânica de 6,15% (alto), de origem marinha ($\delta^{13}\text{C}$: $-14,8_{\text{PDB}}\text{‰}$; C/N: 1,8 em média), com teores de nitrogênio abaixo de 0,54% e de carbono abaixo de 1%. A profundidade média é de 22,7m, localizadas na Plataforma Continental Norte de Pernambuco (PCNPe);
- A fácies 4 – é composta por areia bioclástica com elevados teores de carbono orgânico (média de 10,4%) e nitrogênio (média de 2,52%) na sua composição de origem marinha ($\delta^{13}\text{C}$: $-19,5_{\text{PDB}}\text{‰}$; C/N: 4 em média), localizada em 2 pontos na PCPE, cujos altos teores orgânicos podem se associar à alta produção biogênica local;
- A fácies 5 – varia de areias litoclásticas a litobioclásticas, com baixos teores de matéria orgânica total (média de 1,09%) (< 1,03%) e teores de carbono e nitrogênio abaixo de 0,55% e 1,78% respectivamente, e matéria orgânica de origem marinha ($\delta^{13}\text{C}$ $-11,3_{\text{PDB}}\text{‰}$; C/N: 0,6 em média). Esta fácies está localizada principalmente adjacente ao promontório do cabo de Santo Agostinho e sistema estuarino de Suape-Ipojuca, cujas rochas da Suíte Granítica do Cabo (Lima Filho *et al.*, 2006) seriam as principais fontes destes depósitos de siliciclásticos que ocorrem na plataforma continental;

- A fácies 6 – prevaleceu sobre todas as outras fácies, sendo composta por areias e cascalhos bioclásticos, matéria orgânica total com média de 2,5%, de origem marinha ($\delta^{13}\text{C}$: $-16,5_{\text{PDB}}\%$; C/N: 1,8 em média) e, em geral, baixos teores de carbono orgânico (0,64% em média) e teores médios de nitrogênio (0,22% em média).

Este teor médio comparativamente mais alto de nitrogênio em relação ao carbono, acima da proporção C:N da relação de Redfield (106:16) (Redfield *et al.*, 1963), pode ser o grande indicativo da produção biogênica local na contribuição para a matéria orgânica depositada nos sedimentos superficiais em grande parte da PCPE. Esta proporção C:N se reflete nas baixas razões C/N, indicativas de valores derivados do plâncton marinho (fito e zôo) (Saito *et al.*, 1989; Meyers, 1997), bem como os conteúdos mais enriquecidos da razão $\delta^{13}\text{C}$ ($-16,5_{\text{PDB}}\%$). Esse fator, somado, ao baixo aporte terrígeno costeiro conferem o caráter predominante da PCPE, denominada uma plataforma faminta (*starving shelf*) (Dominguez *et al.*, 1990), com composição areno-cascalhosa biogênica, com baixos a médios teores orgânicos de origem marinha.

Por outro lado, quando a quantidade de MOT é muito baixa devido à moderada a alta hidrodinâmica de correntes da região, tal qual observado por Domingues *et al.* (2017), o nitrogênio seria mais facilmente reciclado em relação ao carbono nos estágios iniciais da oxidação da matéria orgânica após depositada (Bader, 1955). Essa condicionante acarretaria no grande número de amostras (n=65) nas quais o NT não foi detectado (0,00%).

Fig. 8. Fácies geoquímicas



Fonte: Autor (2019)

Observando as fácies, torna-se evidente o comportamento já mencionado, de que a Água Costeira (AC) (com sedimentos terrígenos e matéria orgânica) interage com a Água Tropical (AT) (Domingues *et al.*, 2017). No qual as fácies 1 a 5 estão mais relacionadas de acordo com desembocaduras de estuários e paleovales associados, cujos aportes podem ser observados nos estudos realizados por Oliveira *et al.* (2014), Barcellos *et al.* (2016), Santos e Barcellos (2017), que demonstram como os sistemas estuarinos atuam na retenção do material orgânico, e, em casos de grandes aportes fluviais, poderia atingir porções mais a *offshore* da região. Os paleovales seriam os condutos naturais deste material terrígeno, conforme postulado por Camargo *et al.* (2015). Guenther *et al.* (2015) e Travassos *et al.* (2016) evidenciam que os processos que ocorrem na coluna d'água são resultantes das relações entre as diversas atividades exercidas no meio – como descargas de diversos tipo de efluentes – com as variantes ambientais – precipitação, sazonalidade, fisiografia – o que resulta no material depositado. A fácies 6 predomina em toda área de estudo. Isso evidencia a grande influência das águas oceânicas observadas por Domingues *et al.* (2017) na plataforma continental de Pernambuco.

Conclusões

Com base nos dados do presente trabalho, observa-se que plataforma continental interna e média de Pernambuco possui um predomínio de material de origem autóctone bioclástico areno-cascalhoso pobremente selecionado, com baixos a médios teores orgânicos de origem marinha ao longo de toda sua extensão com a presença de materiais de origem continental localizados em manchas nas regiões mais costeiras.

Os dados deixam evidentes que por fatores como fisiografia e as condicionantes meteoceanográficas, o material de origem continental pode ser carregado às regiões mais distantes da costa – isóbata de -20 metros.

A fácies 6, que predomina em toda a área, evidencia um ambiente com energia hidrodinâmica moderada a alta, refletido pela cobertura bioclástica areno-cascalhosa pobremente selecionada, com material orgânico de origem biogênica.

As fácies 1 a 5 evidenciam a influência dos aportes terrígenos, que podem trazer poluentes e contaminantes adsorvidos em sua composição e que a zonas costeiras exportam para as áreas marinhas adjacentes. Carece, no entanto, de estudos acerca da temática sedimentar e geoquímica marinha para um maior detalhamento.

Agradecimentos

Os autores deste presente trabalho agradecem ao Serviço Geológico do Brasil – CPRM que por meio do projeto “*Granulados Marinhos – GRANMAR Pernambuco*”, pela realização das coletas e acondicionamento das amostras. Agradecem à Hortência M. B. de Assis e equipe (CPRM-PE), Ronaldo G. Bezerra (CPRM-PE) pela concessão dos dados coletados *in loco*. A Carlos Fernando de A. Soares Júnior (UFC) e Prof. George Satander Sá Freire (UFC) pela concessão das análises sedimentares realizadas. Ao Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha (LGGM) e ao Laboratório de Oceanografia Geológica da Universidade Federal de Pernambuco (Labogeo-UFPE), pela estrutura e suporte para realização das análises geoquímicas. E ao Núcleo de Estudos de Granito – Laboratório de Isótopos Estáveis – NEG-LABISE – da Universidade Federal de Pernambuco, em especial ao Dr. Alcides Sial e à Dra. Valderez Ferreira.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Integrando-se os capítulos apresentados, segue as considerações finais do trabalho.

7.1 CONCLUSÕES

A PCPE possui uma cobertura sedimentar mista, englobando desde sedimentos siliciclásticos à carbonáticos, prevalecendo uma cobertura areno-cascalhosa, composta por material bioclástico com baixos teores orgânicos.

A cobertura é o resultado entre o baixo aporte sedimentar do continente em conjunto com os distintos ambientes fisiográficos, tais como: bancos de rochas de praias e de recifes de corais, vales incisos e paleolinhas de costa. Estes relevos e aportes possibilitaram agrupamentos de fácies sedimentares distintas: cascalhos bioclásticos, areias siliciclásticas, margas e lamias calcárias; que oscilam em sua composição em decorrência da combinação dos materiais presentes de acordo com o que aporta, as feições fisiográficas, hidrodinâmica e a produção biogênica local.

Os resultados do estudo de aspectos batimétricos e da natureza da cobertura de sedimentos recentes na região plataformal rasa adjacente a Ilha de Itamaracá, mostraram que nesta área os sedimentos são predominantemente areno-cascalhosos carbonáticos. A distribuição dos sedimentos terrígenos e carbonáticos está associada à fisiografia da região, em conjunto com a hidrodinâmica e a produção biogênica local. Sugere-se que os arenitos praias (beachrocks) que ocorrem na linha de litoral controlam o efeito de energia das ondas e marés o que interfere no transporte de sedimentos terrígenos. Também, é sugerido que as regiões de paleocanais (Shelfvalleys) servem como uma zona de armadilha para os sedimentos mais finos, principalmente junto à costa, conforme observado ao largo dos estuários dos rios Goiana e Capibaribe.

Com base nos dados do presente trabalho, observa-se que plataforma continental interna e média de Pernambuco possui um predomínio de material de origem autóctone bioclástico areno-cascalhoso pobremente selecionado, com baixos a médios teores orgânicos de origem marinha ao longo de toda sua extensão com a presença de materiais de origem continental localizados em manchas nas regiões mais costeiras. Esta composição é resultado do que aporta com as condicionantes marinhas da área em estudo.

As fácies geoquímicas 1 a 5 evidenciam a influência dos aportes terrígenos, que podem trazer poluentes e contaminantes adsorvidos em sua composição e que a zonas

costeiras exportam para as áreas marinhas adjacentes. A fácies 6, que predomina em toda a área, evidencia um ambiente com energia hidrodinâmica moderada a alta, refletido pela cobertura bioclástica areno-cascalhosa pobremente selecionada, com material orgânico de origem biogênica.

O presente trabalho traz dados novos sobre a composição da matéria orgânica sedimentar, relacionando os aportes observados no meio marinho com as condicionantes ambientais, como a sazonalidade, as correntes, a sedimentação e a fisiografia.

7.2 POTENCIALIDADES FUTURAS

A presente pesquisa trouxe uma nova ótica para a cobertura sedimentar, apresetando mais detalhes sobre o material que recobre a PCPE. Mas ressalta-se a demanda de estudos mais detalhados e que se possível extenda-se a plataforma externa, de modo à compreender mais sobre a fisiografia e como a mesma influencia na cobertura.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **11ª Rodada de Licitações de Petróleo e Gás**. Brasília: ANP, 2013. Disponível em: http://files.anp.gov.br/arquivos/Seminarios_r11/tec_ambiental/BACIA_PEPBrodada11.pdf.
- ALLEN, G. Primary structure of the calcium ion-transporting adenosine triphosphatase of rabbit skeletal sarcoplasmic reticulum. Soluble peptides from the α -chymotryptic digest of the carboxymethylated protein. **Biochemical Journal**, 187(3), 565-575, 1980.
- ALMEIDA, T. D. M., & MANSO, V. D. A. V. Sedimentologia da plataforma interna adjacente a Ilha de Itamaracá-PE. **Estudos Geológicos**, 21 (1), 135-152, 2011.
- ALVES, C. S. **Sedimentação atual e comportamento da matéria orgânica no sistema estuarino do rio Goiana (PE-PB)**. 2016. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016, 79p.
- AMTHOR, J. E.; FRIEDMAN, G. M. Early-to late-diagenetic dolomitization of platform carbonates; Lower Ordovician Ellenburger Group, Permian Basin, West Texas. **Journal of Sedimentary Research**, 62 (1), 131-144, 1992.
- AMANCIO, C. E. **Precipitação de CaCO₃ em algas marinhas calcárias e balanço de CO₂ atmosférico: os depósitos calcários marinhos podem atuar como reservas planetárias de carbono?** 2007. Doctoral (dissertation) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- ANDERTON, R. Tidal-shelf sedimentation: an example from the Scottish Dalradian. **Sedimentology**, 23 (4), 429-458, 1976.
- ARNOSTI, C.; JORGENSEN, B. B.; SAGEMANN, J.; THAMDRUP, B. (1998). Temperature dependence of microbial degradation of organic matter in marine sediments: polysaccharide hydrolysis, oxygen consumption, and surface reduction. **Marine Ecology Progress Series**, v. 165, p. 59-70, 1998.
- ARAÚJO, T. C. M.; SEOANE, J. C. S.; COUTINHO, P. N. Geomorfologia da plataforma continental de Pernambuco. *In*: LEÇA, E. E.; NEUMANN-LEITÃO, S.; COSTA, M. F. (Eds.). **Oceanografia - um Cenário Tropical**. Recife: Bagaço, 2004. p. 39-57.
- AZEVEDO, J. C. R., MIZUKAWA, A., TEIXEIRA, M. C., & PAGIORO, T. A. (2008). Contribuição da decomposição de macrófitas aquáticas (*Eichhornia azurea*) na matéria orgânica dissolvida. **Ecologia Brasiliensis**, 12(1), 5, 2008.
- BAO, H.; WU, Y.; TIAN, L.; ZHANG, J.; ZHANG, G. (2013). Sources and distributions of terrigenous organic matter in a mangrove fringed small tropical estuary in South China. **Acta Oceanologica Sinica**, v. 32, n. 4, p. 18–26, 2013.
- BAPTISTA NETO, J. A; PONZI, V. R. A.; SICHEL, S. E. **Introdução à geologia marinha**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. 279p.
- BARCELLOS, R. L.; FURTADO, V. V. Processo sedimentar atual e a distribuição de carbono e nitrogênio orgânico no Canal de São Sebastião (SP) e plataforma continental interna adjacente. **Revista brasileira oceanográfica**, 47(2):207-221, 1999.

- BARCELLOS, R. L., & FURTADO, V. V. Organic matter contents and modern sedimentation at São Sebastião Channel, São Paulo State, south-eastern Brazil. **Journal of Coastal Research**, p. 1073-1077, 2006.
- BARCELLOS, R. L. **Processo sedimentar atual e a distribuição da matéria orgânica sedimentar (C, N e S) de São Sebastião (SP) e Plataforma Continental adjacente**. 2000. 187 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- BARCELLOS, R. L. **Distribuição da matéria orgânica sedimentar e o processo sedimentar atual no Sistema Estuarino-Lagunar de Cananéia-Iguape (SP)**. 2005. Tese (Doutorado) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. 2v.
- BELLEÇ, V.K., CIRAC, P., FAUGÈRES, J. Formation and evolution of paleo-valleys linked to a subsiding canyon, North Aquitaine shelf. **C. R. Geosci.**, 341, 36–38, 2009. (in France).
- BERBEL, G. B. B. **Estudo do fósforo sedimentar e de suas especiações químicas em dois sistemas costeiros e Plataforma Continental Sudeste (Brasil) e Baía do Almirantado (região antártica) considerando suas relações biogeoquímicas**. Doctoral (dissertation) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- BIANCHI, T. S., & CANUEL, E. A. **Chemical biomarkers in aquatic ecosystems**. Princeton University Press, 2011.
- BJÖRK, M., MOHAMMED, S. M., BJÖRKLUND, M.; SEMESI, A. Coralline algae: important coral-reef builders threatened by pollution. **Ambio** 24: 502–505, 1995.
- BLUM, M. D., MARTIN, J., MILIKEN, K., GARVIN, M. Paleovalley systems: Insights from Quaternary analogs and experiments. **Earth Sci. Rev.** 116, 128–169, 2013.
- BLUNDEN, G., CAMPBELL, S.A., SMITH, J.R., GUIRY, M.D., HESSION, C.C. & GRIFFIN, R.L. Chemical and physical characterization of calcified red algal deposits known as maërl. **J. Appl. Phycol.** 9: 11-17, 1997.
- BONIFAY, D.; GIRESSE, P. Middle to late Quaternary sediment flux and post-depositional processes between the continental slope off Gabon and the Mid-Guinean margin. **Marine Geology**, 106(1-2), 107-129, 1992.
- BORDOVISIY, O. K. Accumulation of organic matter in bottom sediments. **Marine Geology**, 3:33-82, 1965.
- BURDIGE, D. J. Preservation of organic matter in marine sediments: controls, mechanisms, and an imbalance in sediment organic carbon budgets?. **Chemical reviews**, 107(2), 467-485, 2007.
- CAMARGO, J. M. R. D. **Geodiversidade e paisagens submersas de uma plataforma continental tropical no nordeste do Brasil**. 2016. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2016. 160p.
- COBRA, R. Q. **Geologia da região do Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco**. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte (Doctoral dissertation, Tese de Doutorado, 1960. 70 p.
- CÓRDOBA, V. C.; JARDIM DE SÁ, E. F., SOUSA, D.; ANTUNES, A. F.; CRUZ, L. R. Bacia de Pernambuco-Paraíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, 15(2), 391-403, 2007.

- Conti, L. A., & Furtado, V. V. (2009). **Topographic registers of paleo-valleys on the southeastern Brazilian continental shelf**. *Brazilian Journal of Oceanography*, 57(2), 113-121.
- Coutinho, P. D. N., & Morais, J. O. D. (1970). **Distribucion de los sedimentos en la Plataforma Continental Norte Y Nordeste del Brasil**.
- Coutinho, P. N. (1976). **Geologia marinha da plataforma continental Alagoas-Sergipe**. T. Livre Docência, UFPE, Recife.
- Coutinho, P. N. (1996). **Levantamento do estado da arte da pesquisa dos recursos vivos marinhos do Brasil-Oceanografia Geológica. Região Nordeste**. Programa REVIZEE. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal (MMA). Brasília, 97p
- Cruz, L. R., Lima Filho, M. F., Neumann, V. H. M. L., Jardim de Sá, E. F., Alves da Silva, F. C., Frutuoso Jr, L. J., ... & Melo, K. J. V. (2003). **As unidades siliciclásticas da Sub-bacia de Pernambuco: uma revisão lito-estratigráfica**. *Cong. Bras. P & D em Petróleo e Gás*, 2, 50-50.
- Dawson, T. E., & Brooks, P. D. (2001). **Fundamentals of stable isotope chemistry and measurement**. In *Stable isotope techniques in the study of biological processes and functioning of ecosystems* (pp. 1-18). Springer, Dordrecht.
- Dittmar, T., & Lara, R. J. (2001). **Molecular evidence for lignin degradation in sulfate-reducing mangrove sediments (Amazonia, Brazil)**. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 65(9), 1417-1428.
- Dominguez, J. M. (2009). **The coastal zone of Brazil**. In *Geology and geomorphology of holocene coastal barriers of Brazil* (pp. 17-51). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Emery, K. O. (1952). **Continental shelf sediments of southern California**. *Geological Society of America Bulletin*, 63(11), 1105-1108.
- Emery, K. O. (1968). **Relict sediments on continental shelves of world**. *AAPG Bulletin*, 52(3), 445-464.
- Faganeli, J; Pedzic, J.; Ogorelec, B.; Misic, M. & Najdek, M.(1994). **The Origin of Sedimentary Organic Matter in the Adriatic**. *Continental Shelf Research* v. 14, p. 365-384.
- Feller, C., & Beare, M. H. (1997). **Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics**. *Geoderma*, 79(1-4), 69-116.
- Frota, F. F., Truccolo, E. C., & Schettini, C. A. (2016). **Tidal and sub-tidal sea level variability at the northern shelf of the Brazilian Northeast Region**. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 88(3), 1371-1386.
- Furtado, V. V., Barcellos, R. L., Conti, L. A., Rodrigues, M., & Mahiques, M. M. (2008). **Sedimentação. Oceanografia de um ecossistema subtropical: Plataforma de São Sebastião, SP**. Editora da Universidade de São Paulo (EDUSP), 141-180.
- Galloway, J. N., Aber, J. D., Erisman, J. W., Seitzinger, S. P., Howarth, R. W., Cowling, E. B., & Cosby, B. J. (2003). **The nitrogen cascade**. *Bioscience*, 53(4), 341-356.

- Garrison, T. (2010). *Fundamentos de oceanografia*. Cengage Learning. 492p.
- Giulietti, N., & Assumpção, R. D. (1995). **Indústria pesqueira no Brasil**. *Agricultura em São Paulo*, 42(2), 95-127.
- Gomes, M. P., & Vital, H. (2010). **Revisão da compartimentação geomorfológica da Plataforma Continental Norte do Rio Grande do Norte, Brasil**. *Revista Brasileira de Geociências*, 40(3), 321-329.
- Goreau, T. F. (1963). **Calcium carbonate deposition by coralline algae and corals in relation to their roles as reef-builders**. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 109(1), 127-167.
- Granata, T.C., Vidondo, B., Duarte, C.M., Satta, M.P., Gracia, M. (1999). **Hydrodynamics and particles transport associated with a submarine canyon of Blanes (Spain), NW Mediterranean Sea**. *Cont. Shelf Res.* 19, 1249–1263.
- Gutierrez, B.T., Uchupi, E., Driscoll, N.W., Aubrey, D.G. (2003). **Relative sea-level rise and the development of valley-fill and shallow-water sequences in Nantucket Sound, Massachusetts**. *Mar. Geol.* 193, 295–314.
- Halfar, J., Godinez-Orta, L. & Ingle, J.C. (2000). **Microfacies analysis of recent carbonate environment in the Southern Gulf of California, México – a model for warm-temperate to subtropical carbonate formation**. *Palaios* 15: 323-342.
- Harris, P.T., Macmillan-Lawler, M., Rupp, J., Baker, E.K., (2014). **Geomorphology of the oceans**. *Mar. Geol.* 352, 4–24.
- Hayes, M. O., (1967). **Hurricanes as geological agents: case studies of hurricanes Carla, 1961 and Cindy, 1963**. *Rept. Invest.*, 61 : 1-50.
- Hedges, J. I., & Stern, J. H. (1984). **Carbon and nitrogen determinations of carbonate-containing solids**. *Limnology and Oceanography*, 29(3), 657-663.
- Heezen, B. C., Glass, B., & Menard, H. W. (1966). **The Manihiki Plateau**. In *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts* (Vol. 13, No. 3, pp. 445-458). Elsevier.
- Hillis-Colinvaux, L. (1986). **Deep water populations of Halimeda in the economy of an atoll**. *Bull. Mar. Sci.* 38: 155-169.
- Hoefs, J. (2004). **Stable Isotope in Geochemistry**. 5th ed. Germany: Springer-Verlag.
- Hu, L.; Guo, Z.; Feng, J.; Yang, Z.; Fang, M. (2009). **Distributions and sources of bulk organic matter and aliphatic hydrocarbons in surface sediments of the Bohai Sea, China**. *Marine Chemistry*, v. 113, n. 3-4, p. 197–211..
- Hyland, J.; Balthis, L.; Karakassis, I.; Magni, P.; Petrov, A.; Shine, J.; Vestergaard, O. & Warwick, R. (2005). **Organic carbon content of sediments as an indicator of stress in the marine benthos**. *Marine Ecology Progress Series*, v. 295, p. 91-103.
- IHO. (2008). **Standardization of Undersea Feature Names: Guidelines Proposal form Terminology**, 4th ed. International Hydrographic Organisation and Intergovernmental Oceanographic Commission, Monaco, p. 32.

- Intès, A., & Le Loeuff, P. (1986). **Les annélides polychètes de Côte d'Ivoire: 4. Relations faune-sédiments.** *Océanographie tropicale*, 21(1), 53-88.
- Johnson, H. D., & Baldwin, C. T. (1996). **Shallow clastic seas. Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy**, 3, 232-280.
- Kempf, M. (1970). **A plataforma continental de Pernambuco (Brasil): nota preliminar sobre a natureza do fundo.** *Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco*, 67(69), 95-110.
- Kempf, M., Coutinho, P. N., & Moñs, J. O. S. (1968). **A plataforma continental do N-NE do Brasil. Nota preliminar sobre a natureza do fundo.** *DHN Marinha do Brasil*, Rio, 6, 579-600.
- Kempf, M. (1970). **A plataforma continental de Pernambuco (Brasil): nota preliminar sobre a natureza do fundo.** *Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco*, 67(69), 95-110.
- Kennett, J. P., (1982). **Marine Geology.** Prentice-Hall, New Jersey, NJ, 813 pp.
- Klotz, M. G., & Stein, L. Y. (2008). **Nitrifier genomics and evolution of the nitrogen cycle.** *FEMS microbiology letters*, 278(2), 146-156.
- Koho, K. A., Nierop, K. G. J., Moodley, L., Middelburg, J. J., Pozzato, L., Soetaert, K., ... & Reichart, G. J. (2013). **Microbial bioavailability regulates organic matter preservation in marine sediments.** *Biogeosciences*, 10(2), 1131-1141.
- Krishna, M. S., Naidu, S. A., Subbaiah, C. V., Gawade, L., Sarma, V. V. S. S., & Reddy, N. P. C. (2015). **Sources, distribution and preservation of organic matter in a tropical estuary (Godavari, India).** *Estuaries and coasts*, 38(3), 1032-1047.
- Laborel, J. (1970). **Les peuplements de madréporaires des cotes tropicales du Brésil.** *Annals Univ. Abidjan (série E)* 2(3): 1-260.
- Larcombe, P., Ridd, P. V., Prytz, A., & Wilson, B. (1995). **Factors controlling suspended sediment on inner-shelf coral reefs, Townsville, Australia.** *Coral reefs*, 14(3), 163-171.
- Larsonneur, C. (1977). **La cartographie des depots meubles sur le plateau continental français: méthode mise au point et utilisée en Manche.** *J. Rech. océanogr*, 2(2), 33-39.
- Larsonneur, C., Bouysse, P., & Aufret, J. P. (1982). **The superficial sediments of the English Channel and its Western Approach.** *Sedimentology*, 19(6), 851-864.
- Leeder, M. R. (2009). **Sedimentology and sedimentary basins: from turbulence to tectonics.** John Wiley & Sons. 602p.
- Lira, L. (1997). **Geologia do Canal de Santa Cruz e praia submarina adjacente a Ilha de Itamaracá – PE.** Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, UFRGS. 102p.
- Liu, J.T., Liu, K., Huang, J.C. 2002. **The effect of a submarine canyon on the river sediment dispersal and inner shelf sediment movements in southern Taiwan.** *Mar. Geol.* 181, 357-386.

- Liu, J. T., Hsu, R. T., Yang, R. J., Wang, Y. P., Wu, H., Du, X., ... & Zhu, J. (2018). **A comprehensive sediment dynamics study of a major mud belt system on the inner shelf along an energetic coast**. *Scientific reports*, 8(1), 4229.
- Littler, M. M., & Littler, D. S. (1995). **Impact of CLOD pathogen on Pacific coral reefs**. *Science*, 267(5202), 1356-1360.
- Liu, M.; Hou, L. J.; Xu, S. Y.; (2006). **Organic carbon and nitrogen stable isotopes in the intertidal sediments from the Yangtze Estuary, China**. *Marine Pollution Bulletin*, v. 52, n. 12, p. 1625–1633.
- Lobban, C.S. & Harrison, P.J. (1994). **Seaweed ecology and physiology**. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 366pp.
- Mabesoone, J. M., & Coutinho, P. N. (1970). **Littoral and shallow marine geology of northern and northeastern Brazil**. Universidade Federal de Pernambuco, Laboratório de Ciências do Mar.
- Mackenzie, F. T. (1998). **Our changing planet: an introduction to earth system science and global environmental change** (No. 504.3/. 7 MAC).
- Manso, V. D. A. V., Coutinho, P. N., Guerra, N. C., & Junior, C. F. A. S. (2006). **Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro: Pernambuco**. Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha–LGGM. Recife: Editorial da Universidade, 162.
- McMANUS, D. (1975) **Modern versus Relict Sediment on the Continental Shelf**. *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 86, p.1154-1160.
- Martins, L. R., & Coutinho, P. N. (1981). The Brazilian continental margin. *Earth-Science Reviews*, 17(1-2), 87-107.
- Martins, S. E., Barcellos, R. L., Flores-Montes, M. J., & DE França, E. J. (2016). **Depositional evolution in a estuarine lagoonal system under a port influence in Northeastern Brazil**. *Journal of Coastal Research*, 75(sp1), 84-88.
- Martinelli, L. P.; Ometto, J. P. H. B.; Ferraz, E. S.; Victoria, R. L.; Camargo, P. B.; Moreira, M. Z. (2009). **Desvendando Questões Ambientais com Isótopos Estáveis**. São Paulo: Oficina de Textos. 144 p.
- Mayer L. M.; Schick L. L.; Allison M.A; Ruttenberg, K.C.; Bentley S.J. (2007). **Marine vs. Terrigenous organic matter in Louisiana coastal sediments: The uses of bromine: organic carbon ratios**. *Marine Chemistry*, vol. 107, p. 244-254.
- Melo. M. C. S. S., Barcellos, R. L., Oliveira, L. E. E., Manso, V. A. V. (2019). **ASPECTOS SEDIMENTOLÓGICOS E BATIMÉTRICOS DA PLATAFORMA CONTINENTAL NORTE DE PERNAMBUCO – BRASIL**. *Estudos Geológicos*, no prelo.
- Meyers, P. A. (1997). **Organic Geochemical Proxies of Paleocyanography, Paleominologic and Paleoclimatic Processes**. *Organic Geochemistry* 27, 213-250.
- Michelli, M., Araújo, T.C.M., Maida, M., Vital, H., (2001). **Indicatives of ancient conditions of sea level stability on the southern Pernambuco continental shelf**. *Rev. Pesqui. Geociên.* 28 (2), 25–33.

- Milliman, J.D. & Amaral, C.A.B. (1974). **Economic potential of brazilian continental margin sediments**. Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia: 335-344.
- Mitchell, J.K., Holdgate, G.R., Wallace, M.W. (2007). **Pliocene—pleistocene history of the Gippsland Basin outer shelf and canyon heads, southeast Australia**. Aust. J. Earth Sci. 54 (1), 49–64. An International Geoscience Journal of the Geological Society of Australia.
- Muehe, D. C. E. H. (2006). **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 1, 475.
- Müller, P. J. (1977). **CN ratios in Pacific deep-sea sediments: Effect of inorganic ammonium and organic nitrogen compounds sorbed by clays**. Geochimica et Cosmochimica Acta, 41(6), 765-776.
- Müller, P. J. & E. Suess.(1979) **Productivity, Sedimentation Rate, and Sedimentary Organic Matter in the Oceans**. I. - Organic Matter Preservation. Deep- Sea Research, v. 36, p. 191-209.
- Nascimento, M. A. L., Souza, Z. S., Lima Filho, M. F., Jardim de Sá, E. F., Cruz, L. R., Frutuoso Jr, L. J., ... & Guedes, I. M. G. (2004). **Relações estratigráficas da província magmática do Cabo, Bacia de Pernambuco, Nordeste do Brasil**. Estudos Geológicos, 14, 3-19.
- Nimer, E. (1979). **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro. 427p.
- Ogrinc, N.; Fontolan, G.; Faganeli, J. & Covelli, S. (2005). **Carbon and nitrogen isotope compositions of organic matter in coastal marine sediments (the Gulf of Trieste, N Adriatic Sea): indicators of sources and preservation**. Marine Chemistry, v. 95, p. 163-181.
- OLIVEIRA, L. E. E. (2016). **Estudo da matéria orgânica sedimentar como indicador ambiental nas adjacências do Porto do Recife, Ilha de Itamaracá e arquipélago de Fernando de Noronha (Pernambuco)** (Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco). 185f.
- Oliveira, T. D. S., Barcellos, R. L., Schettini, C. A. F., & Camargo, P. B. D. (2014). **Processo sedimentar atual e distribuição da matéria orgânica em um complexo estuarino tropical, Recife, PE, Brasil**. Revista de Gestão Costeira Integrada, 14(3), 399-412.
- Paropkari, A. L.; Iyer, S. D.; Chauhan, O. S. & Babu, C. P. (1991). **Depositional environments inferred from variations of calcium carbonate, organic carbon, and sulfide sulphur: a core from southeastern Arabian Sea**. Geo-Marine Letters, 11:96-102.
- Passavante, J. Z. O. & Feitosa, F. A. N. (1995). **Produção primária do fitoplâncton da plataforma continental de Pernambuco (Brasil): área de Piedade**. Bol. Téc. Cient. CEPENE, 3(1), 7-22.
- Pèrès, J. M., & Picard, J. (1964). **Nouveau manuel de bionomie benthique de la Mer Méditerranée: Rec**. Trav. Station Marittime Endoume, 31(47), 137.
- Pereira, A. F., Belém, A. L., Castro, B. M., Geremias, R. (2005). **Tide-topography interaction along the eastern Brazilian shelf**. Continental Shelf Research 25: 1521-1539.

- Peterson, B. J., & Fry, B. (1987). **Stable isotopes in ecosystem studies**. *Annual review of ecology and systematics*, 18(1), 293-320.
- Pfaltzgraff, R. E. (2003). What is the actual male/female sex ratio in leprosy patients?. *Leprosy review*, 74(2), 180-181.
- Ponzi, V. R. A. (2004). **Sedimentação marinha**. BAPTISTA NETO, JA, PONZI, VR A., SICHEL, SE *Introdução à Geologia Marinha*. Rio de Janeiro: Interciência, 219-241.
- Ramos, A. M., dos Santos, L. A. R., & Fortes, L. T. G. (Eds.). (2009). **Normais climatológicas do Brasil, 1961-1990**. Instituto Nacional de Meteorologia-INMET, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento-MAPA.
- Rand, H. M. (1976). **Estudos geofísicos na faixa litorânea ao Sul de Recife** (Doctoral dissertation, Tese de Livre Docência. Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de geologia, Recife).
- Rashid, M. A., (1985). **Geochemistry of marine humic compounds**. Springer-Verlag, Berlin, 291 pp.
- Rebouças, R.C. (2010). **SEDIMENTAÇÃO HOLOCÊNICA DA PLATAFORMA CONTINENTAL DE SALVADOR – BA**. Tese de doutorado. Pós graduação em Geologia, Universidade Federal da Bahia.
- Rezende, C. E.; Pfeiffer, W. C.; Martinelli, L. A. (2010). **Lignin phenols used to infer organic matter sources to Sepetiba Bay - RJ, Brasil**. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 87, n. 3, p. 479–486.
- Rezende, J.S.S. (2015). **Caracterização de fontes e distribuição de matéria orgânica no sedimento do estuário do capibaribe (pernambuco, brasil) através de marcadores elementares, isotópicos e moleculares**. Dissertação de mestrado em Oceanografia. PPGO-UFPE.
- Riedl, R. J., & Machan, R. (1972). **Hydrodynamic patterns in lotic intertidal sands and their bioclimatological implications**. *Marine Biology*, 13(3), 179-209.
- Riedl, R. J., Huang, N., & Machan, R. (1972). **The subtidal pump: a mechanism of interstitial water exchange by wave action**. *Marine Biology*, 13(3), 210-221.
- Roscoe, R., & Buurman, P. (2003). **Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol**. *Soil and Tillage Research*, 70(2), 107-119.
- Sabine, C. L., & Feely, R. A. (2007). **3 The Oceanic Sink for Carbon Dioxide**. *Greenhouse Gas Sinks*, 31.
- Sahu, B. K. (1964). **Depositional mechanisms from the size analysis of clastic sediments**. *Journal of Sedimentary Research*, 34(1).
- Santoro, A. E. (2010). **Microbial nitrogen cycling at the saltwater–freshwater interface**. *Hydrogeology Journal*, 18(1), 187-202.
- Shepard, F. P. (1932). **Sediments of the continental shelves**. *Bulletin of the Geological Society of America*, 43(4), 1017-1040.
- Shepard, F. P. (1973). *Submarine geology* (No. 551.4 SHE).

- Siqueira, G. W.; Lima, W. N. de; Mendes, A. S.; Aprile, F. M.; Braga, E. de S. & Mahiques, M. M. de. (2004). **Evolução do impacto ambiental causado por Matéria Orgânica, Mercúrio e Arsênio nos sedimentos de fundo do Sistema Estuarino de Santos.** *Geochim Brasil*, v. 18, n. 1, p. 54-63.
- Smith, D. M. (2005). **Water relations in sugarcane and response to water deficits.** *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 92, p. 185–202.
- Souza, J. L., Prezotti, L. C., & Guarçoni, M. (2012). **Potencial de sequestro de carbono em solos agrícolas sob manejo orgânico para redução da emissão de gases de efeito estufa.** *Idesia (Arica)*, 30(1), 7-15.
- Stanley, D. J., & Swift, D. J. (1976). **Marine sediment transport and environmental management.** In *Marine sediment transport and environmental management*. John Wiley & Sons.
- Stein, R. (1991). **Accumulation of Organic Carbon in Marine Sediments. Results from the Deep Sea Drilling Project/ Ocean Drilling Program.** In: Bhattacharji, S; Friedman, G. M.; Neugebauer, H. J.; Seilacher, A. (Eds.). *Lecture Notes in Earth Sciences*. Berlin, v. Springer. 217 p.
- Stride, A.H. (1963). **Current -swept floors near the southern half of Great Britain.** *Q.J. geol. Soc. Lond.*, 119: 175-199.
- Suguio, K. (1973). **Introdução à sedimentologia** (No. 552.5 SUG).
- Suguio, K. (2003). **Geologia sedimentar.** Edgard Blücher.400p.
- Tauhata, L., Salati, I., Di Prinzio, R., & Di Prinzio, A. R. (2003). **Radioproteção e dosimetria.** CEP, 22783, 127.
- Thurman, H. V., & Burton, E. A. (1997). **Introductory Oceanography.** New Jersey: Prentice Hall. 544p.
- Tyson, R. V. **Sedimentary Organic Matter.** London: Chapman & Hall, (1995). 589 p.
- Vital, H., Silveira, I. M. D., & Amaro, V. E. (2005). **Carta sedimentológica da plataforma continental brasileira: área Guamaré a Macau (NE Brasil), utilizando integração de dados geológicos e sensoriamento remoto.** *Revista Brasileira de Geofísica*, 23(3), 233-241.
- Vital, H., Stattegger, K., Amaro, V. E., Schwarzer, K., Frazão, E. P., Tabosa, W. F., & Silveira, I. M. (2008). **A modern high-energy siliciclastic-carbonate platform: Continental shelf adjacent to northern Rio Grande do Norte State, northeastern Brazil.** HAMPSON, G., STEEL, R., BURGUESS, P. DALRYMPLE, R. (Ed.). *Recent advances in models of siliciclastic shallow-marine Stratigraphy.* SEPM Special Issue, 90, 177-190.
- Wagle, B. G., & Veerayya, M. (1996). **Submerged sand ridges on the western continental shelf off Bombay, India: evidence for Late Pleistocene-Holocene sea-level changes.** *Marine geology*, 136(1-2), 79-95.
- Weschenfelder, J., Corrêa, I., Toldo Jr, E. E., & Baitelli, R. (2008). **Paleocanais como indicativo de eventos regressivos quaternários do nível do mar no sul do Brasil.** *Revista Brasileira de Geofísica*, 26(3), 367-375.

Xing, L.; Zhang, H.; Yuan, Z.; Sun, Y.; Zhao, M. (2011). **Terrestrial and marine biomarker estimates of organic matter sources and distributions in surface sediments from the East China Shelf**. *Continental Shelf Research*, vol. 31, p. 1106-1115.

Yokoyama, Y., Lambeck, K., Deckker, P., Johnston, P., Fifield, L.K., (2000). **Timing of the Last Glacial Maximum from observed sea-level minima**. *Nature* 406, 713–716.

Zembruski, S. G. (1967). **Sedimentos da plataforma continental do Brasil**. XXII Comissão Oceanográfica Noc. Almirante Saldanha. Rio de Janeiro: Dir. Hidrog. Naveg. DG, 389-409.

APÊNDICE A – RESULTADOS DAS ANÁLISES GEOQUÍMICAS

Nº Amostra	X	Y	Prof. (m)	Cascalho(%)	Areia(%)	Lama(%)	Matéria Orgânica (%)	CaCO3	%N	%C	d ¹³ C _{VPDB} ‰	d ¹⁵ N _{ar} ‰	C/N	Fácies
389	277816	9049600	-14,10	0,16	11,52	88,32	3,40	75,20	0,16	0,70	-20,54	1,68	4,36	1
1045	270612	9025809	-20,10	0,08	19,59	80,34	6,10	65,00	0,19	0,89	-21,04	-14,63	4,66	1
33245	298967	9118065	-9,20	0,34	15,70	83,96	5,20	32,20		0,04	-21,94			1
33248	298296	9115679	-7,50	0,01	51,86	48,14	9,20	34,20	0,36	1,20	-21,07	12,46	3,29	1
33621	298521	9117038	-8,70	3,01	51,33	45,66	3,80	29,60	0,14	0,65	-22,54	5,40	4,74	1
33679	301068	9120950	-16,00	0,78	19,56	79,65	5,00	73,10	0,11	0,40	-20,99	2,02	3,53	1
202766	301133	9114259	-15,90	3,94	78,49	17,57	4,40	45,50		0,38	-22,21			1
204970	298349	9099081	-19,90	0,00	74,89	25,11	2,40	86,60	0,15	0,40	-19,44	1,03	2,76	1
466	281217	9051351	-22,00	0,00	0,00	100,00	6,60	98,60	0,37	1,37	-21,30	9,18	3,70	2
492	280648	9047460	-26,10	0,00	0,00	100,00	2,00	37,20	1,47	0,35	-17,73	6,95	0,24	2
206896	291194	9059127	-31,40	0,00	0,00	100,00	2,20	90,20	0,36	1,12	-18,88	5,20	3,10	2
349	312039	9151538	-25,30	100,00	0,00	0,00	4,45	95,00	0,54	1,86	-18,83	27,64	3,41	3
573	304597	9154297	-25,30	100,00	0,00	0,00	5,05	94,60	0,32	0,97	-25,09	8,43	3,02	3
1008	283687	9031826	-25,30	100,00	0,00	0,00	9,00	96,20						3
33458	301543	9123557	-25,30	100,00	0,00	0,00	8,70	93,00						3
202714	305493	9110392	-25,30	91,76	6,95	1,29	4,20	77,40	0,29	0,13	-22,10	5,95	0,46	3
206762	304294	9166675	-9,50	100,00	0,00	0,00	5,50	97,60	0,46	1,79	-22,76	6,51	3,90	3
11	310541	9156465	-21,00	26,45	72,95	0,60	2,04	99,60	3,79	18,08	-18,14	12,14	4,77	4
206776	318206	9162544	-28,00	39,63	59,08	1,28	1,80	97,60	2,86	9,85	-18,61	12,43	3,45	4
206838	302759	9169657	-10,00	2,10	95,33	2,57	3,40	98,01	0,92	3,39	-21,81	8,51	3,67	4
202698	285878	9078151	-10,10	0,82	98,01	1,16	0,40	25,20		0,10	-20,76			5
202718	291157	9081568	-18,10	3,43	95,74	0,84	1,80	38,20						5
202723	287812	9081805	-11,30	1,55	97,41	1,05	0,40	21,80		0,22	-21,11			5
202726	286538	9087054	-9,30	0,38	99,09	0,53	0,20	40,00						5
202728	294474	9106550	-10,60	1,03	98,35	0,63	1,20	37,40	0,19	0,55	-21,27	4,88	2,92	5
202745	286662	9083888	-10,80	0,00	98,89	1,11	0,40	62,60						5

202748	291882	9084049	-19,90	2,17	96,98	0,86	1,20	40,30							5
202773	297157	9110418	-11,50	6,52	92,93	0,55	0,40	30,60		0,43	-21,13				5
204877	280952	9056327	-15,50	0,20	98,43	1,36	4,40	19,80							5
204916	282914	9065618	-15,50	2,31	95,21	2,48	1,20	13,00	0,55	1,78	-18,56	6,83	3,26		5
204936	295004	9094837	-17,30	3,56	95,66	0,78	0,40	31,30		0,06	-21,94				5
15	304445	9156722	-12,00	9,25	89,11	1,64	2,80	98,90	0,31	0,20	-25,55	5,44	0,66		6
22	280352	9042675	-23,80	62,00	37,29	0,71	1,00	79,20							6
46	310294	9150132	-22,40	68,69	29,19	2,11	2,80	98,40	0,17	0,67	-21,82	2,59	3,99		6
47	284656	9038750	-33,00	20,43	75,41	4,16	1,35	79,20		0,20	-19,19				6
49	303880	9146182	-15,00	30,92	68,31	0,76	9,20	94,80		0,28	-22,05				6
76	281397	9038990	-24,80	24,04	75,47	0,49	1,60	61,80							6
79	316470	9149926	-32,70	16,24	81,30	2,45	3,17	96,50		0,30	-25,27				6
119	305826	9151550	-17,00	62,55	36,53	0,92	3,00	82,10							6
149	275782	9041923	-14,80	20,00	75,00	5,00	1,10	49,60	0,12	0,56	-24,70	3,92	4,81		6
181	316758	9153966	-31,50	30,63	64,08	5,29	6,54	97,20	0,37	1,26	-20,78	6,73	3,39		6
198	304138	9148703	-15,80	42,05	56,99	0,96	2,20	86,00		0,14	-22,21				6
215	285160	9042350	-31,80	25,79	70,38	3,83	2,80	96,80		0,21	-18,80				6
294	276087	9038038	-20,60	27,15	71,56	1,30	1,30	78,00		0,09	-20,60				6
381	289016	9050472	-30,50	8,73	90,34	0,93	2,30	78,00	0,18	0,91	-31,54	4,35	5,16		6
383	287378	9048875	-30,80	22,70	73,17	4,12	4,00	97,80							6
445	282051	9035306	-28,00	6,76	92,18	1,07	1,40	53,60		0,08	-18,87				6
471	310108	9146137	-26,10	31,04	65,92	3,05	2,10	98,10	0,38	0,16	-16,70	5,76	0,42		6
472	314729	9146134	-31,50	18,74	77,86	3,40	1,00	94,30	0,00	0,01	-19,24	4,12	5,00		6
478	282098	9044065	-27,00	21,32	23,59	55,10	1,40	87,10							6
490	277193	9045013	-18,70	10,61	88,25	1,14	1,60	59,40		0,05	-20,46				6
496	285353	9045600	-37,60	0,91	91,78	7,31	3,10	87,60	2,46	0,13	-17,73	0,08	0,05		6
601	316381	9147222	-32,00	17,05	80,89	2,06	3,00	85,10	0,66	0,24	-19,71	5,86	0,37		6
609	308748	9150214	-21,50	44,07	55,14	0,79	2,40	99,26	0,14	0,69	-30,64	3,09	4,86		6
809	310750	9154025	-23,30	33,96	65,53	0,51	3,00	97,90							6

1002	274363	9035244	-20,00	20,98	78,28	0,75	1,10	70,40	0,06	-18,61					6
1010	280633	9032068	-27,10	15,78	83,32	0,90	1,40	96,00	0,34	-21,00					6
1013	276056	9032866	-22,00	44,74	47,95	7,31	1,00	87,70	0,38	-23,14					6
1016	271756	9032206	-16,90	5,41	92,38	2,21	2,40	91,80							6
1024	281872	9028376	-32,30	53,03	42,71	4,27	2,20	95,80							6
1031	271079	9029002	-18,80	8,02	89,24	2,74	2,90	84,40	0,14	0,78	-14,97	2,38	5,76		6
1034	275527	9027636	-28,00	31,10	59,13	9,77	1,40	88,10	0,16	0,55	-23,13	3,63	3,51		6
1037	280024	9026307	-32,30	26,20	73,39	0,42	1,40	84,00	0,46	1,44	-20,06	7,58	3,14		6
1042	273872	9026382	-26,00	32,37	65,69	1,94	1,40	91,80	0,24	0,87	-21,06	7,35	3,58		6
1051	277752	9021770	-32,60	38,35	62,14	-0,49	2,80	98,50	0,88	3,09	-18,94	8,15	3,53		6
1058	271207	9022166	-22,90	22,62	77,04	0,33	1,80	90,80							6
1062	276906	9019940	-33,00	7,91	73,05	19,04	2,60	81,50	1,57	0,31	-20,82	-0,71	0,20		6
1063	276413	9018514	-33,00	11,46	69,53	19,01	2,80	97,60							6
1064	274899	9018742	-32,00	38,79	58,75	2,47	1,20	95,30	0,27	0,93	-19,16	5,20	3,40		6
1068	269012	9020774	-18,50	16,04	82,52	1,44	2,40	91,40		0,41	-15,62				6
32986	309499	9116698	-29,50	27,48	70,96	1,56	2,80	95,00		0,43	-23,38				6
33259	301513	9128848	-15,00	15,00	85,00	0,00	1,60	95,30	0,25	0,98	-19,12	5,47	3,93		6
33271	309978	9127326	-30,20	29,59	68,97	1,45	1,80	98,00	0,16	0,81	-23,84	3,43	5,10		6
33334	311103	9126069	-31,30	48,91	48,81	2,28	3,10	85,60	0,55	2,59	-20,54	8,72	4,72		6
33361	301735	9131446	-13,50	6,71	91,50	1,79	3,00	88,10	0,17	0,75	-22,42	7,09	4,40		6
33427	307788	9115473	-28,00	13,31	41,62	45,07	9,00	89,20	0,72	2,66	-19,39	6,63	3,71		6
33459	308050	9125996	-29,70	5,42	47,03	47,55	5,80	96,10	0,32	5,60	-24,71	3,62	17,77		6
33471	303272	9125889	-22,00	8,12	90,75	1,13	1,60	77,40		0,29	-20,15				6
33479	307620	9128726	-25,00	39,84	58,39	1,77	4,80	97,20	0,30	1,23	-18,20	2,35	4,16		6
33482	307611	9122112	-29,00	10,21	66,65	23,14	4,30	74,60	0,73	2,37	-19,10	10,61	3,25		6
33632	310466	9120929	-32,00	68,42	27,90	3,68	2,51	97,30	0,00	0,01	-19,50	3,59	4,50		6
33682	312779	9131623	-30,20	15,74	80,68	3,58	3,00	94,30	0,12	0,47	-22,69	0,45	3,82		6
202687	299266	9078535	-30,50	19,98	77,47	2,55	0,40	90,90		0,05	-25,23				6
202710	294081	9102090	-12,50	19,75	80,12	0,14	2,70	68,20		0,07	-20,67				6

202711	299463	9104611	-18,10	85,28	14,69	0,03	1,00	96,10	0,22	-22,29				6
202715	302467	9102546	-21,90	66,32	33,51	0,18	1,00	88,00	0,25	0,40	-18,69	-3,33	1,58	6
202719	307107	9110347	-24,40	25,57	73,19	1,24	2,40	94,80	0,27	-17,85				6
202727	304433	9106706	-22,40	78,82	20,15	1,03	3,97	97,20						6
202729	295228	9089479	-27,50	26,12	47,48	26,41	4,50	93,00	0,43	1,49	-20,55	10,79	3,48	6
202731	296489	9081273	-25,80	46,49	51,03	2,48	1,20	96,90	0,55	0,81	-21,29	6,38	1,48	6
202756	308375	9115182	-30,20	23,32	74,99	1,69	0,60	77,20	0,02	-20,16				6
202759	298727	9089466	-26,80	58,76	38,51	2,74	4,60	82,90	0,59	1,97	-18,69	6,52	3,33	6
202763	291963	9089359	-18,70	56,40	41,95	1,64	2,28	81,20	0,11	-20,19				6
202765	309504	9102509	-31,30	60,65	38,61	0,75	2,20	57,60	0,08	-21,91				6
202767	306227	9115954	-24,50	20,30	79,20	0,49	1,00	85,00						6
202771	308301	9112164	-29,60	10,95	87,38	1,67	3,40	89,20	0,19	0,85	-24,63	3,50	4,54	6
202780	300697	9091517	-29,30	22,91	71,76	5,33	0,40	77,20						6
204787	285525	9057115	-25,00	20,26	79,06	0,68	1,20	57,00	0,10	-20,95				6
204795	296593	9068349	-31,00	16,71	82,18	1,11	1,80	30,50	0,63	2,18	-18,86	7,84	3,45	6
204829	284659	9068687	-15,60	47,66	52,14	0,00	0,40	93,00	0,63	2,18	-18,86	7,84	3,45	6
204841	286017	9070289	-18,00	15,96	83,58	0,46	0,80	79,70						6
204878	287217	9055686	-26,50	49,24	46,95	3,81	2,20	44,40	0,14	-17,95				6
204879	297720	9074801	-35,00	13,72	84,94	1,35	1,40	69,60						6
204883	297159	9072531	-33,00	43,23	50,53	6,24	0,80	82,90	0,11	-21,26				6
204891	287920	9074699	-18,00	6,06	93,24	0,70	1,00	55,20	0,14	0,65	-16,82	0,10	4,68	6
204908	304866	9094998	-27,50	36,58	60,54	2,88	2,00	97,90	0,22	0,98	-24,97	7,32	4,39	6
204930	304703	9096894	-31,80	6,04	84,97	8,99	1,20	78,60						6
204940	311918	9162206	-22,60	39,10	60,21	0,69	9,30	98,40	2,04	0,42	-14,41	24,14	0,21	6
204941	311920	9165030	-20,50	80,36	18,81	0,82	1,20	98,40	0,93	3,63	-19,93	7,76	3,90	6
204953	313331	9159891	-25,00	31,73	67,19	1,09	2,40	96,80	0,13	0,60	-19,44	9,79	4,78	6
204957	294755	9086563	-26,30	57,29	33,65	9,06	5,60	70,80	0,68	0,24	-22,26	7,68	0,35	6
204962	303189	9099134	-22,90	29,85	68,93	1,23	1,60	81,80	0,08	0,25	-18,28	12,75	3,14	6
204964	296712	9084063	-29,70	27,45	62,37	10,17	4,07	77,50	0,08	-22,47				6

204967	310543	9168011	-17,30	28,21	71,29	0,50	0,90	94,20	0,15	0,27	-21,21	5,85	1,83	6
204968	291516	9092387	-16,20	3,55	95,74	0,71	4,20	78,80						6
204972	296630	9094891	-19,50	49,22	46,58	4,19	3,40	91,80						6
204976	316716	9156799	-29,30	38,97	58,68	2,35	2,79	98,00	0,38	1,50	-25,41	-5,70	3,92	6
204984	304086	9163710	-9,90	74,67	16,11	9,22	5,60	99,40	0,16	0,62	-21,42	13,56	3,90	6
204990	319633	9165377	-30,00	34,41	63,27	2,32	1,40	97,60						6
204996	319519	9161089	-30,50	42,47	54,29	3,25	1,20	93,80						6
204998	310551	9158116	-22,20	37,01	62,45	0,54	1,00	97,80	0,23	1,15	-26,95	-10,96	4,89	6
205001	315154	9168268	-23,50	62,17	35,96	1,86	4,20	78,40	0,86	3,27	-28,78	9,76	3,78	6
205015	296559	9097652	-21,00	10,28	89,26	0,46	1,80	64,20		0,13	-23,43			6
206151	304800	9139349	-20,10	16,26	82,72	1,02	1,20	88,20	0,20	0,28	-21,19	14,55	1,46	6
206198	308004	9134551	-25,50	39,95	59,41	0,64	1,20	96,70		0,68	-18,37	1,17		6
206274	312635	9134737	-29,70	32,76	65,88	1,37	1,70	93,90		0,10	-21,00			6
206293	303546	9143163	-18,20	30,88	68,66	0,46	0,40	74,80	0,48	2,00	-23,53	4,03	4,18	6
206296	312579	9140501	-30,00	32,23	65,06	2,71	2,80	97,50	0,22	0,90	-19,11	5,07	4,06	6
206319	308104	9143259	-24,80	31,45	67,08	1,47	0,80	97,20						6
206769	290495	9057909	-29,00	44,83	46,92	8,25	7,40	93,80	0,22	0,75	-20,58	6,93	3,43	6
206797	281284	9063173	-10,00	28,11	69,01	2,88	4,60	93,60	0,22	0,80	-21,92	3,53	3,64	6
206810	281182	9059081	-16,00	10,13	88,32	1,56	1,90	96,60	0,24	0,81	-20,52	4,98	3,37	6
206812	308659	9159869	-18,80	4,10	94,87	1,03	1,00	98,10						6
206830	289545	9063769	-24,00	8,53	91,10	0,38	1,20	74,30		1,23	-19,13			6
206857	319796	9168125	-29,70	27,45	69,59	2,95	3,00	97,80	0,33	1,08	-25,24	1,78	3,29	6
206890	291961	9062042	-30,00	28,43	68,39	3,18	4,40	85,60						6