



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



**LIZA ELLEN EURICO DE OLIVEIRA**

**ESTUDO DA MATÉRIA ORGÂNICA SEDIMENTAR COMO**  
**INDICADOR AMBIENTAL NAS ADJACÊNCIAS DO PORTO DO**  
**RECIFE, ILHA DE ITAMARACÁ E ARQUIPÉLAGO DE FERNANDO**  
**DE NORONHA (PERNAMBUCO)**

**Recife**

**2016**

**LIZA ELLEN EURICO DE OLIVEIRA**

**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 apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Lima Barcellos

Recife

2016

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

- O48e Oliveira, Liza Ellen Eurico de.  
Estudo da matéria orgânica sedimentar como indicador ambiental nas adjacências do Porto do Recife, Ilha de Itamaracá e arquipélago de Fernando de Noronha (Pernambuco) / Liza Ellen Eurico de Oliveira. - 2016.  
185 folhas, il., gráfs., tabs.
- Orientador: Prof. Dr. Roberto Lima Barcellos.
- Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2016.  
Inclui Referências e Anexos.
1. Oceanografia. 2. Sedimentação marinha. 3. Plataforma rasa. 4. Matéria orgânica sedimentar. I. Barcellos, Roberto Lima. (Orientador). II. Título.
- UFPE
- 551.46 CDD (22. ed.) BCTG/2016-128

**LIZA ELLEN EURICO DE OLIVEIRA**

**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 apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Oceanografia.

Dissertação defendida e aprovada em: 29/08/2016

**Banca Examinadora**

---

Prof. Dr. Roberto Lima Barcellos (Orientador)  
Departamento de Oceanografia – UFPE

---

Prof. Dr. Manuel de Jesus Flores Montes - Titular  
Departamento de Oceanografia – UFPE

---

Prof. Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso- Titular  
Departamento de Geologia – UFPE

---

Prof. Dr. Gilvan Takeshi Yogui - Suplente  
Departamento de Oceanografia – UFPE

---

Prof. Dr. Virgínio Henrique M. L. Neumann - Suplente  
Departamento de Geologia – UFPE

Recife

2016

Dedico este trabalho a minha mãe Euze  
Eurico da Silva e a meu pai Maurício Eufrásio de  
Oliveira, pelo apoio, amor incondicional em  
todos os momentos e por todos os ensinamentos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela dádiva da vida, pelas pessoas que pôs em meu caminho, pela dádiva perante o meu mérito e por ter fornecido sabedoria para realizar este trabalho.

Agradeço antes de tudo à minha mãe Euze Eurico da Silva e ao meu pai Maurício Eufrásio de Oliveira por todo amor e apoio incondicional, que apesar dos apertos no coração (principalmente nas coletas) sempre me auxiliaram a realizar os meus sonhos.

Ao meu orientador, o professor Roberto Lima Barcellos, pela oportunidade, por acreditar no meu potencial e principalmente pelos ensinamentos tanto no âmbito acadêmico quanto no pessoal que levarei pelo resto de minha vida.

Ao professor Manuel por toda paciência e enorme apoio durante a realização deste trabalho.

Ao LABOGEO, que se tornou uma segunda casa, onde ganhei uma segunda família. Agradeço a Luciana, Diego e Thaís pelos ensinamentos iniciais (literalmente do zero) em todas as análises. Eduardo, a quem aperreei bastante depois, e a sua esposa Bethânia, pelos conselhos. E a Emarielle e Camilla pelas colaborações valiosas e companhia, principalmente nas análises de fósforo. Estas pessoas possuem uma extrema importância na realização deste trabalho, e de toda a trajetória precedente a ele.

Ao LOQUIM, e a todos pela companhia em coletas, pelo espaço e tempo cedidos para as análises. Agradeço em especial a Felipe e Josiane pela capacitação e apoio nas análises de fósforo. A Keyla por todo apoio pessoal, conversas e auxílio com as análises de isótopos. À Jamerson, Talita Pereira, Brenno e Bruna pela ajuda, paciência e companhia durante as fases finais das análises no LOQUIM.

Ao ORGANOMAR em especial ao professor Gilvan por toda paciência e a Bruno, que me ensinou muito sobre isótopos, sobre cada parte das análises e pela paciência por me ensinar tudo do zero.

Ao professor Souto pelas análises estatísticas e ao professor Jesser por me ajudar a entendê-las e explorar melhor meus dados.

Ao professor Antônio por toda paciência, livros emprestados e conselhos durante essa minha jornada dupla.

A FAPESP e FACEPE pelo financiamento do projeto CARECOS – Transporte de Carbono na Região Costeira do Estado de Pernambuco, por meio do Edital de mudanças climáticas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao PPGO, pela base teórica necessária para a formação acadêmica.

Tiago Rodrigo, por ter sido um companheiro maravilhoso, aguentar minhas chatices e estimular meu crescimento pessoal estando sempre ao meu lado. A Cristina, que por um laço divino faz parte de minha família e sempre me apoiou até nos momentos complicados.

Gostaria de agradecer a companhia, amizade, alegria e ensinamentos de Albenize, Amanda, Laisa, Hedyane, Nathália e Dani, durante todos esses anos.

A Rafaela, Marília, Tatiana e Isabelle, que apesar de terem mudado de área me fizeram companhia, me ajudaram a me sentir menos perdida no meu começo no LABOGEO e principalmente pela amizade linda que ficou depois.

A Cristiellen que foi meu anjo da guarda. Talita que virou uma irmã também que vou sentir falta por ela ter mudado de curso. A Lucas Inácio que apesar de ser um irmão fuleiro que arrumei, sei que posso contar sempre e ele sabe que a recíproca é verdadeira. A Bárbara e Jéssica Moura, pelos desesperos de TCC, seleções e de análises compartilhados, além da amizade. A Sayonara que encerrou sua saga junto com as minhas análises e que é doida junto comigo. A Kleyton por partilhar seu brilho e por ser a melhor companhia sempre. E Syumara, que sempre traz alegria e nos faz rir (mais ainda) dos nossos perrengues.

A Eduarda, pela companhia no LABOGEO. A Lucas Silva e Ricardo Manske que me fizeram companhia até tarde durante as minhas análises, compartilhando histórias, alegrias e me esperando pegar o ônibus quando ficava tarde. A Luíz, por me ajudar e muito nas análises, pela companhia, alegria e amizade, principalmente nessa fase final.

A Élide e Joe, por Maria Eloah, a afilhada mais linda.

A Helena Daniele, Vanessa, Jéssica Costa e Danyele pela amizade desde o IFPE e pelo apoio até hoje, amo vocês!

Ao André e a Myrna por ter me ajudado a resolver todos os perrengues, sendo os melhores secretários do DOCEAN.

E aos brasileiros que por meio de seus impostos possibilitaram essa pesquisa.

*“Bom vento, bom mar.”*

(Prof. Dr. François Ottmann).

## RESUMO

Em plataformas continentais, a cobertura sedimentar atual é o reflexo da natureza predominante dos componentes (sejam terrígenos ou marinhos), pela ação de transporte e retrabalhamento promovido pela hidrodinâmica local, por sua vez, o sedimento tem como função ser um compartimento aquático ativo, além de ser uma importante fonte de informações geoquímicas sobre o ambiente deposicional. Um dos componentes do sedimento é a matéria orgânica que possui uma 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. O presente trabalho teve como objetivo estudar as distribuições e composições sedimentares das áreas de plataformas continentais internas adjacentes à Ilha de Itamaracá e ao Porto do Recife e da plataforma insular do arquipélago de Fernando de Noronha e, a fim de avaliar o impacto das ações antrópicas nas condições ambientais atuais por meio de estudos sobre a composição geoquímica da matéria orgânica sedimentar. Para isto foram analisados os conteúdos de matéria orgânica total, carbonato de cálcio, carbono orgânico e nitrogênio total, fósforo (sua composição fracionada – orgânica e inorgânica – e a total), as razões isotópicas de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ , e as razões elementares C/N e C/P para descrição geoquímica dos sedimentos, além de análises granulométricas, da fração arenosa e morfoscopia dos grãos. Foram executadas também análises de correlação (*Spearman*), componentes principais e agrupamento (*Cluster*). A plataforma interna de Itamaracá apresentou cobertura sedimentar arenosa, com granulação predominante de areia grossa, moderadamente selecionada. Com 50% das amostras litoclásticas e 50% das amostras bioclásticas, com baixos teores de matéria orgânica total (MOT<3,5%, COT<5,40%,  $\delta^{13}\text{C}$  -27,52‰ PDB a -21,12‰ PDB), caracterizando a origem mista da matéria orgânica sedimentar da plataforma. A plataforma interna adjacente ao Porto do Recife apresentou uma cobertura sedimentar arenosa, com granulação predominante de areia média, pobremente selecionada, com material predominantemente composto por sedimentos biolitoclásticos e bioclásticos, com teores medianos de matéria orgânica total (MOT 4,08% em média, COT<8,11%,  $\delta^{13}\text{C}$  -26,24‰ PDB a -20,70‰ PDB), caracterizando a origem mista da matéria orgânica sedimentar da plataforma. Independente do período sazonal, a plataforma insular adjacente à costa abrigada do arquipélago de Fernando de Noronha apresentou uma cobertura sedimentar arenosa, com predominância de areia fina, grãos bem selecionados. O material é composto por sedimentos bioclásticos, com baixos teores de matéria orgânica total (MOT>2,87%, COT>4,29%,  $\delta^{13}\text{C}$  -23,31‰ PDB a -18,80‰ PDB), de origem marinha. Com base nos dados obtidos, é possível inferir que há uma ampla similaridade entre as plataformas (tanto continentais como insular) estudadas, visto que são regidas por grandes teores de areia e com a presença de elevados teores de carbonato. E dentre todas as plataformas avaliadas, a batimetria mais irregular e atividades antrópicas foram relevantes na plataforma adjacente ao Porto do Recife, onde o quebra-mar possibilitou uma retenção do material aportado pelo sistema estuarino do Capibaribe, imprimindo dois ambientes deposicionais com características em distintas em sua composição sedimentar e geoquímica. Por fim, o material carbonático das plataformas é oriundo da cobertura de algas carbonáticas e demais organismos calcários componentes na biota, propício à ciclagem e sequestro de carbono, permitindo assim um balanço na interface oceano-atmosfera-litosfera.

**Palavras-chave:** Sedimentação marinha. Plataforma rasa. Matéria orgânica sedimentar.

## ABSTRACT

In continental shelves, the current sedimentary cover reflects the predominance of the components nature (whether terrigenous or marine), the transport action and reworking promoted by hydrodynamic processes, as a function of being an active aquatic compartment, plus to be an important source of geochemical information about the depositional environment. One of the sediment components is organic matter that has a great importance in environmental studies, and the interpretation of its occurrence is a great contribution about the cycle - origin, nature and destiny - of this matter in the marine environment. The present work aimed to study the distributions and sedimentary of the areas of inner continental shelves adjacent to Itamaracá Island and the Port of Recife and insular shelf of Fernando de Noronha archipelago, and evaluates the impact of anthropic activities on modern environmental conditions through studies about geochemical composition of sedimentary organic matter. The employed methods were total organic matter contents analysis, calcium carbonate, organic carbon, total nitrogen, phosphorus (its fractional composition - organic and inorganic - and the total), contents of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  isotopic ratios, C/N and C/P elemental ratios, the geochemical description of the sediment, grain size, the coarse fraction analysis and morphoscopy. They were also performed correlation analysis (*Spearman*), principal components and clustering (Cluster). The inner Itamaracá shelf presented a sandy sedimentary cover, with predominance coarse sand, moderately sorted. Is characterized by 50% of lithoclastic sediments, with low contents of total organic matter (MOT<3,5%, COT<5,40%,  $\delta^{13}\text{C}$  -27,52‰ PDB to -21,12‰ PDB), from mixed origin. The adjacent inner shelf to the Port of Recife presented a sandy sedimentary cover, with predominant grain size of medium sand, poorly sorted with a material predominantly composed of biolithoclastic and bioclastic sediments, with median levels of total organic matter (MOT 4,08% average, COT<8,11%,  $\delta^{13}\text{C}$  -26,24‰ PDB to -20,70‰ PDB) and mixed origin. Regardless of the seasonal period, the northern adjacent shelf of the Fernando de Noronha archipelago presented a sandy sedimentary cover, with a predominance of fine sand and well sorted grains. The material consists of bioclastic sediments, with low organic matter (MOT<2,87%, COT<4,29%,  $\delta^{13}\text{C}$  -23,31‰ PDB to -18,80‰ PDB) content of marine origin. Based on these data, we can infer that there is a broad similarity between the studied platforms (both continental and insular), since they are governed by large sand content and the presence of high carbonate content and low organic matter contents. Among all the studied shelves, physiography and human activities were relevant in the adjacent platform to the Port of Recife, where the break-water prints an artificial mud depositional system with retention of material input from the Capibaribe estuarine system. Lastly, the carbonate material from these 3 shelves is mainly originated from the carbonaceous algal cover and other calcareous organisms from biota components, conducive to cycling and carbon sink, thus allowing a balance in the ocean-atmosphere-lithosphere interface.

**Keywords:** Marine sedimentation. Inner shelf. Sedimentary organic matter.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> – Ciclo Biogeoquímico global do carbono. Fonte: Martins et al. (2003) .....	25
<b>Figura 2.2</b> – Fluxo do carbono no sistema terrestre, valores em Giga tonelada ( $\times 10^9$ toneladas). Fonte: Martins et al. (2003) .....	26
<b>Figura 2.3</b> - 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.....	29
<b>Figura 3.1</b> – Região Metropolitana do Recife. Fonte: Observatório das Metrôpoles – IPPUR-PPGEO-MDU .....	36
<b>Figura 3.2</b> – Coluna Geológica Esquemática da Região Metropolitana do Recife.Fonte: CPRM, 2003. ....	37
<b>Figura 5.1</b> – áreas de estudo: plataforma insular adjacente Fernando de Noronha (1), plataforma continental adjacente ao Porto do Recife (2) e plataforma continental adjacente a Ilha de Itamaracá (3) com pontos de amostragem .....	43
<b>Figura 5.2</b> – Esquema da metodologia de extração de fósforo orgânico e inorgânico, proposta “Standarts, Measurements and Testing programme” descrito por Pardo et al., (2004). Fonte: Gaspar (2009). ....	47
<b>Figura 6.1</b> – Pontos de coleta na plataforma continental adjacente à Ilha de Itamaracá....	51
<b>Figura 6.2</b> – Recorte da carta náutica 930 abrangendo a plataforma interna adjacente à costa de Itamaracá com a variação de profundidade e arenitos de praia .....	55
<b>Figura 6.3</b> - Figura 6.3 - Diagrama triangular de Shepard (1954) das amostras da plataforma continental adjacentes a Ilha de Itamaracá.....	55
<b>Figura 6.4</b> – Distribuição do diâmetro médio de acordo com a classificação de Folk & Ward (1957) para as amostras coletadas na plataforma interna adjacente à Ilha de Itamaracá. ....	57
<b>Figura 6.5</b> – Figura 6.5 – Distribuição do grau de seleção de acordo com a classificação de Folk & Ward (1957) para as amostras de sedimentos coletadas ao longo da plataforma interna adjacente à Ilha de Itamaracá .....	58
<b>Figura 6.6</b> – Composição das frações granulométricas das amostras de sedimentos coletadas ao longo da plataforma interna adjacente à Ilha de Itamaracá. ....	59
<b>Figura 6.7</b> –Distribuição do Índice de Biogênicos Marinhos de acordo com a classificação de Mahiques et al. (1998) na fração de 0,250mm nas amostras de sedimentos coletadas ao longo da plataforma interna adjacente à Ilha de Itamaracá.....	61
<b>Figura 6.8</b> – Distribuição do Índice de Biogênicos Marinhos de acordo com a classificação de Mahiques et al. (1998) na fração de 0,500mm nas amostras de sedimentos coletadas ao longo da plataforma interna adjacente à Ilha de Itamaracá.....	61
<b>Figura 6.9</b> – Distribuição dos teores de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) para as amostras coletadas na plataforma interna adjacente à Ilha Itamaracá .....	64
<b>Figura 6.10</b> – Distribuição do teor de matéria orgânica total (MOT) nas amostras de sedimentos coletadas ao longo da plataforma interna adjacente à Ilha de Itamaracá. ....	64
<b>Figura 6.11</b> – Figura 6.11 – Distribuição dos teores de carbono orgânico nas amostras de sedimentos coletadas ao longo da plataforma interna adjacente à Ilha de Itamaracá.. ..	66
<b>Figura 6.12</b> – Distribuição dos teores de nitrogênio total nas amostras de sedimentos coletadas ao longo da plataforma interna adjacente à Ilha de Itamaracá.....	66

<b>Figura 6.13</b> – Distribuição dos teores de $\delta^{13}\text{C}$ de acordo com a classificação proposta por Bordovskiy (1965), Chester & Riley (1978), Ruttemberg e Goñi (1997), Stein (1991), Meyer (1997), Lamb et al. (2006) para a matéria orgânica sedimentar em ambientes marinhos para as amostras coletadas na plataforma interna adjacente à Ilha de Itamaracá. ....	67
<b>Figura 6.14</b> – Distribuição do $\delta^{15}\text{N}$ nas amostras de sedimentos coletadas ao longo da plataforma interna adjacente à Ilha de Itamaracá .....	67
<b>Figura 6.15</b> – Composição dos teores de fósforo total coma soma das frações para as amostras coletadas na plataforma interna adjacente à Ilha de Itamaracá. ....	68
<b>Figura 6.16</b> – Distribuição da razão C/N de acordo classificação proposta por Bordovskiy (1965) e Meyers, (1997) para a matéria orgânica sedimentar em ambientes marinhos para as amostras coletadas na plataforma interna adjacente à Ilha de Itamaracá. ....	69
<b>Figura 6.17</b> – Distribuição da razão C/P de acordo classificação proposta Ruttemberg & Goñi, (1997) para a matéria orgânica sedimentar em ambientes marinhos para as amostras coletadas na plataforma interna adjacente à Ilha de Itamaracá. ....	69
<b>Figura 6.18</b> – Análise dos componentes principais das amostras adjacentes a Ilha de Itamaracá .....	70
<b>Figura 6.19</b> – Dendograma (Cluster) da análise de agrupamento para as amostras adjacentes a Ilha de Itamaracá .....	72
<b>Figura 6.20</b> – Facies sedimentares na plataforma interna adjacente à Ilha de Itamaracá... ..	73
<b>Figura 7.1</b> – Pontos de coleta na plataforma continental adjacente ao Porto do Recife.... ..	82
<b>Figura 7.2</b> – Recorte da carta náutica 902 abrangendo a plataforma interna adjacente à costa do Porto do Recife com a variação de profundidade e estruturas do porto.....	85
<b>Figura 7.3</b> – Diagrama triangular de Shepard (1954) para as amostras de sedimento coletadas ao longo da plataforma continental interna adjacente ao Porto do Recife .....	86
<b>Figura 7.4</b> – Distribuição do diâmetro médio de acordo com a classificação de Folk & Ward (1957) para as amostras de sedimento coletadas ao longo da plataforma continental interna adjacente ao Porto do Recife. ....	88
<b>Figura 7.5</b> – Distribuição do grau de seleção de acordo com a classificação de Folk & Ward (1957) para as amostras de sedimento coletadas ao longo da plataforma continental interna adjacente ao Porto do Recife. ....	89
<b>Figura 7.6</b> – Composição das frações granulométricas das amostras de sedimento coletadas ao longo da plataforma continental interna adjacente ao Porto do Recife. ....	90
<b>Figura 7.7</b> – Distribuição do Índice de Biogênicos Marinhos de acordo com a classificação de Mahiques et al. (1998) na fração de 250mm nas amostras de sedimento coletadas ao longo da plataforma interna adjacente ao Porto do Recife. ....	92
<b>Figura 7.8</b> – Distribuição do Índice de Biogênicos Marinhos de acordo com a classificação de Mahiques et al. (1998) na fração de 500mm, nas amostras de sedimento coletadas ao longo da plataforma interna adjacente ao Porto do Recife. ....	92
<b>Figura 7.9</b> – Distribuição do teor de carbonato de cálcio de acordo com a classificação de Larssoneur et al. (1982) nas amostras de sedimento coletadas ao longo da plataforma interna adjacente ao Porto do Recife.. ....	93
<b>Figura 7.10</b> – Distribuição dos teores de matéria orgânica total nas amostras de sedimento coletadas ao longo da plataforma interna adjacente ao Porto do Recife.....	95
<b>Figura 7.11</b> – Distribuição do teor de carbono orgânico total nas amostras de sedimento coletadas ao longo da plataforma interna adjacente ao Porto do Recife .....	96
<b>Figura 7.12</b> – Distribuição do nitrogênio total nas amostras de sedimento coletadas ao longo da plataforma interna adjacente ao Porto do Recife.. ....	97

<b>Figura 7.13</b> – Distribuição do $\delta^{13}\text{C}$ de acordo com a classificação proposta por Bordovskiy (1965), Chester & Riley (1978), Ruttemberg e Goñi (1997), Stein (1991), Meyer (1997), Lamb et al. (2006) para a matéria orgânica sedimentar em ambientes marinhos nas amostras de sedimento coletadas ao longo da plataforma interna adjacente ao Porto do Recife..	98
<b>Figura 7.14</b> – Distribuição do $\delta^{15}\text{N}$ nas amostras de sedimento coletadas ao longo da plataforma interna adjacente ao Porto do Recife..	98
<b>Figura 7.15</b> – Composição do P nas amostras de sedimento coletadas ao longo da plataforma interna adjacente ao Porto do Recife.....	100
<b>Figura 7.16</b> – Razão C/N de acordo com a classificação proposta por Barcellos (2005) para as amostras de sedimento coletadas ao longo da plataforma interna adjacente ao Porto do Recife..	101
<b>Figura 7.17</b> – Distribuição da razão C/P de acordo classificação proposta Ruttemberg & Goñi, (1997) para a matéria orgânica sedimentar em ambientes marinhos para as amostras coletadas na plataforma interna adjacente ao Porto do Recife.....	101
<b>Figura 7.18</b> – Análise dos componentes principais das amostras adjacentes ao Porto do Recife.....	102
<b>Figura 7.19</b> – Dendograma (Cluster) da análise de agrupamento para as amostras adjacentes ao Porto do Recife.....	104
<b>Figura 7.20</b> – Facies sedimentares na plataforma continental interna adjacente ao Porto do Recife.....	105
<b>Figura 8.1</b> – Pontos de coleta adjacentes ao arquipélago de Fernando de Noronha com suas isóbatas. Fonte dos dados: CPRM. ....	114
<b>Figura 8.2</b> – Mapa geológico de Fernando de Noronha. Fonte: Wildner e Ferreira (2011) adaptado de Almeida (1995) .....	119
<b>Figura 8.3</b> – Diagrama triangular de Shepard (1954) das amostras da plataforma insular adjacente ao Arquipélago de Fernando de Noronha: (A) período chuvoso 2013; (B) período seco 2013; (C) período chuvoso 2014; (D) período seco 2014.....	122
<b>Figura 8.4</b> – Distribuição do diâmetro médio de acordo com a classificação de Folk & Ward (1957) para as amostras coletadas na plataforma insular adjacente ao arquipélago de Fernando de Noronha.....	123
<b>Figura 8.5</b> – Distribuição do grau de seleção de acordo com a classificação de Folk & Ward (1957) para as amostras coletadas na plataforma insular adjacente ao arquipélago de Fernando de Noronha.....	124
<b>Figura 8.6</b> – Composição das frações granulométricas para as amostras coletadas na plataforma insular adjacente ao arquipélago de Fernando de Noronha. Os períodos estão divididos de acordo com a numeração (2013 chuvoso: 1 a 6; 2013 seco: 7 a 11; 2014 chuvoso: 12 a 18; 2014 seco: 19 a 25).....	126
<b>Figura 8.7</b> – Distribuição do Índice de Biogênicos Marinhos de acordo com a classificação de Mahiques et al. (1998) na fração de 250mm em ambos períodos sazonais para as amostras coletadas na plataforma insular adjacente ao arquipélago de Fernando de Noronha. ....	128
<b>Figura 8.8</b> – Distribuição do Índice de Biogênicos Marinhos de acordo com a classificação de Mahiques et al. (1998) na fração de 500mm em ambos períodos sazonais para as amostras coletadas na plataforma insular adjacente ao arquipélago de Fernando de Noronha..	128
<b>Figura 8.9</b> – Distribuição dos teores de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) para as amostras coletadas na plataforma insular adjacente ao arquipélago de Fernando de Noronha.....	131
<b>Figura 8.10</b> – Distribuição dos teores de matéria orgânica total (MOT) para as amostras coletadas na plataforma insular adjacente ao arquipélago de Fernando de Noronha.....	131

<b>Figura 8.11</b> – Distribuição dos teores de carbono orgânico para as amostras coletadas na plataforma insular adjacente ao arquipélago de Fernando de Noronha. ....	132
<b>Figura 8.12</b> – Distribuição dos teores de nitrogênio total para as amostras coletadas na plataforma insular adjacente ao arquipélago de Fernando de Noronha. ....	133
<b>Figura 8.13</b> – Distribuição dos teores de $\delta^{13}\text{C}$ de acordo com a classificação proposta por Bordovskiy (1965), Chester & Riley (1978), Ruttemberg e Goñi (1997), Stein (1991), Meyer (1997), Lamb et al. (2006) para a matéria orgânica sedimentar em ambientes marinhos para as amostras coletadas na plataforma insular adjacente ao arquipélago de Fernando de Noronha. ....	134
<b>Figura 8.14</b> – Distribuição dos teores de $\delta^{15}\text{N}$ para as amostras coletadas na plataforma insular adjacente ao arquipélago de Fernando de Noronha.. ....	134
<b>Figura 8.15</b> – Composição dos teores de fósforo total coma soma das frações para as amostras coletadas na plataforma insular adjacente ao arquipélago de Fernando de Noronha. Os períodos estão divididos de acordo com a numeração (2013 chuvoso: 1 a 6; 2013 seco: 7 a 11; 2014 chuvoso: 12 a 18; 2014 seco: 19 a 25). ....	135
<b>Figura 8.16</b> – Distribuição da razão C/N de acordo classificação proposta por Bordovskiy (1965) e Meyers, (1997) para a matéria orgânica sedimentar em ambientes marinhos para as amostras coletadas na plataforma insular adjacente ao arquipélago de Fernando de Noronha .....	136
<b>Figura 8.17</b> – Distribuição da razão C/P de acordo classificação proposta Ruttemberg & Goñi, (1997) para a matéria orgânica sedimentar em ambientes marinhos para as amostras coletadas na plataforma insular adjacente ao arquipélago de Fernando de Noronha. ....	137
<b>Figura 8.18</b> – Análise dos componentes principais das amostras adjacentes a Fernando de Noronha.. ....	138
<b>Figura 8.19</b> – Dendograma (Cluster) da análise de agrupamento para as amostras adjacentes a Fernando de Noronha.. ....	140
<b>Figura 8.20</b> – Facies sedimentares para as amostras adjacentes a Fernando de Noronha..	141
<b>Figura 9.1</b> – Análise dos componentes principais nas distintas áreas de estudo.....	151
<b>Figura 9.2</b> – Dendograma (cluster) da análise de agrupamento para as amostras nas distintas áreas de estudo. ....	154

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2.1</b> - Relação da granulometria dos sedimentos com o ambiente da plataforma continental e o clima. Fonte: adaptado de Rebouças (2010). .....	21
<b>Tabela 2.2</b> – Classificação da Matéria Orgânica de acordo com as razões C/N e C/P em literaturas. Adaptado de Berbel (2008) .....	34
<b>Tabela 6.1</b> - Identificação (ID) da amostra, latitude, longitude, profundidade (m) e dados sedimentológicos (parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957), composição sedimentar e os dados texturais de Shepard (1954)) .....	56
<b>Tabela 6.2</b> – Identificação (ID) da amostra, coordenadas, índice de Biogênicos Marinhos (BM), esfericidade e arredondamento .....	60
<b>Tabela 6.3</b> - Identificação (ID) da amostra, Latitude, Longitude e dados geoquímicos (carbonato de cálcio, matéria orgânica total, composições elementares de C, N e P, razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ , e as razões elementares C/N e C/P) .....	63
<b>Tabela 6.4</b> - Componentes principais calculados através do PCA para os sedimentos da plataforma continental adjacente à Ilha de Itamaracá.....	70
<b>Tabela 6.5</b> – Características das classes sedimentares reconhecidas através da análise de agrupamento (Cluster) dos sedimentos no período das amostras adjacentes a Ilha de Itamaracá .....	72
<b>Tabela 7.1</b> – Identificação (ID) da amostra, latitude, longitude, profundidade (m) e dados sedimentológicos (parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957), composição sedimentar e os dados texturais de Shepard (1954)) .....	87
<b>Tabela 7.2</b> – Identificação (ID) da amostra, coordenadas, índice de Biogênicos Marinhos (BM), esfericidade e arredondamento .....	90
<b>Tabela 7.3</b> - Identificação (ID) da amostra, Latitude, Longitude e dados geoquímicos (carbonato, matéria orgânica total, composições elementares, razões isotópicas e as Razões C/N e C/P).....	94
<b>Tabela 7.4</b> - Componentes principais calculados através do PCA para os sedimentos da plataforma continental adjacente ao Porto do Recife .....	102
<b>Tabela 7.5</b> – características das classes sedimentares reconhecidas através da análise de agrupamentos (Cluster) dos sedimentos das amostras adjacentes ao Porto do Recife ...	104
<b>Tabela 8.1</b> – Período sazonal, número, identificação (ID) da amostra, latitude, longitude, profundidade (m) e dados sedimentológicos (parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957), composição sedimentar e os dados texturais de Shepard (1954)).....	121
<b>Tabela 8.2</b> – Período sazonal, identificação (ID) da amostra, coordenadas, índice de Biogênicos Marinhos (BM), esfericidade e arredondamento .....	126
<b>Tabela 8.3</b> – Período sazonal, número da amostra, coordenadas, carbonato, matéria orgânica total, composições elementares, razões isotópicas e as Razões C/N e C/P .....	130
<b>Tabelas 8.4</b> – Componentes principais calculados através do PCA para os sedimentos da plataforma continental adjacente a Fernando de Noronha.....	138
<b>Tabela 8.5</b> – Características das classes sedimentares reconhecidas através da análise de agrupamento (Cluster) dos sedimentos no período das amostras adjacentes a Fernando de Noronha .....	140
<b>Tabela 9.1</b> – Componentes principais calculados através do PCA para os sedimentos das distintas áreas de estudo .....	151
<b>Tabela 9.2</b> – Características dos grupos para os sedimentos das distintas áreas de estudo.....	152

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	18
1.1	ESTUDO DA DISTRIBUIÇÃO SEDIMENTAR EM PLATAFORMAS RASAS .....	20
<b>2</b>	<b>MATÉRIA ORGÂNICA NO AMBIENTE MARINHO</b> .....	23
2.1	ESTUDO DA MATÉRIA ORGÂNICA SEDIMENTAR COMO QUIMIOINDICADOR DE IMPACTOS AMBIENTAIS .....	23
2.2	CICLO DO CARBONO .....	25
2.3	NITROGÊNIO .....	28
2.4	FÓSFORO SEDIMENTAR .....	30
2.5	ISÓTOPOS ESTÁVEIS .....	32
2.6	RAZÃO C/N e C/P .....	34
<b>3</b>	<b>GEOLOGIA DA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE</b> .....	36
3.1	GEOLOGIA .....	37
<b>3.1.1</b>	<b>Estratigrafia</b> .....	37
3.1.1.1	Embasamento Cristalino.....	37
3.1.1.2	Bacia Paraíba .....	38
3.1.1.3	Grupo Barreiras .....	39
3.1.1.4	Cobertura Quaternária .....	39
<b>4</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	41
4.1	OBJETIVO GERAL.....	41
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	41
<b>5</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	42
5.1	ATIVIDADES DE CAMPO .....	42
<b>5.1.1</b>	<b>Descrição geral da área de coleta</b> .....	42
<b>5.1.2</b>	<b>Procedimento de coleta dos sedimentos de fundo</b> .....	44
5.2	ATIVIDADE DE LABORATÓRIO .....	44
<b>5.2.1</b>	<b>Triagem prévia das amostras</b> .....	44
<b>5.2.2</b>	<b>Análise granulométrica</b> .....	44
<b>5.2.3</b>	<b>Análise da fração Arenosa e Morfometria</b> .....	45
<b>5.2.4</b>	<b>Análise do conteúdo em carbonato cálcio e Matéria Orgânica Total (MOT)</b> ..	46
<b>5.2.5</b>	<b>Análise da composição elementar da matéria orgânica do C e N e das razões de isótopos estáveis de carbono (<math>\delta^{13}\text{C}</math>) e nitrogênio (<math>\delta^{15}\text{N}</math>)</b> .....	46
5.2.6	Análise dos conteúdos de fósforo.....	47
5.3	TRATAMENTO DE DADOS .....	48
<b>5.3.1</b>	<b>Sysgran (3.1)</b> .....	48
<b>5.3.2</b>	<b>Razão C/N e C/P</b> .....	48
<b>5.3.3</b>	<b>Análise estatística</b> .....	49
5.3.3.1	Correlação de <i>Spearman</i> ( <i>rs</i> ) .....	49
5.3.3.2	Análise de Componentes Principais (PCA) .....	49
5.3.3.3	Análise de agrupamento (Cluster) e faciológica através de técnica multivariada...	49
5.4	ELABORAÇÃO DOS MAPAS TEMÁTICOS .....	50

<b>6</b>	<b>ITAMARACÁ</b> .....	51
6.1	ÁREA DE ESTUDO .....	51
6.2	CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS DA ÁREA .....	52
<b>6.2.1</b>	<b>Clima</b> .....	52
<b>6.2.2</b>	<b>Vegetação</b> .....	52
<b>6.2.3</b>	<b>Hidrografia</b> .....	52
<b>6.2.4</b>	<b>Características oceanográficas</b> .....	53
6.3	RESULTADOS .....	55
<b>6.3.1</b>	<b>Análises granulométricas</b> .....	55
6.3.1.1	Classificação de fácies texturais de Shepard (1954) .....	55
6.3.1.2	Diâmetro médio (Folk & Ward, 1957) .....	55
6.3.1.3	Grau de seleção (Folk & Ward, 1957) .....	57
6.3.1.4	Frações granulométricas .....	58
<b>6.3.2</b>	<b>Análise da fração arenosa e morfoscopia</b> .....	59
<b>6.3.3</b>	<b>Análises Geoquímicas</b> .....	62
6.3.3.1	Análise do carbonato de cálcio (CaCO <sub>3</sub> ) e matéria orgânica total (MOT) .....	62
6.3.3.2	Carbono orgânico total (COT) e Nitrogênio Total (NT) .....	62
6.3.3.3	Razões isotópicas estáveis de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e nitrogênio ( $\delta^{15}\text{N}$ ) .....	65
6.3.3.4	Composição das frações de fósforo .....	65
6.3.3.5	Razão C/N e C/P.....	68
<b>6.3.4</b>	<b>Análises estatísticas</b> .....	70
6.3.4.1	PCA .....	70
6.3.4.2	Análise de agrupamento (Cluster) .....	71
6.4	DISCUSSÃO INTEGRADA.....	74
6.5	CONCLUSÕES .....	81
<b>7</b>	<b>PORTO DO RECIFE</b> .....	82
7.1	ÁREA DE ESTUDO .....	82
7.2	CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS DA ÁREA .....	83
<b>7.2.1</b>	<b>Clima</b> .....	83
<b>7.2.2</b>	<b>Vegetação</b> .....	83
<b>7.2.3</b>	<b>Hidrografia</b> .....	84
<b>7.2.4</b>	<b>Características oceanográficas</b> .....	84
7.3	RESULTADOS .....	86
<b>7.3.1</b>	<b>Análise granulométrica</b> .....	86
7.3.1.1	Classificação de fácies texturais de Shepard (1954) .....	86
7.3.1.2	Diâmetro médio (Folk & Ward, 1957) .....	86
7.3.1.3	Grau de seleção de Folk & Ward (1957) .....	88
7.3.1.4	Frações granulométricas .....	89
<b>7.3.2</b>	<b>Análise da fração arenosa e morfoscopia</b> .....	90
<b>7.3.3</b>	<b>Análises Geoquímicas</b> .....	93
7.3.3.1	Análise do carbonato de cálcio (CaCO <sub>3</sub> ) e matéria orgânica total (MOT) .....	93
7.3.3.2	Carbono orgânico total (COT) e Nitrogênio total (NT) .....	95
7.3.3.2	Razões isotópicas estáveis de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e nitrogênio ( $\delta^{15}\text{N}$ ) .....	97
7.3.3.4	Composição das frações de fósforo .....	99

7.3.3.5 Razão C/N e C/P.....	100
7.3.4 <b>Análises estatísticas</b> .....	102
7.3.4.1 PCA .....	102
7.3.4.2 Análise de agrupamento (Cluster) .....	103
7.4 DISCUSSÃO INTEGRADA.....	106
7.5 CONCLUSÕES .....	112
<b>8 FERNANDO DE NORONHA</b> .....	113
8.1 ÁREA DE ESTUDO .....	113
8.2 CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS DA ÁREA .....	114
<b>8.2.1 Clima</b> .....	114
<b>8.2.2 Biodiversidade</b> .....	114
<b>8.2.3 Características oceanográficas</b> .....	114
8.3 GEOMORFOLOGIA E GEOLOGIA .....	114
8.4 RESULTADOS .....	120
<b>8.4.1 Análise granulométrica</b> .....	120
8.4.1.1 Classificação de fácies texturais de Shepard (1954) .....	120
8.4.1.2 Diâmetro médio (Folk & Ward, 1957) .....	120
8.4.1.3 Grau de seleção (Folk & Ward, 1957) .....	123
8.4.1.4 Frações granulométricas .....	125
<b>8.4.2 Análise da fração arenosa e morfoscopia</b> .....	126
<b>8.4.3 Análises Geoquímicas</b> .....	129
8.4.3.1 Análise do carbonato de cálcio (CaCO <sub>3</sub> ) e matéria orgânica total (MOT) .....	129
8.4.3.2 Carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) .....	129
8.4.3.3 Razões isotópicas estáveis de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e nitrogênio ( $\delta^{15}\text{N}$ ) .....	133
8.4.3.4 Análise dos conteúdos de fósforo.....	135
8.4.3.5 Razão C/N e C/P.....	136
8.4.4 <b>Análises estatísticas</b> .....	138
8.4.4.1 PCA .....	138
8.4.4.2 Análise de agrupamento (Cluster) .....	139
8.5 DISCUSSÃO INTEGRADA.....	142
8.6 CONCLUSÕES .....	149
<b>9 PAPEL DAS DIFERENTES ÁREAS DE ESTUDO NO SEQUESTRO DE CARBONO.</b> .....	150
9.1 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS DISTINTAS ÁREAS DE ESTUDO... 150	
<b>9.1.1 PCA</b> .....	150
<b>9.1.2 Análise de agrupamento (Cluster)</b> .....	152
9.2 CONCLUSÃO GERAL .....	155
<b>10 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	156
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	157
<b>APÊNDICES</b> .....	178

## 1. INTRODUÇÃO

Em plataformas continentais, a cobertura sedimentar atual é o reflexo da natureza predominante dos componentes (sejam terrígenos ou marinhos), pela ação de transporte e retrabalhamento promovido pela hidrodinâmica local, associados às oscilações eustáticas do mar, onde sedimento constituído por partículas de materiais orgânicos e inorgânicos que se acumulam de maneira solta e não consolidada trazem consigo registros históricos do ambiente através da sua textura, maturidade e composição (PONZI, 2004; THURMAN, 1997; GARRISON, 2010).

Um dos componentes dos sedimentos é a matéria orgânica, e seus estudos em sedimentos recentes e em rochas sedimentares mostram a interação entre a atmosfera, biosfera, hidrosfera e geosfera, sendo um fator importante nos estudos biológicos, geológicos e ambientais (TYSON, 1995). Vários processos condicionam a deposição da matéria orgânica, como os fatores hidrológicos, químicos e biológicos da coluna d'água, aportes de material marinho e continental e características sedimentológicas do ambiente (BARCELLOS, 2005). O estudo da matéria orgânica contida no sedimento fornece variadas informações indicadoras de sua origem (MEYERS, 1997).

A circulação da água no sedimento e o seu efeito na distribuição e/ou reciclagem de elementos que compõem também a matéria orgânica tem sido alvo de discussão por várias situações: o movimento particular da água intersticial gerado pelo movimento das ondas (RIEDL & MACHAN, 1972; RIEDL et al., 1972), o aumento da troca sedimento-água, causando a movimentação do sedimento (KERSTEN, 1988 *apud* O'HARA et al., 1995), a extração de gases dissolvidos do sedimento por ebulição de metano biogênico (REEBURGH, 1969 *apud* O'HARA et al., 1995) e o aumento do fluxo de nutrientes do sedimento em resultado da ebulição (MARTEN & KLUMP, 1980 *apud* O'HARA et al., 1995).

De acordo com Barcellos & Furtado (1999), o conteúdo de carbono orgânico nos sedimentos superficiais depende de uma série de fatores, tais como as características sedimentares, produtividade da coluna d'água, taxa de degradação microbiana, além das condições oceanográficas locais. Os processos biológicos também contribuem na absorção de CO<sub>2</sub> atmosférico nos oceanos, como por exemplo, a presença do fitoplâncton, considerado o maior produtor primário nos ecossistemas aquáticos e responsável por cerca de 95,0% da produção primária, o que pode ocasionar a diminuição da pressão parcial do CO<sub>2</sub> nas camadas superficiais assim como possibilitar que 25% do material carbonático que foi fixado nesse

processo seja precipitado e componha os sedimentos (RAYMONT,1963; IPCC, 2007). Estudos conduzidos por Molinari et al. (2007) mostraram que os aportes de nutrientes costeiros associados as condições da plataforma adjacente podem vir a favorecer a produção de grupos específicos de fitoplâncton, o que pode acarretar impactos negativos ao meio em virtude da toxicidade.

As interferências antrópica sobre o meio natural têm sido cada vez mais imperativa decorrente das demandas sobre os recursos naturais, que é a fonte para suprir os consumos e atividades de uma população em crescimento (CIDIN e SILVA, 2004). O impacto acentua-se nas regiões urbanas, responsáveis por 80% das emissões de carbono para a atmosfera. Rodrigues (2012) alega que o dióxido de carbono absorvido pelos oceanos ao se misturar com a água salgada sofre uma série de reações químicas e no decorrer destas, produtos como íons de hidrogênio ( $H^+$ ) e carbonato de cálcio ( $CaCO_3$ ) são liberados, ou seja, o ambiente sofre alterações em sua composição química. Com essa acidificação, seres como fitoplâncton – e outros organismos calcificadores – terão dificuldade na deposição de cálcio e problemas em seu desenvolvimento visto que o meio ácido torna mais fácil a dissolução do carbonato de cálcio (RODRIGUES, 2012). O adensamento urbano que ocorre nas regiões costeiras, além das emissões de carbono, acarreta uma série de problemas como: a remoção da vegetação, promovendo assoreamento dos rios, zonas de calor e perda de habitats; redução do aporte fluvial (decorrente da impermeabilização do solo ou pela remoção da vegetação), impactando a produtividade primária, os ciclos biogeoquímicos além de deterioração da qualidade da água; e principalmente o aporte de efluentes e resíduos sólidos decorrentes das atividades urbanas, agrícolas e industriais, que têm como consequência perda da qualidade e contaminação da água, assim como da biota presente no meio (REBOUÇAS et al., 1999). De acordo com Kennish (1997), as regiões que recebem os efluentes apresentam concentrações de carbono orgânico (dissolvido e particulado) em 100mg/L, muito acima para os 10mg/L observados em estuários e os 6mg/L para as regiões costeiras.

Dentro deste contexto a presente proposta pretende evoluir o conhecimento sobre a distribuição sedimentar atual e caracterização da matéria orgânica sedimentar nas áreas de plataforma continental adjacente ao Porto do Recife, a Ilha Itamaracá, e a área de plataforma insular adjacente ao Arquipélago de Fernando de Noronha. E dentro do contexto das mudanças climáticas, pretende qualitativamente avaliar o potencial de cada área no sequestro de carbono, nitrogênio e fósforo, por meio das concentrações de C, N e P contida nos sedimentos.

## 1.1. ESTUDO DA DISTRIBUIÇÃO SEDIMENTAR EM PLATAFORMAS RASAS

As plataformas continentais, embora representem apenas 10% das áreas oceânicas existentes no mundo, concentram cerca de 90% dos recursos marinhos importantes para a economia, como combustíveis e minerais (COUTINHO, 1995), constituindo assim um ambiente com grande importância, sendo necessário seu aproveitamento sustentável, sob os pontos de vista da ecologia, economia e sociedade (REBOUÇAS, 2010).

Em linhas gerais, as plataformas continentais do tipo Atlântico – que são o caso das plataformas brasileiras – são constituídas por uma área submersa, relativamente rasa e que margeia os continentes, com uma superfície aplainada (quase horizontal), com um gradiente em torno de 1:1000m, apresentando relevos que raramente excedem os 20m, e uma quebra que fica em aproximadamente 130m de profundidade (COUTINHO, 1995; SUGUIO, 2003). Tal forma é devido a herança geológica e a fatores como o espaço de acomodação, dos aportes sedimentares, das circulações oceânicas, além das variações do nível do mar (DOMINGUEZ, 2009).

A cobertura sedimentar atual das plataformas continentais é um reflexo da natureza predominante na sua composição (terrígena ou carbonática), origem (autóctone ou alóctone), e pela ação de transporte e retrabalhamento, que é feita pela atividade hidrodinâmica (como ondas, marés e correntes) (PONZI, 2004). Johnson e Baldwin (1996) alegam que se materiais de natureza terrígena são introduzidos em uma área da plataforma (principalmente pelos rios), temos que o suprimento dessa plataforma é alóctone. Já Rebouças (2010), afirma que se o material biogênico presente no substrato, esse é o resultado da acumulação as camadas de carapaças carbonáticas dos organismos de águas rasas, onde a produtividade, variedade e abundância são regidas principalmente pelas condições climáticas, temperaturas, salinidade e intensidade fótica, sendo secundária a atuação da turbidez, origem do substrato, fluxo dos nutrientes e o regime hidrodinâmico, então este sedimento é caracterizado como autóctone. Diversos trabalhos realizados (WILSON, 1975; PONZI, 2004; JOHNSON e BALDWIN, 1996) afirmam que quando o aporte terrígeno é baixo ou ausente o suprimento autóctone é favorecido, sendo este um fator importante nas plataformas carbonáticas do nordeste do Brasil. Existem também sedimentos terrígenos reliquiais fruto do retrabalhamento de antigos depósitos relacionados a ciclos anteriores de subida e descida do nível do mar (MACMANUS, 1975), denominados palimpsestos.

No princípio, acreditava-se que as plataformas continentais possuíam um gradual sedimentar, onde os sedimentos iam de mais grossos perto da costa, até mais finos nas margens das plataformas, só após estudos em várias partes do mundo, constatou-se que as plataformas eram cobertas por um mosaico sedimentar com grande variedade textural (SHEPARD, 1932, 1973; EMERY, 1952, 1968). Com essa evolução saiu-se do conceito de estado de equilíbrio para um ambiente em desequilíbrio, onde há pouca relação entre o sedimento e a distância da linha de costa (como cascalho em plataformas externas e lama na parte interna) (REBOUÇAS, 2010).

Sobre essa variação da distribuição granular do sedimento, Shepard (1973) correlacionou que tais tendências granulométricas estão de acordo com a área fonte, desenho da linha de costa, correntes costeiras e a própria topografia da plataforma. No caso de Hayes (1967) associou as tendências com os tipos de clima, como podemos ver na tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Relação da granulometria dos sedimentos com o ambiente da plataforma continental e o clima. Fonte: adaptado de Rebouças (2010).

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

Considerando essas classificações propostas por Hayes (1967), de acordo com os tipos de climas, teremos que todas as plataformas do nordeste brasileiro serão compostas por areias, lama, coral e possível presença de fragmentos biogênicos marinhos (conchas).

Aos dados existentes sobre a cobertura sedimentar foram incorporadas às texturas sedimentares, os dados das formas de leito e a dinâmica da plataforma continental, assim como o uso de sonares de varredura lateral, mostrando que o material sedimentar possui uma ampla relação com os eventos atuais, devido ao retrabalhamento por processos físicos e biológicos (STRIDE et al., 1963; JOHNSON e BALDWIN, 1996; ANDERTON, 1976; MACMANUS, 1975; ALLEN, 1980). Com base nos dados sobre a cobertura sedimentar das plataformas continentais, foi desenvolvido um modelo de sedimentação baseado no regime hídrico dominante (ANDERTON, 1976; STANLEY E SWIFT, 1976; FLEMMING, 1980, 1981), onde através desse modelo é possível classificar as plataformas de acordo com 4 tipos principais:

- I. Dominados por maré;
- II. Dominada por onda;
- III. Dominada por tempestade;
- IV. Dominada por correntes oceânicas.

O tipo, a taxa e origem dos sedimentos durante as oscilações do nível do mar são esclarecidos por Swift (1974) que distingue uma plataforma autóctone, como aquela que recebe sedimentos *in situ* retrabalhados, e alóctones como a plataforma que recebe suprimentos modernos do continente.

Os estudos em plataformas continentais – carbonáticas e siliciclásticas – foram estimulados pela indústria do petróleo, onde foi avaliado comportamento semelhante nas plataformas carbonáticas e siliciclásticas, sendo que as carbonáticas diferem por aspectos como a sua origem, gradientes (espaciais e temporais) nas taxas de produção, tendência a litificação, propriedade hidrodinâmicas, clima (LEEDER, 1999).

Estudos sobre as características da matéria orgânica depositada nos sedimentos superficiais das plataformas continentais são largamente utilizadas devido à correlação em diversos processos, como: a produtividade de águas superficiais nas áreas adjacentes, o aporte de materiais de origem continental para o oceano, a dinâmica das massas d'água, o potencial de oxi-redução dos componentes, dos índices de sedimentação, dos processos geoquímicos, processos diagenéticos e a distribuição sedimentar (MÜLLER & SUESS, 1979; DOMAIN,

1982; INTÈS & LE LOEUFF, 1986; STEIN, 1991; BONIFAY & GIRESE, 1992; FAGANELLI et al., 1994; MEYERS, 1997; ARNOSTI et al., 1998; HEDGES et al., 1999; JANSEN et al., 2003; HYLAND et al., 2005; BURDIGE, 2007; KOHO et al., 2013), o que torna a matéria orgânica não apenas um parâmetro para a compreensão sedimentar, mas uma base para as demais áreas da oceanografia.

## **2. MATÉRIA ORGÂNICA NO AMBIENTE MARINHO**

### **2.1. ESTUDO DA MATÉRIA ORGÂNICA SEDIMENTAR COMO QUIMIOINDICADOR DE IMPACTOS AMBIENTAIS**

O sedimento tem como função ser um compartimento aquático ativo, que possui um importante papel no meio, pois suas características (como a composição química e a granulação) determinam a distribuição das espécies presentes, além de ser uma importante fonte de informações geoquímicas sobre o ambiente deposicional (BEVILACQUA et al. 2009).

A matéria orgânica sedimentar (MOS) é constituída principalmente, por macromoléculas insolúveis em água, que são derivadas diretamente dos organismos 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) que é 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; BAYER et al., 2002; AZEVEDO et al., 2008). A matéria orgânica pode ter duas origens básicas: alóctone e 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).

A caracterização da matéria orgânica presente nos sedimentos possui uma 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).

Estudos com a matéria orgânica sedimentar possibilitam condições de avaliar o ambiente das áreas sedimentares, obtendo-se diagnósticos sobre as condições naturais e as interferências das ações antrópicas sobre as mesmas (OLIVEIRA, 2014). Ao se associar as concentrações obtidas com a distribuição sedimentar e com a origem do material orgânico presente no sedimento, é possível ter a compreensão de todo o processo de sedimentação atual e quais os fatores interferem no processo, tanto temporalmente quanto espacialmente (BARCELLOS, 2005).

De acordo com Mayer et al. (2007), as plataformas continentais são as áreas onde ocorrem a deposição de maior parte da matéria orgânica contida nos oceanos. Xing et al.(2011) afirma que as plataformas continentais e os estuários cobrem apenas 10% do fundo do mar total, no entanto, conseguem captar mais 90% da matéria orgânica sedimentar marinha, devido a entrada do material terrestre nesses meios e a produtividade marinha primária.

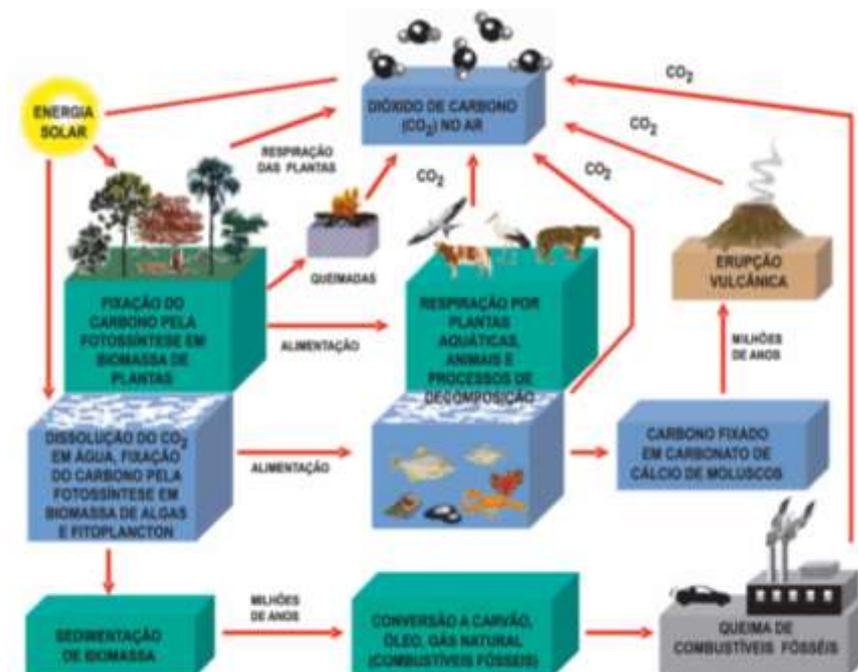
De acordo com Barcellos (2000) a matéria orgânica é essencial para manutenção das áreas costeiras, e a natureza dessa matéria orgânica permite avaliar se há a maior ou menor disponibilidade do uso desses nutrientes pelos organismos bentônicos, pois quando a matéria orgânica é oriunda dos continentes ela é mais refratária à absorção dos organismos, carecendo de atividade bacteriana na matéria orgânica para enriquecimento em nutrientes, mas se a origem for à produção primária (fitoplâncton) há uma maior disponibilidade para aproveitamento nos níveis tróficos sequenciais.

A plataforma continental do Nordeste do Brasil pode ser dividida em duas partes: interna e externa, onde a plataforma interna é a que se encontra abaixo da isóbata de 20 m, onde areias quartzosas e sedimentos clásticos são dominantes, e é seguida pela externa, que é mais larga e vai até cerca de 70 m de profundidade (em média onde ocorre a quebra), onde domina a presença algas calcárias (SUMMERHAYES et al., 1975). A interação entre essas sedimentações (terrígenas e a carbonática) controlam a distribuição de sedimentos, onde quanto maior for à influência continental maior será o aporte de material orgânico de origem continental e menor será o teor de carbonatos nos sedimentos da plataforma (KNOPPERS et al., 1999). Do ponto de vista geoquímico, estas subfacies são similares (COUTINHO e MORAIS, 1970), com elevado teor de matéria orgânica originada na biomassa das próprias algas (média de 44%) e carbonatos biogênicos (média de 86%) e baixo conteúdo de material clástico (FREIRE et al., 2004).

## 2.2. CICLO DO CARBONO

A capacidade de realizar quatro ligações (do tipo covalente) possibilita que o carbono seja o constituinte estrutural de diversos componentes essenciais à vida (como proteínas, carboidratos, lipídeos, açúcares, etc.), tornando-o um elemento completamente essencial à existência da vida (SOUZA et al., 2012). Outro ponto fundamental em que o carbono atua para a existência da vida é a manutenção da temperatura do planeta, já que as concentrações dos gases dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e metano ( $\text{CH}_4$ ) mantêm as condições atmosféricas e evitam o resfriamento do planeta, além do fator da fixação fotossintética do  $\text{CO}_2$ , que permitiu a existência de oxigênio na atmosfera (SCHLESINGER, 1991).

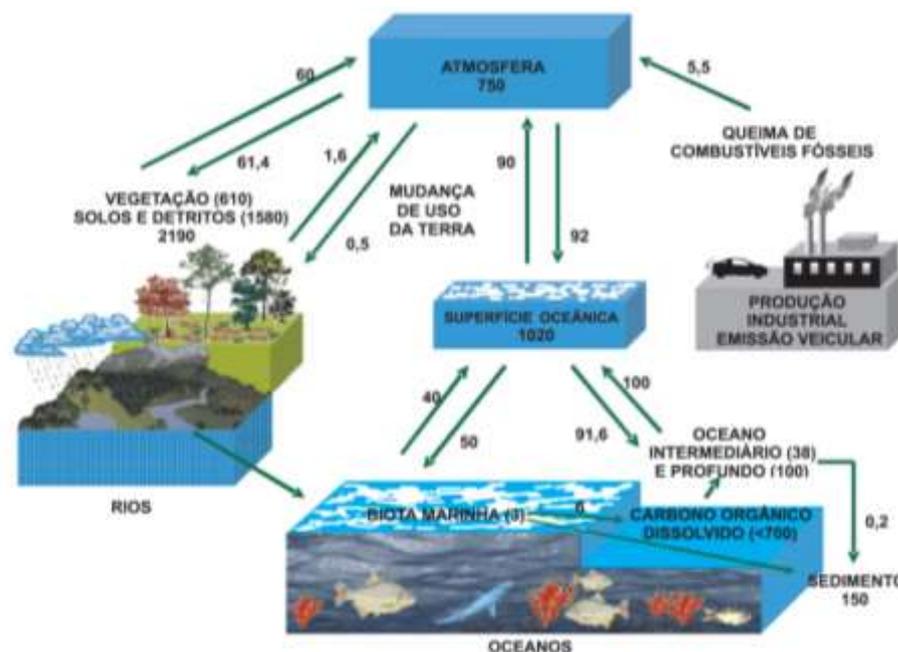
Os oceanos são as maiores fontes de carbono, onde, com exceção dos carbonatos e carbono orgânico precipitado e retido nos sedimentos, a maior parte do carbono se encontra como carbono inorgânico dissolvido (PILSON, 1998; MILLERO, 2006; SABINE & FEELY, 2007). As frações orgânicas dissolvidas e particuladas, embora tenham uma magnitude menor em relação ao carbono inorgânico dissolvido, possuem um papel fundamental para o ciclo global do carbono, devido aos processos autóctone e alóctone associados à produção primária, juntamente com as trocas que ocorrem entre oceano e atmosfera (SABINE, 2007; SMITH, 2005). Na figura 2.1, vemos como ocorrem as trocas e fluxos de carbono entre os continentes, oceanos e atmosfera.



**Figura 2.1** – Ciclo Biogeoquímico global do carbono. Fonte: Martins et al. (2003).

As zonas costeiras e os ecossistemas presentes nela são os principais focos de interesse para as pesquisas envolvendo o ciclo global do carbono, pois são as áreas onde se concentram intensas atividades e processos biogeoquímicos que envolvem o carbono e nutrientes, além de possuírem uma grande taxa de acumulação de sedimentos (SOUZA et al. 2012). A concentração antrópica, por meio da urbanização, exerce forçantes sobre o meio e ecossistemas marinhos, alterando ciclos hidrológicos, sedimentares, além da diminuição de habitats, gerando assim impactos negativos, como eutrofização, aumento de turbidez, invasão de espécies (CROSSLAND et al., 2005).

Nas áreas costeiras o carbono provém para os sistemas marinhos através dos rios, fluxos e águas subterrâneas e pela deposição atmosférica. Na figura 2.2 é possível observar todo o fluxo e os teores de carbono que circulam entre a atmosfera-continentes-oceanos. Entradas fluviais são importantes para o sistema, pois a composição do material carbonático varia de acordo com a vegetação, tipo de solo e a litologia da bacia de drenagem, pois 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 2.2** – Fluxo do carbono no sistema terrestre, valores em Giga tonelada ( $\times 10^9$  toneladas). Fonte: Martins et al. (2003)

Compreender o ciclo do carbono em áreas costeiras, e como estas áreas atuam sobre esse elemento e na composição da matéria orgânica é fundamental, principalmente pelas áreas estudadas se localizarem em uma plataforma rasa, próxima à costa e com uma presença

significativa de biogênicos e carbonatos, além da potencialidade das mesmas em interferir no equilíbrio do carbono marinho (ROSCOE, 2003).

De acordo com Barcellos (2000), no meio marinho, a presença do carbono em sedimentos superficiais está correlacionada a uma série de fatores que englobam: as características sedimentares do local, a produtividade da coluna d'água, a taxa de degradação microbiana, além das condições oceanográficas locais. Um baixo conteúdo de carbono orgânico nos sedimentos (<0,5%) é uma característica da 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).

Para a plataforma continental de Pernambuco, um fator importante 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 a capacidade das algas calcárias em ser uma reserva global de carbono. Embora ainda não seja um processo completamente descrito, sabe-se que a assimilação de carbono pelas algas decorre do processo fotossintético, o qual elas se utilizam do CO<sub>2</sub> presente no carbonato precipitado, promovendo um equilíbrio dos gases (LOBBAN & HARRISON, 1994; OLIVEIRA, 1996). A presença de carbonato de cálcio ocorre em todos os grandes grupos de algas, sendo que poucas ocorrem à deposição (AMANCIO, 2007). As formas de precipitação do carbonato dão-se de duas formas: calcita e aragonita, mas as duas nunca ocorrem ao mesmo tempo 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 de algas (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  $2 \times 10^{11}$  toneladas de sedimentos, os quais 75% são de carbonato (MILLIMAN & AMARAL, 1974).

### 2.3. CICLO DO NITROGÊNIO

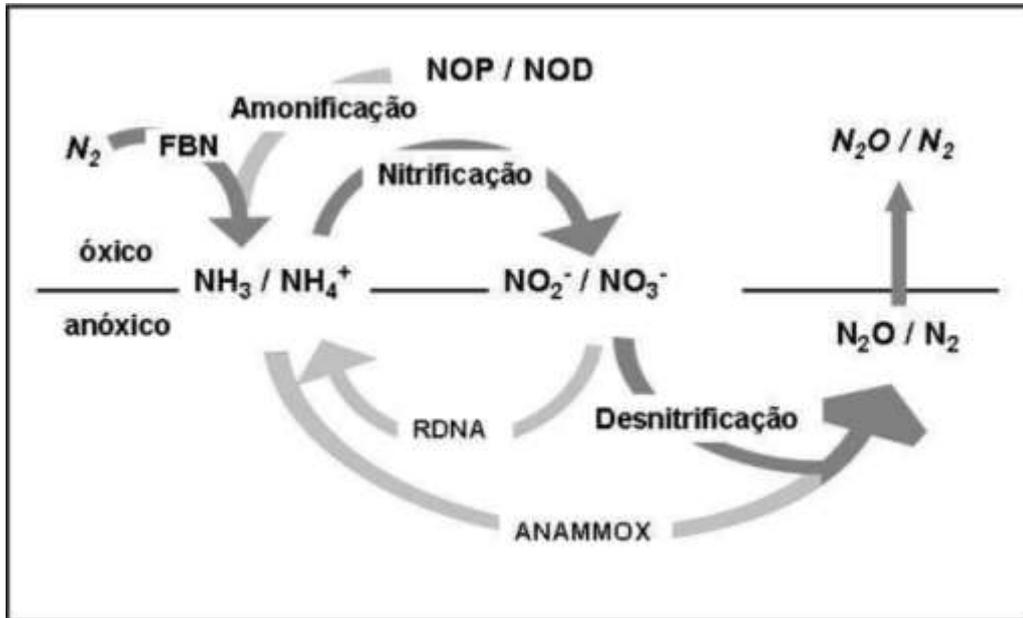
De acordo com Galloway et al. (2003), dentre os elementos essenciais a vida (carbono, fósforo, oxigênio e enxofre), o que apresenta maior abundância na atmosfera e biosfera é o nitrogênio. O nitrogênio, em sua totalidade, apresenta uma massa  $4 \times 10^{21}$ g maior que as dos demais elementos mencionados juntos (MACKENZIE 1998). A grande diferença é que apesar da abundância, por volta de 99% não se encontra disponível para os organismos vivos, pois a maior abundância do nitrogênio é sua forma elementar ( $N_2$ ), que é uma forma química que os organismos não conseguem assimilar pois, quebrar a tripla ligação existente, demanda uma grande energia, alcançada apenas por processos artificiais (envolvendo altas temperaturas) ou por microrganismos especializados em fixar o nitrogênio (GALLOWAY et al. 2003).

Como a matéria orgânica é oriunda dos organismos vivos, é de fundamental importância compreender que o nitrogênio é um macro nutriente que está constituindo as células de todos os seres vivos, pois é 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).

Elser et al.(2007), afirma que as fontes inorgânicas de nitrogênio como a amônia, nitrato e nitrito são bem limitadas nos ecossistemas naturais, e que apesar da visão de que o fósforo é o agente limitante da produção primária em águas continentais. Trabalhos como o de Elser et al. (2007) e Francoeur (2001), mostram que há uma variedade considerável de sistemas que são limitados pelo nitrogênio. Em contrapartida, temos um grave problema em relação ao excesso de nitrogênio nos sistemas aquáticos como um todo, pois tal excesso desencadeia o processo de eutrofização, que vem sendo um dos grandes problemas atuais, de acordo com Smill (1997). Considerando esses extremos, podemos afirmar que a regulação do nitrogênio realizada pelos processos microbiológicos é extremamente importante para a manutenção da dinâmica e composição dos ecossistemas (SANTORO, 2010).

A maior parte dos processos do ciclo biogeoquímico global do nitrogênio (Fig. 2.3) é realizada pelas bactérias, com ênfase para os processos de fixação, nitrificação e desnitrificação (Klotz & Stein 2008). Galloway et al (2003) divide os compostos nitrogenados em dois grupos: não reativos, representado pela molécula de  $N_2$ ; e reativos, que engloba todos os compostos biologicamente, fotoquimicamente ou radiativamente ativos na lito-biosfera. As formas mais estudadas nos ecossistemas são N-orgânico (particulado e dissolvido), amônia

( $\text{NH}_3$ ), íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), nitrito ( $\text{NO}^-2$ ) e nitrato ( $\text{NO}^-3$ ) (SANTORO, 2010).



**Figura 2.3** - 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 semelhante ao ciclo global do mesmo, onde o nitrogênio é encontrado em 4 formas: orgânico dissolvido (ureia e aminoácidos), orgânico particulado (organismos e detritos), inorgânico dissolvido (nitrogênio molecular ( $\text{N}_2$ ), amônia ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrito ( $\text{NO}^-2$ ) e nitrato ( $\text{NO}^-3$ )) 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). Rios e lagos, submetidos às ações antrópicas, podem apresentar elevadas concentrações de nitratos na água (como amônia em áreas costeiras), diferindo do meio marinho, onde o tempo de residência na água é bem menor, sendo mais longo nos sedimentos (GALLOWAY et al. 2003; BARCELLOS, 2000). No sedimento, estudos realizados por Romankevich (1984) em 49 regiões distintas do globo observou 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 (BARCELOS e FURTADO, 1999).

Em relação à salinidade Boatman & Murray (1982) afirmam que quanto mais alta for, mais prejudica a absorção de  $\text{NH}_4^+$ , além de causar um impacto fisiológico sobre as bactérias nitrificantes (JOYE & HOLLIBAUGH 1995; RYSGAARD et al. 1999). A zona de interface entre sedimento e água dos ambientes aquáticos possibilitam regiões com intensa deposição e degradação da matéria orgânica (DEAN 1999; HEINEN & MCMANUS 2004), onde tais condições permitem alta atividade biogeoquímica devido ao consumo de oxigênio por tais metabolismos. As concentrações de nitrogênio podem diminuir e até se tornar nula já nos primeiros milímetros do sedimento (SWEERTS et al. 1989), sendo assim os sedimentos superficiais (como os que foram estudados no presente trabalho) são os mais indicados para estudar a distribuição da matéria orgânica sedimentar e o comportamento dela no meio.

#### 2.4. FÓSFORO SEDIMENTAR

O fósforo é um nutriente essencial para a manutenção da vida, pois faz parte de diversas moléculas de organismos vivos (e.g. ATP, ácidos nucleicos, fosfolipídios). Sua importância se dá, também, por ser considerado um nutriente limitante na produção primária das células fitoplanctônicas dos sistemas aquáticos costeiros (FROELICH et al., 1982; BERNER, 1994).

Por ser facilmente oxidado, o fósforo não se encontra na forma elementar nos sedimentos (MELLO et al., 1989), mas na solução, presentes como íons ortofosfato (VAN RAIJ, 1991). No estado sólido, ele se combina (sob a forma de ortofosfato) com metais, como ferro, alumínio e cálcio, e pode vir a combinar-se com matéria orgânica também. Nos solos ácidos, predominam os fosfatos de ferro e alumínio, já nos solos alcalinos os mais frequentes são os fosfatos de cálcio (VAN RAIJ, 1991). Na maioria dos solos, na faixa entre 50 e 90% do fósforo é inorgânico, composto por fosfatos de alumínio e ferro em solos ácidos, e fosfatos de cálcio, em solos alcalinos (DANIEL et al.; 1994). Goedert et al. (1986) diz que vários fatores influenciam na relação entre as formas de fósforo (sólido e solúvel), dentre elas estão: a quantidade de fósforo que foi adicionada ao solo, o tempo e o volume de contato do fósforo que foi adicionado com o solo, o tipo e a quantidade de minerais que estão presentes no solo, o pH do solo, a competição entre ânions presentes na solução. A disponibilidade de fósforo no solo decorre da capacidade de solubilização dos minerais fosfatados, da mineralização de matéria orgânica e, também, da adição de fertilizantes minerais (MELLO et al., 1989).

Grande parte do fósforo inorgânico é insolúvel, sendo que apenas uma pequena fração (cerca de 10%) está disponível para a absorção pelas plantas, muitos compostos fosfatados orgânicos na forma lábil (glicerofosfatos, fosfolipídios, ácidos nucleicos), podem vir a ser mineralizados por conta das atividades microbianas (DANIEL et al. 1994). Entretanto apenas uma taxa de menos de 5% do fósforo orgânico normalmente pode vir a ser mineralizado durante o ano, mas alguns casos, apesar de baixa, essa taxa pode ser suficiente para suprir as necessidades de fósforo para o crescimento de plantas e demais organismos (ÁVILA, 2005).

O fósforo de origem antrópica está, principalmente, sob as formas inorgânicas, em virtude do uso indiscriminado de fertilizantes químicos na agricultura, como o di-hidrogenofosfato de cálcio  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  (que é um composto altamente solúvel em água), ou pelas emissões dos efluentes das áreas urbanas, onde se encontram os polifosfatos dos produtos de limpeza e ortofosfato e fosfatos inorgânicos oriundos dos esgotamentos sanitários não tratados (OSORIO, 2001).

As principais fontes de fósforo para os oceanos são os rios. A abundância de fósforo inorgânico dissolvido que é introduzido nos oceanos oscila aproximadamente entre  $3 \times 10^9$  e  $15 \times 10^9$  mol por ano (DELANEY, 1998).

O fósforo ao ser transportado dos rios aos oceanos passa antes pelos estuários, onde uma gama considerável de processos ocorrem, que interferem na disponibilidade biológica e o quanto de fósforo vai ser aportado nas áreas costeiras e oceânicas. Ao chegar ao meio marinho, o fósforo passa a ser assimilado pelo fitoplâncton, bactérias e plantas bentônicas, além de ser remineralizado por atividades heterotróficas de animais e microrganismos, de modo semelhante aos que ocorrem em lagos (GROBBELAAR & HOUSE, 1995; MELACK, 1995).

O fósforo presente ou emitido aos estuários (por fontes antrópicas ou naturais) pode ser orgânico ou inorgânico. As fontes naturais mais significativas de fósforo para o meio marinho são: intemperismo das rochas fosfáticas, as chuvas e as lixiviações dos solos pela água da chuva. A fluorapatita carbonática autigênica também representa um importante depósito de fósforo reativo nos ambientes marinhos. Já nos ambientes estuarinos o fósforo presente ocorre de diversas fontes, sendo difícil a quantificação e identificação dos constituintes em virtude da variabilidade de composições. Além disto, o fósforo orgânico é constantemente modificado em virtude dos processos de degradação devido ao fluxo na interface água e sedimento (RUTTENBERG, 1992).

A zonas onde se mistura a água do rio com o mar nos estuários geram propriedades químicas únicas, que possuem a capacidade de afetar a adsorção do fosfato inorgânico nas partículas de sedimento (HOWARTH et al., 1995). Os processos de adsorção<sup>1</sup>/dessorção<sup>2</sup> são os responsáveis por este mecanismo, nos quais são diretamente influenciados pela salinidade, pH e concentração dos fosfatos. A faixa ideal de pH para que haja adsorção do fosfato nos sedimentos está entre 3 e 7. Por conta das misturas de água doce (pH <8) e salgada (8,0 < pH <8,2) que ocorrem nos estuários, há uma eficiência da remoção na faixa menos salina do estuário (SANTOS et al., 2007), mas para um pH fixo, conforme Brephol (2000) e Braga apud Aguiar & Braga (2007), o aumento de salinidade provoca a diminuição da adsorção do fosfato no sedimento. Desta forma há uma possibilidade de se usar o fósforo como indicador de origem de matéria orgânica.

De acordo com Filippelli (1997) as concentrações de fósforo presentes nos sedimentos de margens continentais que possuem altas taxas de sedimentação, variam de 8 a 108  $\mu\text{mol/g}$ , já para as bacias oceânicas vai de 7 a 307  $\mu\text{mol/g}$ , e para ambientes fosfogênicos o teor oscila de 580 a 3700  $\mu\text{mol/g}$ . Para margens continentais não fosfogênicas os valores encontrados foram: 92 a 108  $\mu\text{mol/g}$  (Oeste da África), 35 a 80  $\mu\text{mol/g}$  (Peru), 23 a 33  $\mu\text{mol/g}$  (Califórnia) e 23 a 24  $\mu\text{mol/g}$  (Carolina do Norte). Já para a costa Pernambucana, Gaspar (2008) encontrou valores de até 47,03  $\mu\text{mol/g}$  de fósforo total para o Rio Botafogo, 38,30  $\mu\text{mol/g}$  a 45,52  $\mu\text{mol/g}$  para o Canal Santa Cruz e 38,30  $\mu\text{mol/g}$  para o Rio Carrapicho. Santos (2016) em um estudo sazonal no estuário do Rio Formoso observou valores entre 0,52  $\mu\text{mol/g}$  a 14,30  $\mu\text{mol/g}$  para o período chuvoso e 0,02  $\mu\text{mol/g}$  a 23,22  $\mu\text{mol/g}$  para o período seco.

## 2.5. ISÓTOPOS ESTÁVEIS

Os isótopos são espécies atômicas de um mesmo elemento químico, mas 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 carbono (C) e o nitrogênio (N) são elementos que possuem mais de um isótopo, e a composição isotópica

---

<sup>1</sup> Processo pelo qual átomos, moléculas ou íons são retidos na superfície de sólidos através de interações de natureza química ou física até se neutralizarem.

<sup>2</sup> Processo oposto à adsorção.

natural destes elementos pode ser medida, com elevada precisão, utilizando espectrômetro de massa (PETERSON & FRY, 1987; DAWSON & BROOKS, 2001).

O uso de isótopos estáveis como um traçador natural sobre a 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 essas assinaturas se preservam relativamente bem durante os processos de mineralização, transporte e acumulação no sedimento (BOUILLON et al., 2011).

Sobre o uso de isótopos para avaliação da matéria orgânica, Pereira e Benedito (2007) fazem a seguinte afirmação:

“Os isótopos estáveis estão presentes nos ecossistemas e sua distribuição natural reflete uma história integrada aos processos físicos e metabólicos deste. Uma das maiores vantagens no uso dessa técnica está nos estudos de campo, em que as medidas da distribuição isotópica existentes revelam como os componentes do ecossistema estão conectados. Adicionalmente, os processos físicos e biológicos que levam às variações na abundância natural dos isótopos são uma valiosa ferramenta para pesquisadores interessados em medir o fluxo de matéria e energia entre os organismos (PEREIRA & BENEDITO, 2007. Pág. 25).”

Com base nessa afirmação, temos que este estudo é uma excelente ferramenta para avaliar a origem da matéria orgânica sedimentar. Rumolo et al., (2011) diz que uso da razão isotópica de N e C para detectar a origem da matéria orgânica terrestre e marinha está correlacionado à assinatura isotópica específica que tem os diferentes fontes e processos, ao comportamento conservativo (principalmente as frações mais pesadas) e à uma resposta linear para a correlação física entre os compartimentos de origem. 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).

Para a análise isotópica é determinada a proporção entre dois isótopos estáveis em um determinado elemento na amostra. Com os dados da razão entre os isótopos de um elemento, é possível inferir, fatores como a fonte de matéria orgânica na amostra (REZENDE, 2015). A análise isotópica avalia a proporção de dois isótopos estáveis de um determinado elemento (como o carbono e nitrogênio, por exemplo) numa amostra, onde a razão é calculada pelo isótopo mais abundante e o menos abundante. 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).

Os isótopos estáveis do carbono são o  $^{12}\text{C}$  e  $^{13}\text{C}$ , 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  $^{14}\text{N}$  e  $^{15}\text{N}$ , onde as abundâncias encontram-se em torno de 99,63% e 0,37%, respectivamente (BIANCHI & CANUEL, 2011).

O cálculo da razão isotópica é realizado através da notação delta ( $\delta$ ), que leva em consideração o que foi encontrado na amostra com o que se tem numa amostra padrão, onde a notação delta é calculada pela seguinte fórmula:

$$\delta = [(R_{\text{amostra}} - R_{\text{padrão}}) / R_{\text{padrão}}] \times 1000 \text{ (BIANCHI \& CANUEL, 2011).}$$

Onde R é a razão entre o isótopo mais pesado e mais leve. O resultado é expresso em partes por mil (‰) (BIANCHI & CANUEL, 2011). Para calcular o  $\delta^{13}\text{C}$  o padrão é Pee Dee Belemnite (PDB) e para calcular o  $\delta^{15}\text{N}$  o padrão utilizado é o ar atmosférico (AR). Se o delta tem um valor positivo, implica que a amostra tem uma razão isotópica maior que o padrão (mais espécies pesadas como  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ ), mas, caso o valor seja negativo, o teor é inferior ao do padrão (PEREIRA & BENEDITO, 2007).

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., 2006; HU et al., 2009; REZENDE et al., 2010; BAO et al., 2013; REZENDE, 2015; ALVES, 2016).

## 2.6. RAZÃO C/N e C/P

Assim como as razões isotópicas, as razões elementares (do C, N, P e S) podem ser utilizadas para estudos geoquímicos que busquem identificar a origem da matéria orgânica sedimentar, principalmente se esses valores forem correlacionados com as condições geológicas do local, atuando como uma importante ferramenta para diagnóstico ambiental (BERBEL, 2008).

Dentre estas está a razão C/N que é calculada a partir dos teores de carbono orgânico e o teor de nitrogênio total. Barcellos et al. (2005) afirma que o uso da razão C/N é utilizado há décadas para estudos da matéria orgânica presente em sedimentos, buscando determinar a predominância continental ou marinha. O autor ainda afirma, com base em Ruttenberg & Goñi, (1997), que de modo semelhante ao feito com a razão C/N, tem-se a razão C/P que também pode ser utilizada na determinação da origem da matéria orgânica que é calculada através do teor de carbono orgânico e fósforo orgânico presente nas amostras.

Com base nos teores encontrados sobre a origem da matéria orgânica por Ruttenberg & Goñi (1997) e Atkinson & Smith (1983) para as razões C/P e por Bordoviskiy (1965) e Meyers, (1997) para as razões C/N, Berbel (2008) elaborou a seguinte tabela (2.2), contendo as classificações da origem da matéria orgânica de acordo com os teores encontrados e onde foram acrescidos os valores encontrados por Müller (1977).

**Tabela 2.2** – Classificação da Matéria Orgânica de acordo com as razões C/N e C/P em literaturas. Adaptado de Berbel (2008).

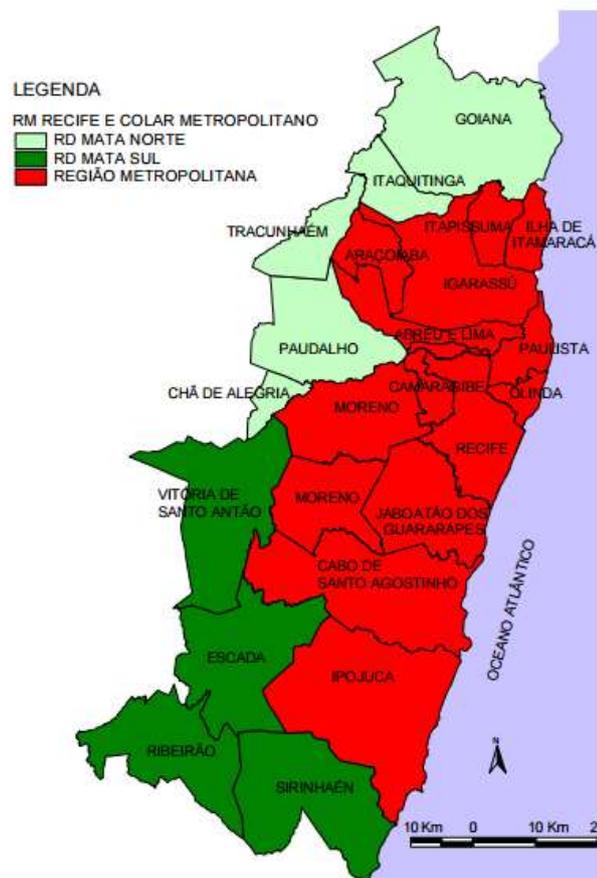
<b>RAZÃO</b>	<b>TEOR</b>	<b>ORIGEM DA MATÉRIA ORGÂNICA</b>	<b>REFERÊNCIAS</b>
C/N	3 – 4	Poliquetas	Müller, (1977)
	4 – 7	Organismos fitoplanctônicos	Bordoviskiy, 1965 Meyers, 1997
	8 – 12	Mistura de material planctônico e plantas terrestres	
	>20	Aporte continental	
C/P	7 – 80	Atividade bacteriana	Ruttenberg & Goñi, 1997
	80 – 300	Origem marinha ou mista	
	300 – 1300	Tecidos vegetais moles	
	>1300	Tecidos vegetais duros	
	550	Bentos marinhos	Atkinson & Smith, 1983

Para o presente trabalho essa classificação é de extrema importância, pois em muitas amostras não foi detectado nem a razão isotópica nem elementar do Nitrogênio, desse modo as classificações da composição sedimentar foram feitas de acordo com a razão C/P e complementa com os dados existentes da razão C/N.

### 3. GEOLOGIA DA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE

A Região Metropolitana do Recife (RM Recife) é classificada como a 5ª região mais populosa entre as RM brasileiras, concentrando cerca de 3.690.485 habitantes. De toda população da região metropolitana, 42,6% estão domiciliadas na capital Recife (BITOUN, et al., 2012).

A RM Recife foi institucionalizada pela Lei Federal nº 14 de 1973 (figura 3.1.), e é constituída por 14 municípios: Abreu e Lima, Araçoiaba, Camaragibe, Cabo de Santo Agostinho, Goiana, Igarassu, Ilha de Itamaracá, Ipojuca, Itapissuma, Jaboatão dos Guararapes, Moreno, Olinda, Paulista, Recife, São Lourenço da Mata. Concentrando 42% da população de Pernambuco em 2,81% do território estadual (IBGE, 2010). A região concentra também a maior parte do PIB estadual (65,1%). Dos 3.690.485 habitantes da região, 3.589.674 habitantes residem na zona urbana (51 % da população urbana em PE) e 101.383 habitantes moram na zona rural. Com 218km<sup>2</sup>, a capital Recife representa 7,2% da área metropolitana e concentra 41,6 % dos habitantes dessa região.



**Figura 3.1** – Região Metropolitana do Recife. Fonte: Observatório das Metrôpoles – IPPUR-PPGEO-MDU

### 3.1. GEOLOGIA

A Região Metropolitana do Recife (RMR) está caracterizada geologicamente por rochas do embasamento cristalino, onde estão representadas por litótipos dos complexos Gnáissico Migmatítico, Belém do São Francisco e Vertentes, além da presença de granitóides diversos, aflorantes ou recobertas por sedimentos meso-cenozóicos das bacias sedimentares costeiras Paraíba-Pernambuco e do Cabo (figura 3.2).

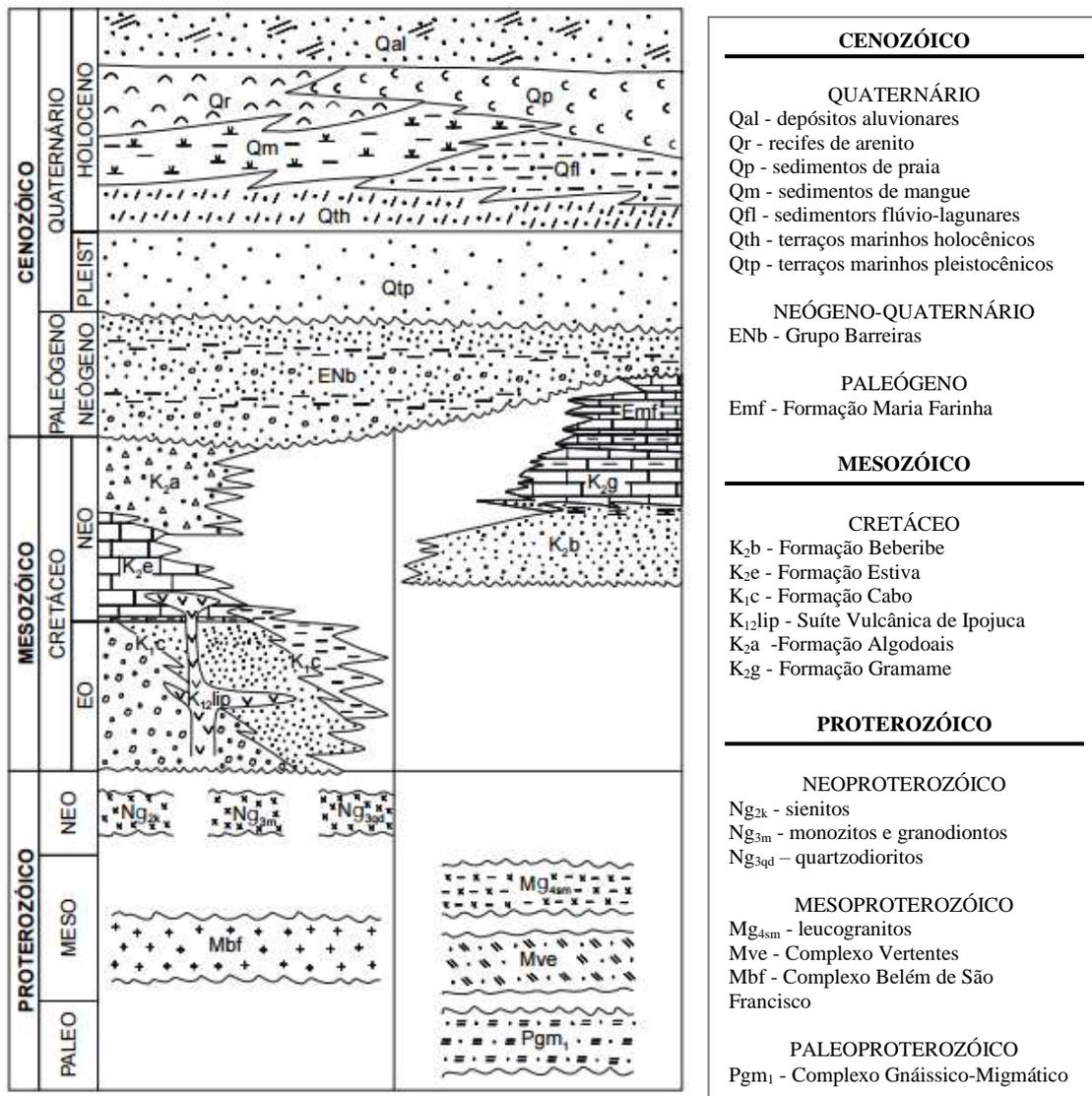


Figura 3.2 – Coluna Geológica Esquemática da Região Metropolitana do Recife. Fonte: CPRM, 2003.

#### 3.1.1. Estratigrafia

##### 3.1.1.1. Embasamento Cristalino

Está representado por dois grandes complexos, onde o mais antigo é o complexo Gnáissico-Migmatítico, datado do paleoproterozóico, situado ao norte das RMR e constituído

por ortognaisses com composição variando de granítica a tonalítica. O segundo, situado ao sul do lineamento é o complexo Belém de São Francisco, datado do mesoproterozóico, constituído por ortognaisses e migmatitos (SANTOS, 1995; CPRM, 2003). Utilizando a definição de Córdoba et al. (2007), trataremos apenas da Bacia Paraíba, pois a mesma tem seu limite meridional ao sul do Porto de Recife, englobando as duas áreas de estudo presentes na região metropolitana: Itamaracá e o Porto do Recife.

### 3.1.1.2. Bacia Paraíba

Esta bacia é classificada de acordo com Mabesoone (1995) como tipo flexural, que congrega um pacote de rochas sedimentares com idades meso-cenozóicas, que ocupa uma faixa com aproximadamente 30 km de largura, sendo limitada ao sul pelo Lineamento Pernambuco (CPRM, 2003)

Apesar do lineamento Pernambuco em comum, Lima Filho et al. (1998) considera que a origem e evolução das bacias Pernambuco-Paraíba e Cabo foram completamente distintas, onde a primeira (Paraíba) é classificada como ramp basin, por está associada ao processo de separação definitiva entre as placas Sul Americana e Africana, sendo o último ponto de ruptura.

Esta representada pelas seguintes formações:

- Formação Beberibe – que compreende uma sequência terrígena basal, de material continental e idade neocretácica, intercalada por depósitos fluviais entrelaçados de alta energia com depósitos de planície aluvial, gradando lateralmente em direção a costa, para um domínio flúvio-lagunar a flúvio-deltáica e de plataforma rasa. (NÓBREGA & ALHEIROS, 1991; CPRM, 2003). Esta unidade é constituída litologicamente por arenitos grosseiros a conglomeráticos, localmente finos, com coloração cinza claro a cinza amarelado, mal selecionados, com fraca diagênese, essencialmente quartzosos, apresentando eventuais intercalações de conglomerados e siltitos argilosos. Na sua porção superior, predomina um arenito creme, maciço, de forte diagênese, granulometria média a grosseira, com cimento calcífero e restos de conchas, constituindo uma zona de interdigitação com a Formação Gramame sobreposta (CPRM, 2003);
- Formação Gramame – neocretácica, essencialmente marinha, constituída por calcários, calcários margosos, margas e argilas, com horizontes fosfáticos que se mistura com

calcarenitos na sua porção basal, tratando-se de uma unidade bastante fossilífera com fauna marinha abundante e variada (gastrópodes, cefalópodes e outros). Seu contato com a formação Beberibe é através de uma superfície de inconformidade, pouco evidenciada por conta dos horizontes fosfáticos terem uma interdigitação com os arenitos calcários (Manso et al., 1992; Amaral & Menor, 1998; CPRM 2003);

- Formação Maria Farinha - Formação Marinha Farinha (Emf), do Paleógeno, compreende uma seqüência de calcários detríticos cinzentos fossilíferos, puros, mais ou menos recristalizados na sua porção basal, intercalados com calcários margosos, argilas e calcários dolomitizados, na sua porção superior (Amaral & Menor, 1998). Os fósseis característicos desta unidade são os gastrópodes (Nautilóides), lamelibrânquios e cefalópodes (macrofauna) e os foraminíferos (microfauna). O conteúdo fossilífero desta formação indica um ambiente de sedimentação litorâneo a marinho raso (Beurlen, 1967).

#### 3.1.1.3. Formação Barreiras

A Formação Barreiras possui idade datada do Paleógeno/Neógeno, de acordo com Veiga Júnior (2000). Geograficamente, esta unidade concentra sua área de afloramento em grande parte da porção norte da RMR e em parte da planície do Recife. Na porção sul há ocorrência de raras exposições desses sedimentos, que voltam a apresentar grandes áreas de afloramento a partir do Estado de Alagoas. O grupo é constituído por sedimentos areno-argilosos, pouco consolidados, de coloração variegada, com níveis lateritizados e caulínicos que segundo Alheiros et al. (1988), caracterizam três domínios faciológicos distintos: um de leques aluviais, outro fluvial entrelaçado e um último flúvio-lagunar, cobrindo discordantemente tanto as rochas do embasamento cristalino, como os sedimentos das bacias costeiras meso-cenozóicas (CPRM, 2003).

#### 3.1.1.4. Cobertura Quaternária

De acordo com os dados da CPRM (2003) encontradas as seguintes formações para esse período:

- Os terraços marinhos pleistocênicos – que ocorrem de maneira marcante na planície do Recife e em porções localizadas da Bacia Pernambuco, constituídos por areias quartzosas de granulometria variando de fina a média, com selecionamento regular, associadas a restos de conchas calcárias. Eles geralmente ocupam cotas que variam de

2 m a 10 m, onde a camada superficial destes terraços, está enriquecida com matéria orgânica;

- Os terraços marinhos holocênicos – se estendem por quase toda faixa costeira da RMR, possuem constituição semelhante a dos pleistocênicos, mas apenas são areias mais bem selecionadas, onde predomina a granulometria fina. Restos de conchas também são frequentes;
- Os sedimentos detríticos flúvio-lagunares – que constituem a unidade quaternária de maior área de ocorrência na RMR. Composta por areias finas, siltes, argilas, vasas diatomáceas e sedimentos turfáceos;
- Sedimentos de mangues – outra unidade bem geograficamente significativa, constituída predominantemente por argilas, siltes, areias finas, carapaças silicosas de diatomáceas, espículas de espongiários, restos orgânicos e conchas (Caldasso, et al., 1981);
- Os depósitos arenosos inconsolidados – são essencialmente quartzosos, bem selecionados, que ocupam faixas estreitas ao longo de toda costa da Região Metropolitana do Recife, constituem a unidade denominada de sedimentos de praia;
- Cordões ou bancos de arenitos – presentes ao longo da costa são constituídos por grãos de quartzo e fragmentos de conchas (beach rocks), que formam a unidade recifes de arenitos. Estas rochas se destacam principalmente ao longo das praias de Boa Viagem e Porto de Galinhas;
- Depósitos aluvionares – encerram os depósitos quaternários. Possuem um caráter arenoso a areno-argiloso, que se distribuem ao longo dos principais rios da RMR, com destaque para os depósitos ao longo dos rios Ipojuca, Jaboatão e Capibaribe.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1. OBJETIVO GERAL

Estudar as distribuições e composições sedimentares das áreas de plataformas continentais internas adjacentes à Ilha de Itamaracá e à desembocadura do Porto do Recife e da plataforma insular do arquipélago de Fernando de Noronha e, mensurar a influência das ações antrópicas nas condições ambientais atuais por meio de estudos sobre a composição geoquímica da matéria orgânica sedimentar.

### 4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a composição sedimentar das áreas adjacentes ao Porto do Recife, Itamaracá e Fernando de Noronha, avaliando quais fatores interferem nessa ação tais como: fisiografia da região, hidrodinâmica (marés e correntes) e sistema hidrográfico;
- Obter uma aproximação de como a matéria orgânica é caracterizada pelas distintas composições elementares (C, N e P), razões e composições isotópicas do carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e nitrogênio ( $\delta^{15}\text{N}$ ) nas distintas áreas;
- Avaliar o processo de dispersão e retenção da matéria orgânica de origem continental nas áreas, associando-o com as prováveis fontes de material e o potencial no sequestro de carbono e reciclagem de N e P das mesmas;
- Caracterizar o comportamento da matéria orgânica sedimentar elementar (C, N, P) e isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ ) por meio das razões C/N e C/P dentro do contexto das mudanças climáticas e ciclagem biogeoquímica do carbono;
- Comparar o processo sedimentar nas áreas de plataforma continental adjacente à Ilha de Itamaracá, ao Porto do Recife e da plataforma insular adjacente à Fernando de Noronha.

## **5. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **5.1. ATIVIDADES DE CAMPO**

As coletas dos sedimentos de fundo foram realizadas entre os anos de 2013 e 2015. As amostras foram coletadas durante os períodos chuvosos e secos – de julho de 2013 até março de 2015. As malhas amostrais das três áreas de estudo compõem um conjunto de 64 amostras.

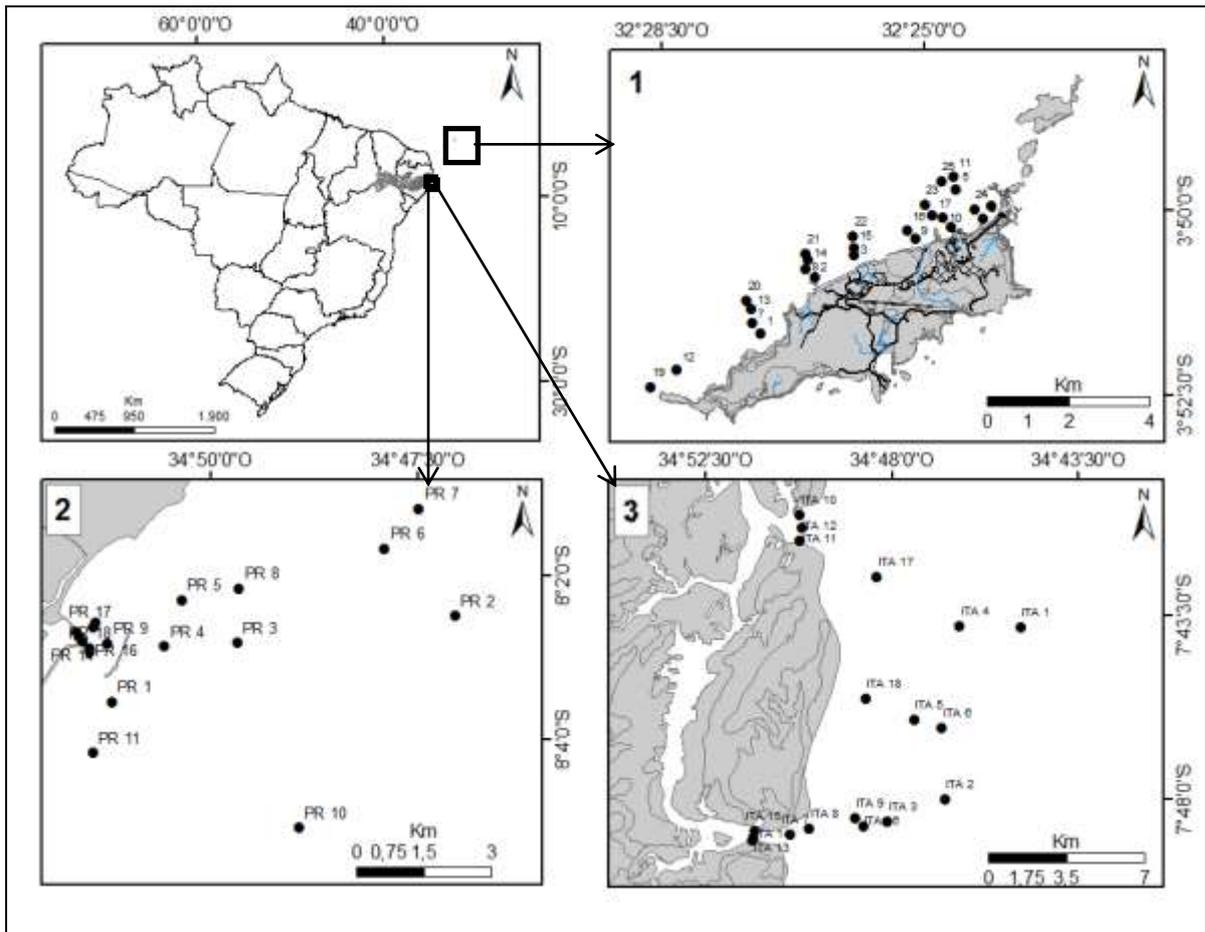
As amostras de Itamaracá foram coletadas entre julho e outubro de 2013; maio e novembro de 2014; e março 2015, compondo uma malha de 18 amostras na plataforma interna. Na área de plataforma adjacente ao Porto do Recife foram coletadas entre julho e outubro de 2013; maio e novembro de 2014, um somatório de 21 amostras para distribuição geral. As amostras da plataforma insular de Fernando de Noronha, foram coletadas durante os períodos de julho e dezembro de 2013; junho e novembro de 2014, englobando os períodos secos e chuvosos, para um estudo sazonal, compondo uma malha com 25 amostras.

As posições dos pontos foram definidas e referenciadas por meio de um GPS e suas profundidades medidas com um ecobatímetro. O tipo de estudo desenvolvido em cada área (distribuição geral e estudo sazonal) foi determinado de acordo com as distribuições dos pontos de coletas, onde a malha amostral visou atender as demandas do projeto “Transporte de Carbono na Região Costeira do Estado de Pernambuco – CARECOS” (FACEPE/FAPESP) do Edital das Mudanças Climáticas (Nº 1.08 0074/11).

#### **5.1.1. Descrição geral da área de coleta**

Os pontos amostrados (Fig. 4.1) se concentram em áreas de plataformas distintas. As adjacentes à Itamaracá e ao Porto do Recife concentram-se na plataforma continental de Pernambuco, e as adjacentes a Fernando de Noronha se concentram numa plataforma insular oceânica.

A plataforma brasileira possui uma configuração que segue quase plana desde a praia até sua borda, onde a declividade passa a ser bruscamente acentuada (BARBOSA, 2010). A costa do Nordeste possui uma plataforma estreita, com uma largura de 15 a 75 km, com uma profundidade máxima de 70m, que é uma das poucas plataformas tropicais estáveis, que apresenta em quase toda a sua totalidade uma cobertura carbonática biogênica, areia e cascalho (BARRETO E COELHO, 2011).



**Figura 5.1** – áreas de estudo: plataforma insular adjacente Fernando de Noronha (1), plataforma continental adjacente ao Porto do Recife (2) e plataforma continental adjacente a Ilha de Itamaracá (3) com pontos de amostragem. Fonte: o autor.

A plataforma continental do Estado de Pernambuco, apresenta em quase toda a sua totalidade, uma largura reduzida, em média de 35 Km, pouca profundidade, um declive suave, uma quebra da plataforma entre -50 e -60 m, águas relativamente quentes, salinidade elevada e uma cobertura sedimentar que é composta por sedimentos terrígenos e carbonáticos biogênicos (MANSO et al., 2003). A referida área encontra-se na faixa de clima Tropical Atlântico, com uma temperatura média de 26°C, precipitação pluviométrica média de 1.720 mm. Predominam os ventos alísios, com velocidades médias variando entre 6,1 e 9,3 nós, oriundos principalmente do leste, no período de outubro a março e do sudeste-sul no período de abril a setembro (CAVALCANTI & KEMPF, 1970).

Referente à área plataforma insular – no caso de Fernando de Noronha – as ilhas tropicais emergem da plataforma com diâmetro de 10 km e limite na isóbata de 100m, formada pelas variações glacio-eustáticas quaternárias. A zona costeira da ilha é constituída por franjas de abrasão marinha, formando falésias ou estreitas praias de seixos e calhaus retrabalhados pela ação de ondas (TEIXEIRA et al., 2003). O clima é tropical e marcado pelo

domínio oceânico, mantendo uma temperatura média em torno dos 25°C e com precipitações próximas dos 1200 mm (BATISTELLA, 1993).

### **5.1.2. Procedimento de coleta dos sedimentos de fundo**

As coletas dos sedimentos de fundo foram realizadas com um amostrador de tipo *Van Veen*. Da amostra total coletada, uma porção (cerca de 20 g) foi separada em saco plástico – com a identificação do ponto de coleta, para a análise das razões elementares de C, N e P orgânicos. As amostras superficiais foram acondicionadas, e mantidas sob refrigeração a bordo, com objetivo de evitar atividade bacteriana posterior à coleta. Cerca de 250 g foram acondicionados em saco plástico, também identificados de acordo com os pontos, para a realização das análises granulométricas, das porcentagens de carbonato cálcio e matéria orgânica sedimentar, além da fração arenosa e morfometria.

## **5.2. ATIVIDADE DE LABORATÓRIO**

### **5.2.1. Triagem prévia das amostras**

Após a coleta da superfície dos sedimentos de fundo as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Oceanografia Geológica (LABOGEO), localizado no Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

As alíquotas de 20g destinadas as análises isotópicas (carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e nitrogênio ( $\delta^{15}\text{N}$ )) e elementares (C,N e P) foram acondicionadas em freezer até o momento da análise.

No caso de amostra destinada as análises granulométricas, das porcentagens de carbonato cálcio e matéria orgânica sedimentar, além da fração arenosa e morfoscopia, foram secas em estufa a 60°C. Depois de secas as amostras foram separadas em três alíquotas: uma com 30g para análise do teor de matéria orgânica total e posterior análise granulométrica; uma com 10g para análise do teor de carbonato de cálcio; e a ultima com 30g para peneiramento úmido para análise da fração arenosa e morfométrica.

### **5.2.2. Análise granulométrica**

A análise granulométrica das amostras foi realizada de acordo com as técnicas de peneiramento e pipetagem descritas em Suguio (1973), no Laboratório de Oceanografia Geológica (LABOGEO), localizado no Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Após a obtenção dos resultados os dados foram tratamento

segundo os parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957) e do diagrama triangular de Shepard (1954). Os resultados obtidos nessa análise servem para conhecer a energia deposicional e hidrodinâmica das áreas de plataforma estudadas. Os parâmetros que mais indicam esse tipo de energia são o diâmetro ( $\Phi$ ) médio, grau de seleção e os percentis da composição sedimentar (cascalho, areia, silte e argila) (SILVA, 2012).

### **5.2.3. Análise da fração Arenosa e Morfometria**

A análise da fração arenosa foi proposta por Shepard & Moore (1954) e modificada por Hubert (1971), Mahiques (1997) e Mahiques et al. (1998). É uma técnica complementar dos parâmetros granulométricos, que permite a caracterização de subambientes costeiros de plataformas continentais onde cada classe granulométrica analisada (0,500 mm ( $1 \phi$ ) e 0,250 mm ( $2 \phi$ )) corresponde a um transporte distinto, sendo tração ou saltação (respectivamente), quanto estão submetidos a ações de correntes diversas (MAHIQUES et al., 1998).

Esta análise foi efetuada através do peneiramento úmido de 30 gramas de amostra onde se utilizam as frações correspondentes ao diâmetro de areia grossa e areia média, ou seja, as malhas de 0,500 mm ( $1 \phi$ ) e de 0,250 mm ( $2 \phi$ ). Foram utilizadas as peneiras de 0,707 ( $0,5 \phi$ ) e 0375 ( $1,5 \phi$ ) para fazer a triagem das frações anteriores. O material retido nas malhas de interesse foi avaliado em lupa binocular, para a caracterização da sua composição, no Laboratório Seco do Departamento de Oceanografia da UFPE. Para cada fração foram separados cerca de 200 grãos para observação da composição dos materiais presentes.

A análise consiste em inferir um índice que poderia fornecer uma medição da influência biogênica marinha em cada amostra analisada (MAHIQUES et al., 1998). Este índice é definido como índice de biogênicos marinhos (BM) (MAHIQUES, 1997), que é definido pela diferença entre a frequência relativa dos componentes biogênicos marinhos e terrígenos de cada amostra. Esse índice varia de (-1,0) a (1,0) onde os valores mais próximos de (-1,0) estão correlacionados a uma maior contribuição de material de origem continental (MAHIQUES et al., 1998).

Junto com a análise de fração arenosa, foram realizadas as análises de morfometria, para avaliar o grau de arredondamento segundo a tabela de Russell e Taylor (1973) e o grau de esfericidade acordo com o método de tabelas de Catacosinos (1965). Tais dados são utilizados como complemento para maior entendimento sobre as características sedimentares e os fenômenos que atuaram sobre o sedimento, como as correntes e os mecanismos de transporte.

A esfericidade é definida como o grau em que a forma de uma partícula se aproxima da forma esférica. A comparação de partículas de formas variadas com uma esfera pode ser efetuada considerando a área da superfície, o volume, as razões entre os eixos ortogonais, etc.

#### **5.2.4. Análise do conteúdo em carbonato cálcio e Matéria Orgânica Total (MOT)**

O conteúdo em carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) foi determinado a partir da diferença, em 10 gramas de amostra em peso seco, aferido em balança analítica, antes e após o ataque com solução de ácido clorídrico, diluído a 10% (CARVER, 1971). O teor de matéria orgânica total (MOT) foi obtido semelhante ao teor de carbonato, mas usando-se 30 gramas de amostra, e oxidando-a com peróxido de hidrogênio a 10% (CARVER, 1971).

#### **5.2.5. 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 ( $\delta^{15}\text{N}$ )**

Após descarbonatação completa das amostras conforme descrito em Hedges & Stern (1984) numa alíquota de 5 gramas de material<sup>3</sup>, as amostras foram homogeneizadas e maceradas. Cerca de 10 mg de cada amostra foram pesadas dentro de uma cápsula de estanho em balança microanalítica, e em seguida fechada para acondicionamento da amostra. As cápsulas foram acondicionadas 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 (EuroVector®, EA 3000), acoplado a um espectrômetro de massa IRMS (Thermo®, Delta V Advantage) dos Laboratórios de Oceanografia Química do DOCEAN-UFPE (LOQUIM) e Grupo de Pesquisa sobre Compostos Orgânicos em Ecossistemas Costeiros e Marinhos (ORGANOMAR), sob supervisão analítica do Prof. Dr. Manuel de Jesus Flores Montes e do Prof. Dr. Gilvan Takeshi Yogui.

No analisador elementar foi utilizado um reator do Tipo CHN, contendo do topo à base: 55 mm de óxido de cromo; 70 mm de cobre reduzido; e 20 mm de óxido de cobalto banhado a prata separados por 10 mm de lã de vidro. No EA, controlado pelo software *Callidus 5.0*, o gás utilizado foi o Hélio, que circulou num fluxo de 93 mL/min. Para realizar a combustão, foi inserido no EA 15mL de gás Oxigênio, A temperatura do reator foi ajustada para 980°C e a coluna cromatográfica permaneceu à 70°C. Os cilindros de  $\text{N}_2$  e  $\text{CO}_2$  utilizados foram calibrados de acordo com o padrão internacional, que determina que o  $\delta^{15}\text{N}$

---

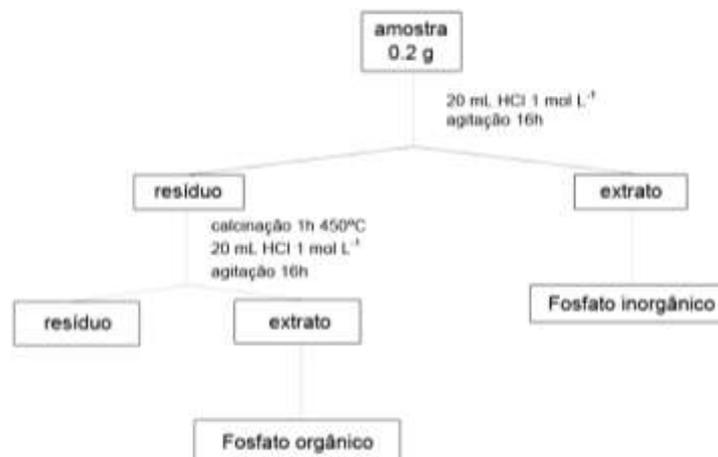
<sup>3</sup> O material foi guardado sob refrigeração constante para manter as suas condições semelhantes ao dia da coleta, sendo utilizado congelado para as análises.

de  $-0,28\%$  e  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-29,82\%$ . Essa calibração foram as referências durante a leitura de cada amostra. O grau de pureza para os gases He, N<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> foi de 5.0, e O<sub>2</sub> foi 6.0 (99,999% em ambas purezas). O *Isodat* (2.5) foi utilizado para calcular o percentual de C e N e as razões isotópicas dos mesmos em cada amostra. O controle de qualidade realizado foi através do uso de padrões de material de referência certificado (sedimento, IVA 3802151), que foi adquirido junto ao IVA Analysentechnik da Alemanha. Este padrão de sedimento possui as seguintes especificações: 0,62% de N,  $\delta^{15}\text{N}$  de 4,5‰, 9,15% de C e  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-26\%$ . As amostras do controle foram analisadas dentro de cada lote analítico (intercalado com as amostras) para monitorar a precisão e exatidão das análises químicas (COSTA e YOGUI, 2013).

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 carreados 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.

### 5.2.6. Análise dos conteúdos de fósforo

Os teores de fósforo total, inorgânico e orgânico foram determinados pelo método de Williams et al. (1976). As concentrações foram medidas pelo método colorimétrico de Grasshoff et al. (1983) modificado por Burrus et.al. (1990) e descrito por Pardo et al. (2004). Esse processo é utilizado pelo SMT – Standarts, Measurements and Testing programme – da comissão europeia, onde as frações analisadas encontram-se esquematizadas na figura 4.2.



**Figura 5.2** – Esquema da metodologia de extração de fósforo orgânico e inorgânico, proposta “Standarts, Measurements and Testing programme” descrito por Pardo et al., (2004). Fonte: Gaspar (2009).

Os métodos com extração sequencial do fósforo são definidos de acordo com Ruttenberg (1992) pela reatividade da fração que se deseja extrair, a espécie alvo e a solução extratora. As frações extraídas usando o método SMT foram:

- Fósforo Inorgânico (não apatítico): está ligado aos óxidos e hidróxidos de ferro, alumínio e manganês. Essa fração consiste na reativa e biodisponível no meio;
- Fósforo Orgânico: é proveniente de moléculas orgânicas (como os fosfolipídeos, fosfoproteínas, ATP, DNA, RNA), aos ácidos húmicos e compostos orgânicos oriundos das interações com o meio (como excreção e morte de animais, descarga de esgotos).
- Fósforo Total: composto pela soma de ambas as frações anteriores

As análise de fósforo orgânico, serviram para realizar o cálculo da razão C/P.

### 5.3. TRATAMENTO DE DADOS

O tratamento e a interpretação dos dados obtidos objetivam a compreensão da distribuição e comportamento dos diversos parâmetros analisados e da inter-relação entre as variáveis e amostras, comparando-se a distribuição espacial dos parâmetros avaliados, procurando-se estabelecer as condicionantes do processo de deposição e dispersão da matéria orgânica sedimentar nas áreas a serem estudadas.

#### 5.3.1. Sysgran (3.1)

Depois das análises granulométricas, os dados obtidos foram tratados de acordo com os parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957) e do diagrama triangular de Shepard (1954) através do programa *Sysgran (3.1)* (Camargo, 2006), obtendo-se assim as informações sobre: diâmetro médio, curtose, grau de seleção, assimetria, junto com os percentis das frações granulométricas (cascalho, areia, silte e argila) e o diagrama triangular de facies sedimentares de Shepard (1954).

#### 5.3.2. Razão C/N e C/P

As razões C/P, utilizadas como indicativas de origem de material (RUTTENBERG & GOÑI, 1997), foram calculadas convertendo-se os valores de fósforo de  $\mu\text{Mol/g}$ , em peso seco, para %. Para esse cálculo foi utilizado % de carbono orgânico total e o fósforo orgânico, de acordo com a relação de Redfield et al. (1963) onde o percentual de carbono orgânico total é dividido pelo percentual de fósforo orgânico total (POT).

### 5.3.3. Análise estatística

#### 5.3.3.1. Correlação de Spearman (*rs*)

Para uma melhor avaliação dos dados obtidos foi utilizado o coeficiente de correlação não paramétrico de Spearman (*rs*) (FERNANDES, 1999), através do programa *Excel 2013*, para comparar a variabilidade espacial e a determinação das relações de independência entre variáveis aleatórias.

O coeficiente de Spearman (*rs*) varia entre (-1) e (1). Onde quanto mais próximos os valores estiverem desses extremos, maior será a associação entre as variáveis, sendo que, o sinal negativo da correlação significa que as variáveis variam em sentido inverso, isto é, quanto maior for os valores de uma categoria, menor será os valores da categoria oposta (FERNANDES, 1999).

#### 5.3.3.2. Análise de Componentes Principais (PCA)

A análise de componentes principais (PCA – *Principal Component Analysis*) foi utilizada para de modo a determinar quais os parâmetros sedimentológicos e geoquímicos demonstravam melhor a variabilidade sedimentar nas áreas de estudo, caracterizando tais variáveis como componentes importantes (Legendre & Legendre, 1983 *apud* Mahiques 1987). Devido às diferenças de grandezas dos parâmetros analisados no presente estudo, a matriz com os dados foi padronizada, seguindo de uma transformação logarítmica [ $\log_{10}(x+1)$ ] de modo a aproximar as séries de dados da distribuição normal (REGAZZI, 2000).

Para os sedimentos das áreas estudadas, foram utilizados os parâmetros: teor de  $\text{CaCO}_3$  (%), teor de MOT (%), % cascalho, % areia, % finos (correspondente ao % de silte + % de argila), C orgânico, P orgânico, Razão C/P e  $\delta^{13}\text{C}$ . A PCA foi realizada com o uso do *software Primer 6* com os mesmos parâmetros utilizados para a análise de agrupamento.

#### 5.3.3.3. Análise de agrupamento (Cluster) e faciológica através de técnica multivariada

Para que fosse realizado o tratamento dos dados em conjunto e, por conseguinte a análise de agrupamento (*Cluster*) e faciológica multivariada com os parâmetros: teor de  $\text{CaCO}_3$  (%), teor de MOT (%), % cascalho, % areia, % finos (correspondente ao % de silte + % de argila), C orgânico, P orgânico, Razão C/P e  $\delta^{13}\text{C}$ , os parâmetros analisados sofreram transformações [ $\log^{10}(x+1)$ ] para a normalização dos dados (REGAZZI, 2000). A “Distância Euclidiana” foi o índice de distância adotado devido aos dados serem abióticos, e o método de análise de agrupamento foram a “Média Não Ponderada”.

A análise de agrupamento (*Cluster*) é uma análise de caráter aglomerativo, que forma um conjunto linear de grupos, onde as características semelhantes vão sendo acrescidas e agrupando o material estudado de modo que cada amostra componha um grupo com outras semelhantes dentre si.

Essas variáveis ao serem agrupadas, mostram o grau de semelhança entre elas, sendo reunidas ou separadas, permitindo assim que sejam compostas as facies sedimentares. Esses dados agrupados são representados por um diagrama do tipo hierárquico (dendogramas) (ROMESBURG, 1984).

A partir do dendograma gerado pela análise, foram definidos grupos, utilizando arbitrariamente o valor de corte em torno de 4,0 (variando de acordo com os dados obtidos) de distância, desse modo se obtendo as facies sedimentares de cada ambiente, permitindo a elaboração de mapas para uma melhor interpretação dos mesmos.

#### 5.4. ELABORAÇÃO DOS MAPAS TEMÁTICOS

Com os dados obtidos através do tratamento estatístico das análises granulométricas e das demais análises realizadas, foram realizados mapas de distribuição dos parâmetros nas áreas de estudo, através do software *ArcMap10.3*. Estes mapas servem como subsídios para uma melhor visualização da distribuição da análise espacial dos parâmetros, de uma maneira pontual e quantitativa. O sistema de interpolação utilizado foi o Inverso da Distância ao Quadrado (IDW – *Inverse Distance Weighting*) é uma ferramenta de análise espacial, que assume que cada amostra de um ponto possui uma influencia que diminui de acordo com a distância, onde quanto mais próximos mais interação (WEI & MCGUINNESS, 1973).

As tabelas foram elaboradas por meio do programa Excel for Windows 16.

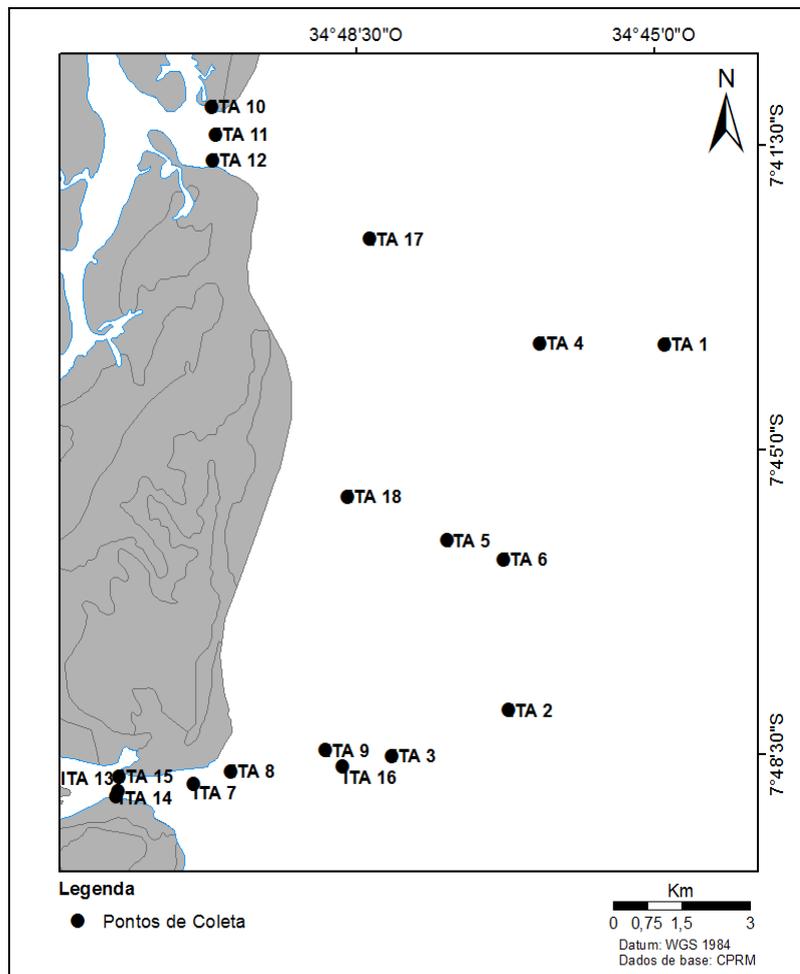
## 6. ITAMARACÁ

O presente capítulo corresponde à área de plataforma continental adjacente a ilha costeira de Itamaracá, englobando a descrição das condições climáticas e oceanográficas da região, os resultados e a discussão dos parâmetros avaliados nas 18 amostras coletadas, e as conclusões obtidas para a presente área de estudo.

### 6.1. ÁREA DE ESTUDO

O município da Ilha de Itamaracá está localizado no litoral norte do estado de Pernambuco, a cerca de 50 km da capital, Recife. O município possui uma área de 65,1 km<sup>2</sup>, com uma população total de 22.449 pessoas, sendo de 17.521 estão na área urbana e 4.928 estão nas áreas rurais (IBGE, 2010). A população apresentou um crescimento de 6.591 novos habitantes no intervalo de tempo entre 2000 e 2010.

Os pontos de coleta estão inseridos entre as latitudes 7°41'30"S a 7°48'59"S, e longitudes 34°44'53" W a 34°51'20"W, como está ilustrado na figura 6.1.



**Figura 6.1** – Pontos de coleta na plataforma continental adjacente à Ilha de Itamaracá.

## 6.2. CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS DA ÁREA

### 6.2.1. Clima

De acordo com Flores-Montes et al. (1998) a área está classificada como clima tropical do tipo Am' com transição para As' na classificação de Köppen. A temperatura média mensal oscila entre 25 e 27°C (FLORES-MONTES et al., 1998), com precipitação média de 1610mm e período chuvoso bem definido, entre abril e agosto (OLIVEIRA FILHO, 2015).

### 6.2.2. Vegetação

De acordo com dados da SUDENE (1978) a vegetação originalmente presente na costa de Itamaracá é a de Mata Atlântica, em virtude das condições fisiográficas do local, mas aos poucos foi substituída ela monocultura canavieira, restando apenas uns fragmentos da vegetação. Almeida (2011) afirma que atualmente a vegetação presente apresenta a substituição por uma mata secundária, em virtude dos impactos antrópicos causados.

Outra vegetação dominante no local são os mangues, localizados na área estuarina do canal de Santa Cruz, onde os gêneros presentes são: *Avicennia* (mangue canoé), *Conocarpus* (mangue de botão), *Laguncularia* (mangue manso) e *Rhizophora* (mangue vermelho) (SILVA, 2004).

Na parte marinha, as microalgas dominantes são as diatomáceas, já na parte das macroalgas há a presença de algas moles dos gêneros *Chlorophyceae* e *Pheophyceae* na parte interna ao arenito, na parte externa há algas calcárias do gênero *Lithothamnium*. Esse posicionamento das algas está em virtude da dinâmica, pois na parte entre o arenito e a costa há sedimentos mais finos e na área posterior há um efeito maior das ondas, removendo sedimentos e facilitando a incrustação no arenito (ALMEIDA, 2011; SILVA, 2004; SILVA, 2012; VARELA, 2011).

### 6.2.3. Hidrografia

A principal feição hidrográfica da área em estudo é o canal de Santa Cruz, que possui aproximadamente 22km de extensão com 1,5km de largura que circunda o município o separando-o do continente, e permite a entrada de águas oceânicas em suas duas entradas além do aporte dos afluentes que ali desaguam (CPRH, 2001; ALMEIDA et al. 2011; SANTOS, 2012).

Neste canal desembocam os rios e riachos: Aracata, Bonança, Botafogo, Carrapicho, Catuama, Cumbre, Igarassu, Itapessoca, Itapirema, Palmeira, Riacho jardim, Tabatinga e Utinga, sendo que na porção norte e sul os respectivos afluentes mais importantes são o Botafogo e Igarassu respectivamente, que sofrem uma grande influência antrópica, carreando consigo até o canal todo esse aporte (GASPAR 2009; SILVA, 2012)

A segunda feição hidrográfica relevante na região é a bacia do rio Jaguaribe, que está situada no município da Ilha de Itamaracá, correspondendo a 24,9% da área do município e 1,2% da superfície do litoral norte pernambucano (CPRH, 2001). O rio Jaguaribe nasce na Reserva Ecológica da mata do Amparo – porção centro-sul do município – e possui uma extensão de 10km, onde sua bacia ocidental engloba as regiões pertencentes ao presídio e as diversas reservas ecológicas e a parte oriental já encontra-se com as áreas urbanizadas (ALMEDA, 2011).

#### **6.2.4. Características oceanográficas**

De acordo com Ratisbona (1976), os ventos em Itamaracá apresentam 3 direções ao decorrer do ano: no inverno a direção predominante é SE, com velocidade média de 3,2 m/s e máxima de 4,0 m/s; já no verão, a direção predominante passa a ser NE, com velocidade média de 2,6 m/s, mas em dezembro, mês com as maiores temperaturas, a direção do vento passa a ser predominantemente E, atingindo uma média de 2,0 m/s de velocidade.

De acordo com a classificação de Hayes (1979), as marés atuantes na costa pernambucana e, por conseguinte, a costa de Itamaracá são do tipo meso-maré (2 à 4m), que são dominadas por ondas, e sob a ação constante dos ventos alísios, exercendo grande influência nos ambientes praias e estuarino (LIRA, 1997).

Em relação ao regime de ondas os dados sobre a costa pernambucana vêm das medições feitas em Suape entre 1980 e 1984 pelo Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias, onde o resultado é que as ondas dominantes são do tipo *sea*, que é formada pelos ventos atuantes na costa, mas há a ocorrência de *swell*, que é uma onda formada mais longe da costa e que de acordo com Varela (2010) vem aumentando sua incidência ao longo dos anos (BARROS, 2003). Suhayda et al.(1997) realizou estudos para o regime de ondas na região de Itamaracá mostra que para a zona de arrebentação, há uma altura média da onda de 0,4 m, com período médio de 7,5 s e uma força da onda de  $1,30 \times 10^{10}$  ergs/s (BARROS, 2003). Varela (2010) afirma que em virtude das formações do assoalho marinho presentes na

região, as ondas sofrem refração e difração devido à diminuição de profundidade e presença dos arenitos de praia (Fig. 6.2).

Varela (2010) afirma que a temperatura e a salinidade das águas da plataforma adjacente a referente área de estudo apresentam, de modo geral, um ciclo sazonal bem definido. Durante o período do verão a temperatura da água é mais elevada, com picos chegando aos 30,8°C, já no inverno chega a atingir o valor mínimo de 25,7°C, onde em ambas as situações sazonais os valores mais baixos são nas áreas próximas à costa, em virtude da influência das águas continentais (MANSO et al.,1992). Assim como a temperatura a salinidade possui um ciclo sazonal, onde durante o período seco o valor máximo encontrado foi de 37,16‰ e no período chuvoso o mínimo foi de 28,88‰, com flutuações de valores próximas à costa (MANSO et al.,1992).



**Figura 6.2** – Recorte georreferenciado da carta náutica 930, abrangendo a plataforma interna adjacente à costa de Itamaracá, contendo a variação de profundidade e arenitos de praia.

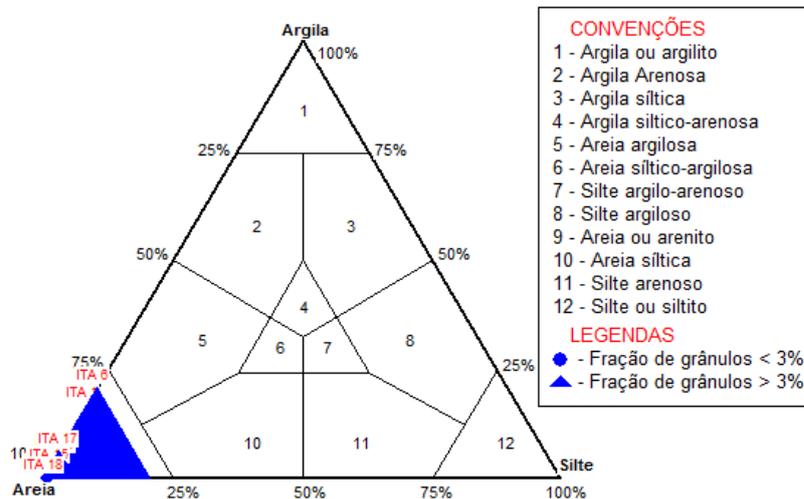
### 6.3. RESULTADOS

#### 6.3.1. Análises granulométricas

Na Tabela 6.1 estão às identificações dos 18 pontos de coleta, as coordenadas geográficas, profundidade e os resultados obtidos através das análises sedimentológicas (frações granulométricas, parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957) e o diagrama de facies texturais de Shepard (1954)).

##### 6.3.1.1. Classificação de fácies texturais de Shepard (1954)

De acordo com o diagrama de facies texturais de Shepard (1954) (Fig. 6.3) todas as amostras são classificadas como areias.



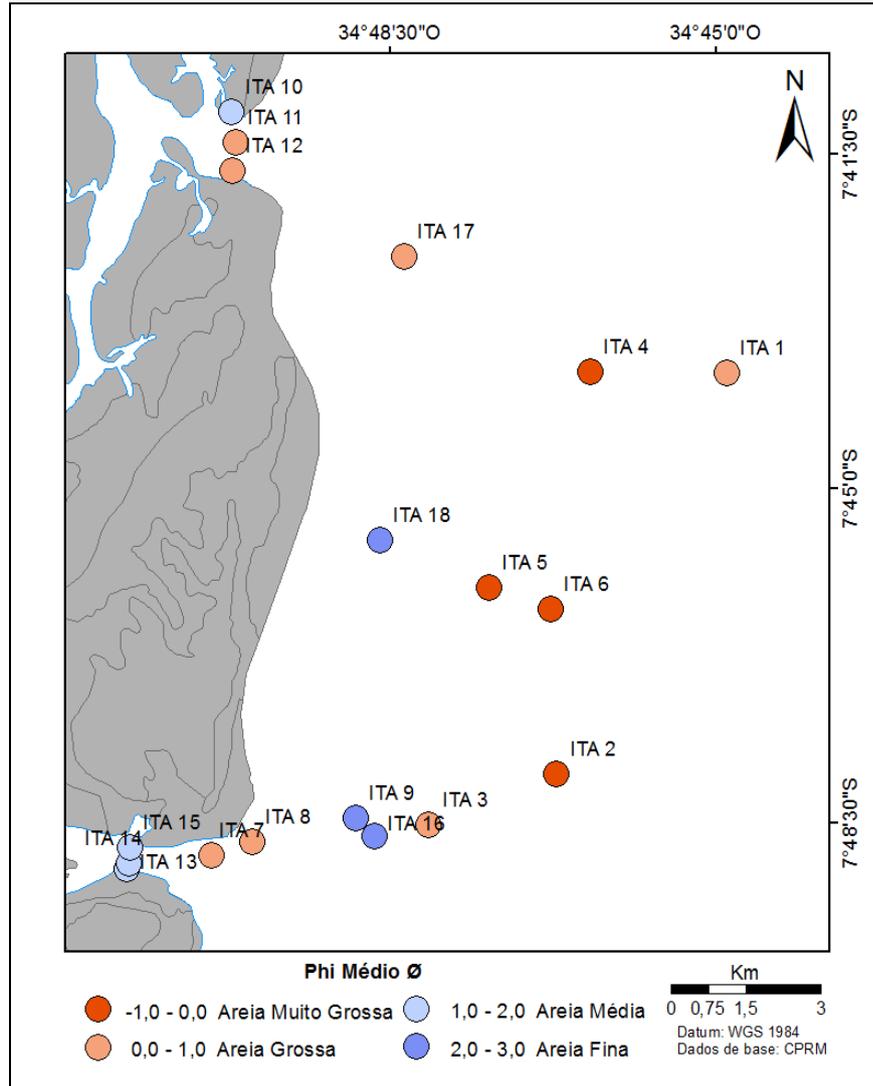
**Figura 6.3** - Diagrama triangular de Shepard (1954) das amostras da plataforma continental adjacentes a Ilha de Itamaracá.

##### 6.3.1.2. Diâmetro médio (Folk & Ward, 1957)

Pela classificação de diâmetro médio (Fig. 6.4) tem-se uma variação nas faixas de areia, com gradiente desde areia fina até areia muito grossa, com predomínio de areia grossa. A distribuição apresentou uma predominância de areia grossa com 38,9% das amostras, seguida das frações de areia muito grossa e areia média com 22,2% cada e com 16,7% de areia fina. Os teores de areia fina localizaram-se mais na porção sul, próximo à desembocadura sul do Canal de Santa Cruz. Já os teores de areia muito grossa foram encontrados na porção longitudinalmente mais afastada da costa. Em ambas as desembocaduras do Canal de Santa Cruz (adjacente ao forte Orange e a Barra de Catuama) há areia média. Nas áreas mais próximas à linha de costa ao norte são encontrados grãos de areia grossa.

**Tabela 6.1** - Identificação (ID) da amostra, latitude, longitude, profundidade (m) e dados sedimentológicos (parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957), composição sedimentar e os dados texturais de Shepard (1954))

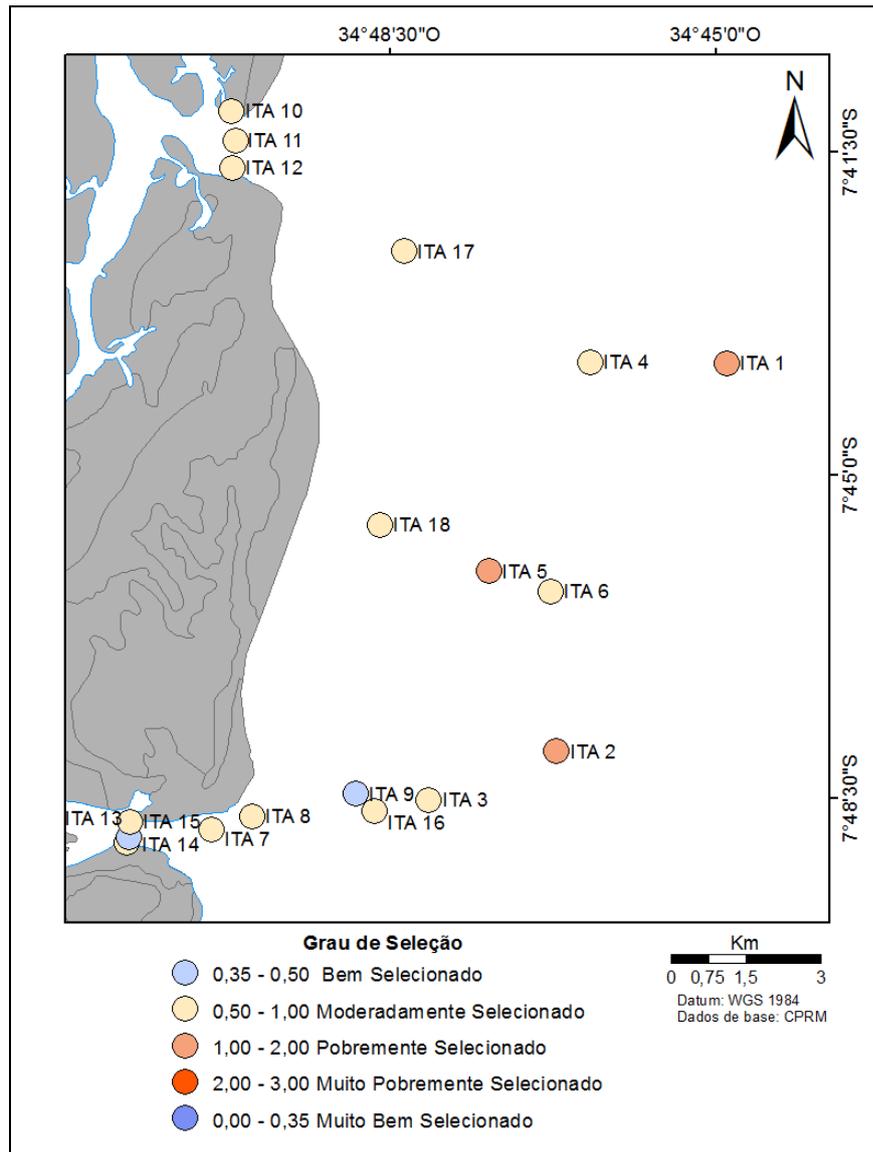
ID amostra	Latitude	Longitude	Prof. (m)	Folk & Ward (1957)		% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila	Shepard (1954)
				Phi Médio Ø	G. Seleção					
ITA 1	-7,7298	-34,74800	21,0	0,08	1,13	16,80	83,20	0,00	0,00	Areia
ITA 2	-7,8000	-34,77850	16,6	-0,15	1,11	42,79	57,14	0,07	0,00	Areia
ITA 3	-7,8088	-34,80137	16,5	0,82	0,52	0,44	99,56	0,00	0,00	Areia
ITA 4	-7,72965	-34,77248	15,0	-0,82	0,57	47,56	52,41	0,03	0,00	Areia
ITA 5	-7,76742	-34,79070	9,0	-0,68	1,03	65,59	33,09	1,32	0,00	Areia
ITA 6	-7,77105	-34,77953	15,5	-0,23	0,86	20,54	79,46	0,00	0,00	Areia
ITA 7	-7,81408	-34,84042	5,6	0,71	0,68	4,16	95,84	0,00	0,00	Areia
ITA 8	-7,81172	-34,83299	4,9	0,65	0,66	2,43	97,54	0,03	0,00	Areia
ITA 9	-7,80768	-34,81447	1,9	2,98	0,46	0,14	98,94	0,92	0,00	Areia
ITA 10	-7,68431	-34,83672	4,7	1,76	0,94	0,17	99,83	0,00	0,00	Areia
ITA 11	-7,68966	-34,83600	7,0	0,39	0,79	4,66	95,27	0,07	0,00	Areia
ITA 12	-7,69450	-34,83655	1,8	0,74	0,73	0,98	98,95	0,07	0,00	Areia
ITA 13	-7,81646	-34,85560	6,0	1,98	1,00	0,44	99,29	0,27	0,00	Areia
ITA 14	-7,81550	-34,85513	5,0	1,86	0,44	0,07	99,76	0,17	0,00	Areia
ITA 15	-7,81274	-34,85497	5,0	1,18	0,87	2,14	97,69	0,17	0,00	Areia
ITA 16	-7,81079	-34,81117	2,5	2,43	0,74	0,00	99,63	0,37	0,00	Areia
ITA 17	-7,70966	-34,80586	2,4	0,53	0,83	5,97	93,93	0,10	0,00	Areia
ITA 18	-7,75904	-34,81020	2,5	2,10	0,59	0,00	100,00	0,00	0,00	Areia



**Figura 6.4** – Distribuição do diâmetro médio de acordo com a classificação de Folk & Ward (1957) para as amostras coletadas na plataforma interna adjacente à Ilha de Itamaracá.

### 6.3.1.3. Grau de seleção (Folk & Ward, 1957)

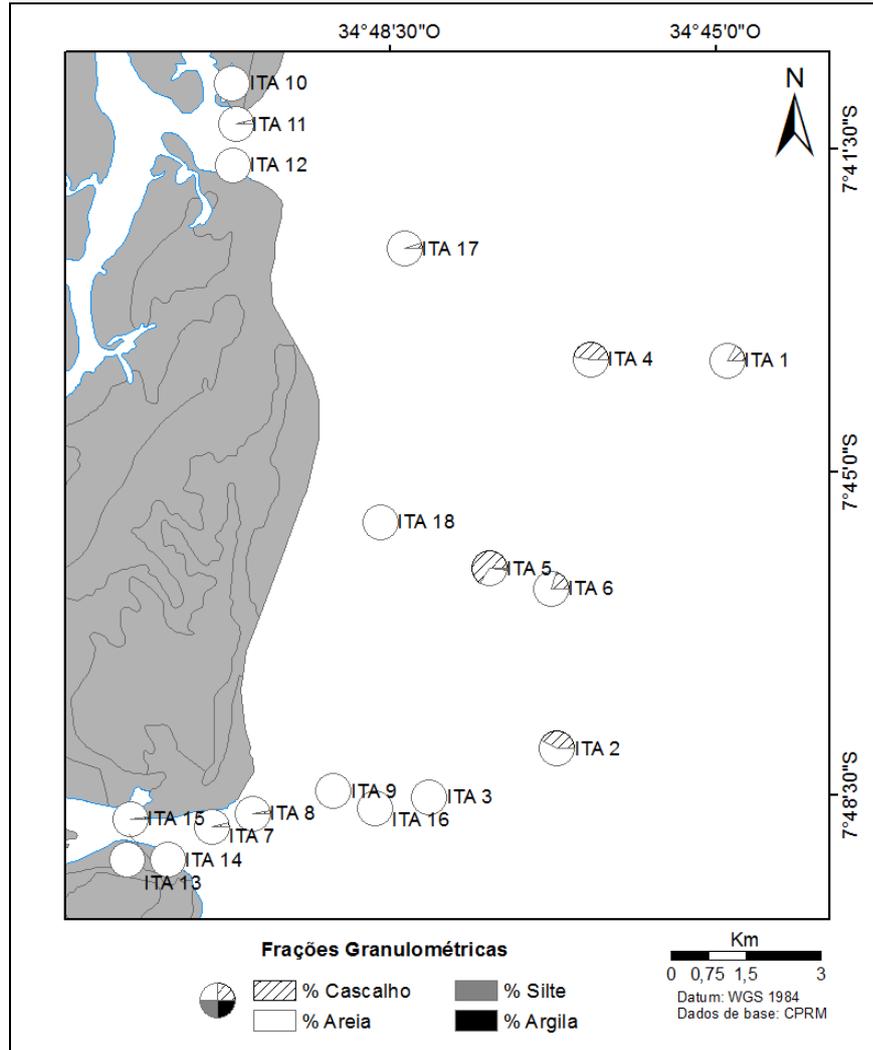
O grau de seleção das amostras (Fig. 6.5) variou de bem selecionado até pobremente selecionado. As estações ITA 9 e ITA 14 foram classificadas como bem selecionadas, correspondendo a 11,1% das amostras. Três amostras (ITA 1, 2 e 5) foram classificadas como pobremente selecionadas, correspondendo a um montante de 16,7% de todo o material. As demais amostras (77,8%) foram classificadas como moderadamente selecionadas.



**Figura 6.5** – Distribuição do grau de seleção de acordo com a classificação de Folk & Ward (1957) para as amostras de sedimentos coletadas ao longo da plataforma interna adjacente à Ilha de Itamaracá.

#### 6.3.1.4. Frações granulométricas

Em 94,5% das amostras predominou a fração areia sobre as demais frações, onde as diferenças foram a estação ITA 5, que teve predomínio de 65,59% de cascalho e a estação ITA18 que teve 100% de areia. De toda a malha amostral, apenas 27,8% das amostras estão com o percentil de areia abaixo dos 90%. A presença das frações de silte ocorreu em 66,0% amostras, onde apenas 5,5% apresentaram mais de 1,0% de silte em sua composição. Nenhuma amostra apresentou argila em sua composição, sendo assim, a fração silte correspondeu à fração mais fina encontrada. As amostras que apresentaram teores de cascalho estão paralelas à linha de costa e situadas na região posterior – no sentido continente-oceano – aos arenitos de praia presentes. A composição das frações granulométricas nos pontos de coleta pode ser observada na figura 6.6.



**Figura 6.6** – Composição das frações granulométricas nas amostras de sedimentos coletadas ao longo da plataforma interna adjacente à Ilha de Itamaracá.

### 6.3.2. Análise da fração arenosa e morfoscopia

As amostras selecionadas para realizar a morfoscopia e análise da fração arenosa, assim como seus resultados estão descritos na tabela 6.2. Para as análises da fração arenosa foram separados 100 grãos da composição total da amostra, e posteriormente foram separados 100 grãos siliciclásticos para a avaliação geral do grau de esfericidade e arredondamento.

**Tabela 6.2** – Identificação (ID) da amostra, coordenadas, índice de Biogênicos Marinhos (BM), esfericidade e arredondamento.

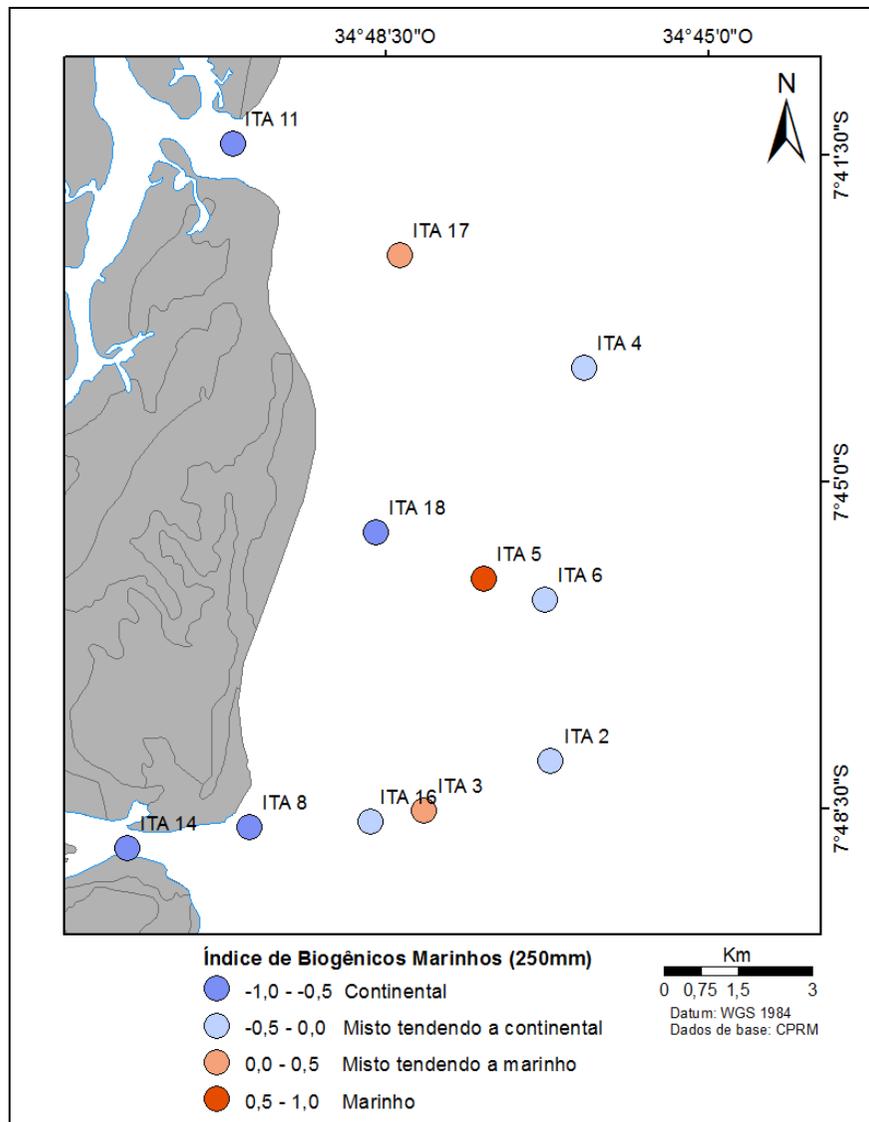
ID amostra	Latitude	Longitude	Índice de BM		Morfoscopia	
			Fração 0,250	Fração 0,500	Esfericidade	Arredondamento
ITA 2	-7,80000	-34,77850	-0,38	-0,25	Baixa	Sub-anguloso
ITA 3	-7,80880	-34,80137	0,18	-0,08	Baixa	Anguloso
ITA 4	-7,72965	-34,77248	-0,06	-0,38	Baixa	Sub-anguloso
ITA 5	-7,76742	-34,79070	0,65	-0,18	Baixa	Sub-anguloso
ITA 6	-7,77105	-34,77953	-0,44	0,11	Baixa	Sub-anguloso
ITA 8	-7,81172	-34,83299	-0,96	-0,92	Média	Sub-anguloso
ITA 11	-7,68966	-34,83600	-0,96	-0,92	Baixa	Sub-anguloso
ITA 14	-7,81550	-34,85513	-0,94	-0,82	Baixa	Anguloso
ITA 16	-7,81079	-34,81117	-0,05	-0,17	Baixa	Anguloso
ITA 17	-7,70966	-34,80586	0,29	0,08	Baixa	Anguloso
ITA 18	-7,75904	-34,81020	-0,94	-0,92	Baixa	Anguloso

De modo geral, as amostras apresentaram uma esfericidade baixa, e grãos com angulosos ou sub-angulosos. As distribuições dos índices de biogênicos marinhos, de acordo com a malha amostral selecionada, estão dispostas nas figuras 6.7 e 6.8 e discriminadas no APÊNDICE B.

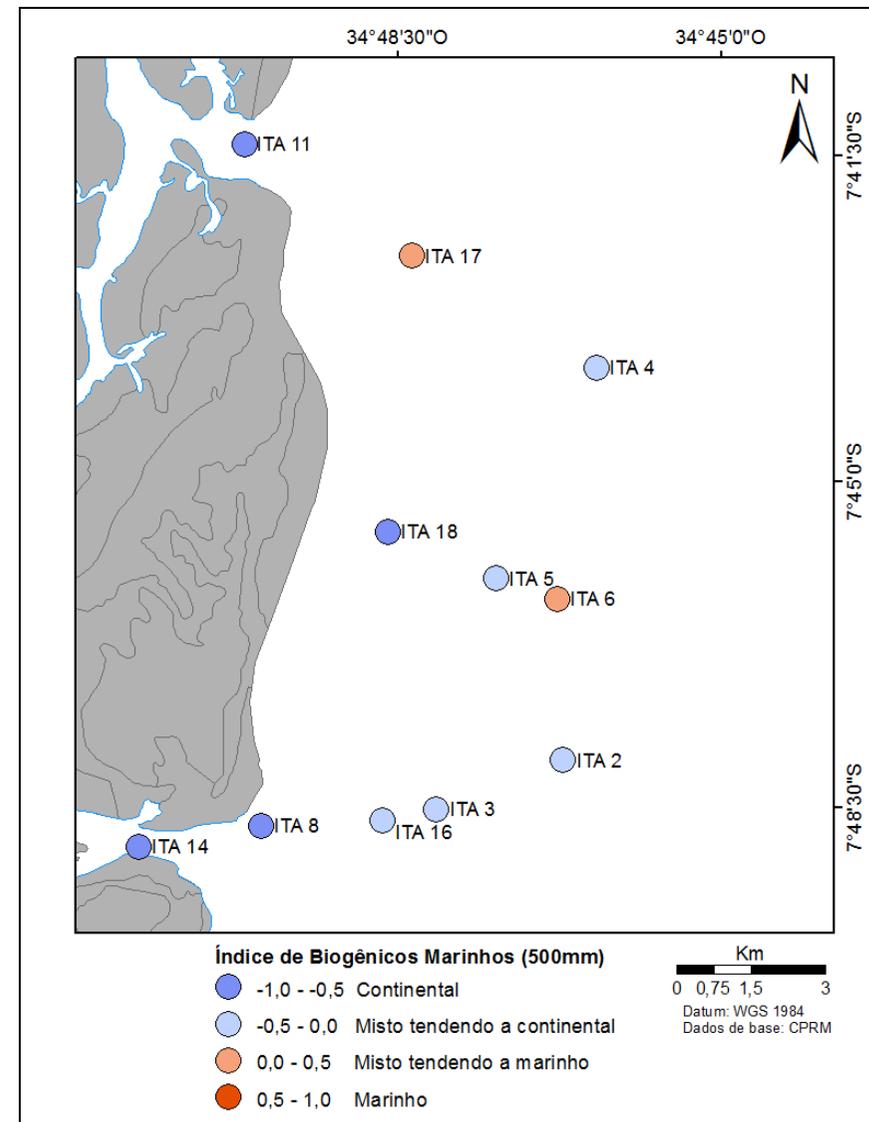
Na fração de 0,250 mm, das 11 amostras analisadas, apenas 27,3% possuem um índice biogênico maior que zero, ou seja, nessa fração dessas amostras foi observada uma maior incidência de microrganismos (foraminíferos, tubos de verme), assim como os fragmentos de algas calcárias, coral e carapaças de bivalves.

Já a fração de 0,500 mm o teor de amostras com índice biogênico maior que zero caiu para 18,2%. Desta forma apenas a estação ITA 17 possui em ambas as frações um índice de biogênicos maior que zero.

Os resultados das frações analisadas (0,500 mm (1  $\phi$ ) e 0,250 mm (2  $\phi$ )) foram interpretados de maneira diferenciada, pois de acordo com Pilkey et al. (1967, apud MAHIQUES et al., 1998), fragmentos bioclásticos são mais comumente encontrados nas frações 0,500 mm (1  $\phi$ ) do que nas frações 0,250 mm (2  $\phi$ ), resultado oposto ao encontrado no presente trabalho, onde a fração de 0,250 mm possui um quantitativo de biogênicos maior (9,09% amostras amais em relação a fração de 0,500 mm). Resultado semelhante foi encontrado por Santos (2016) no estuário do Rio Formoso. Esse comportamento se explica pela grande presença de foraminíferos nestas frações mais finas.



**Figura 6.7** – Distribuição do Índice de Biogênicos Marinhos de acordo com a classificação de Mahiques et al. (1998) na fração de 0,250mm nas amostras de sedimentos coletadas ao longo da plataforma interna adjacente à Ilha de Itamaracá.



**Figura 6.8** – Distribuição do Índice de Biogênicos Marinhos de acordo com a classificação de Mahiques et al. (1998) na fração de 0,500mm nas amostras de sedimentos coletadas ao longo da plataforma interna adjacente à Ilha de Itamaracá.

### 6.3.3. Análises Geoquímicas

Os dados das análises geoquímicas de carbonato de cálcio, matéria orgânica total, composições elementares de C, N e P, razões isotópicas  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ , e as razões elementares C/N e C/P das 18 amostras coletadas na plataforma adjacente a Ilha de Itamaracá, estão dispostos na tabela 6.3.

#### 6.3.3.1. Análise do carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e matéria orgânica total (MOT)

Os teores de carbonato de cálcio apresentaram uma ampla variação, com valores entre 2,8% e 98,5%. A distribuição desses dados está representada na figura 6.9. Utilizando esses teores de carbonato e a classificação de Larssoneur et al. (1982), tem-se que 50% das amostras coletadas são siliciclásticas (teor de carbonato < 30%), 11,1% das amostras são biolitolásticas (teor de carbonato entre 50-70%) e 38,9% das amostras foram classificadas como bioclástica (teor de carbonato > 70%). Os valores mais baixos de carbonato estão concentrados nas desembocaduras e nas áreas mais costeiras. Concentram-se longitudinalmente mais afastado da costa, após os arenitos de praia, com um comportamento semelhante às frações de cascalho, visto que, há grande presença de algas calcárias nas amostras coletadas nestas estações.

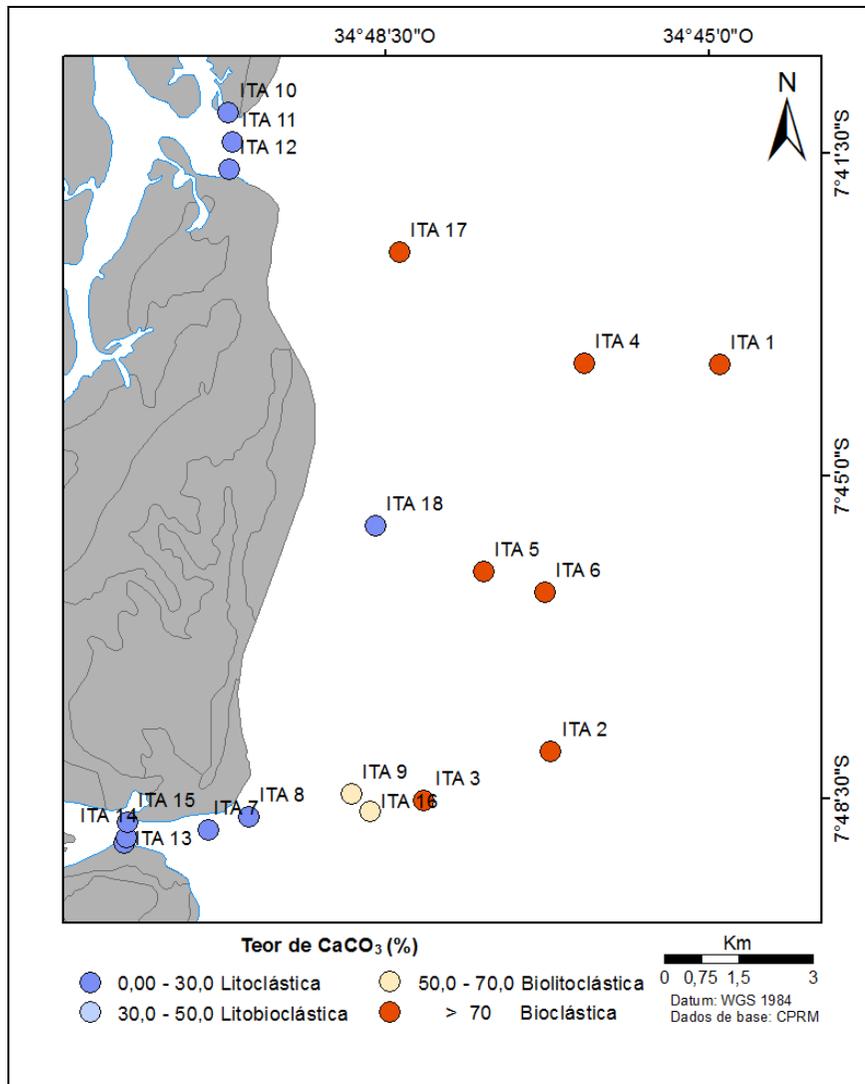
Os teores de matéria orgânica total (MOT) não variaram numa escala tão grande quanto os teores do carbonato. O valor mais baixo 1,3% e o mais alto foi 3,5%. Das 18 amostras analisadas 66,7% possuem um valor de MOT menor que 2,0%, e apenas 18,2% de todas as amostras de um teor de MOT  $\geq 2,0\%$ . A distribuição dos teores de MOT (Fig. 6.10) apresentaram uma disposição dos valores mais elevados nas amostras longitudinalmente afastadas na costa e mais ao sul da malha amostral.

#### 6.3.3.2. Carbono orgânico total (COT) e Nitrogênio Total (NT)

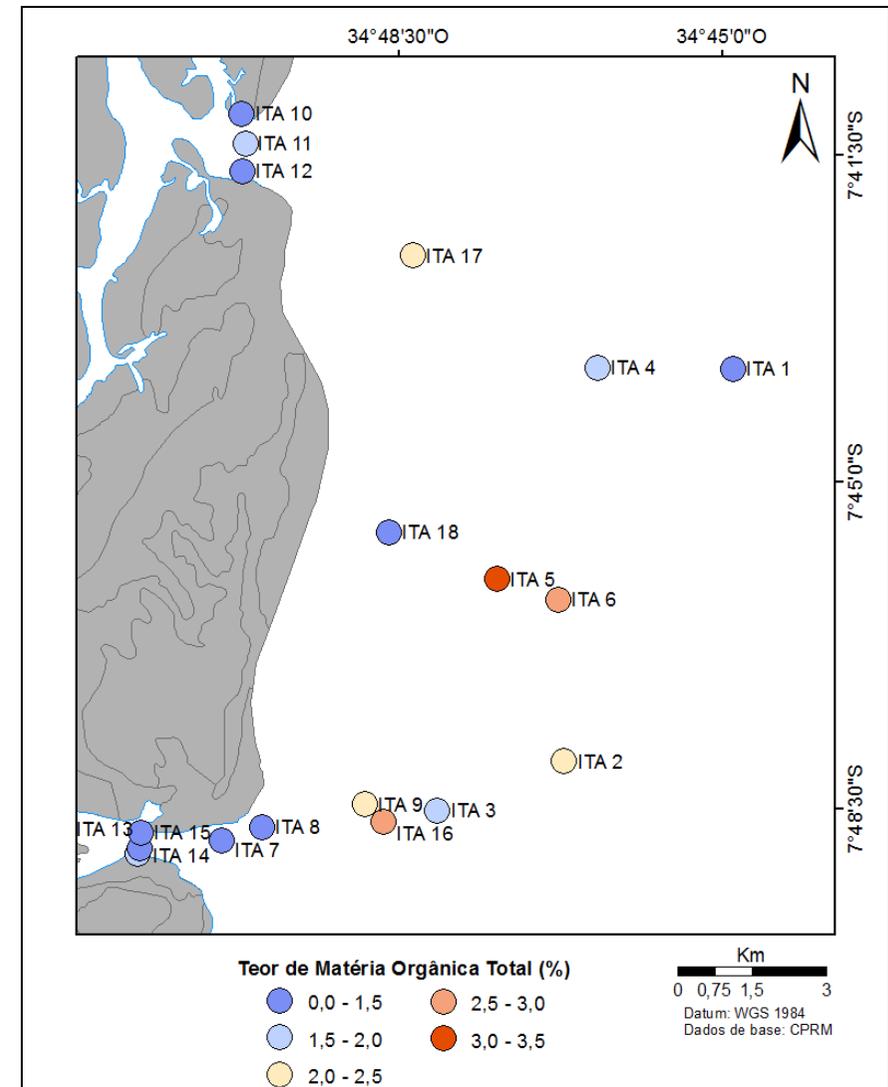
Para o teor de carbono orgânico total (COT), houve uma variação entre 0,08% até 5,40%, onde 77,8% as amostras apresentaram um teor abaixo de 1,00%. Um grupo de 16,7% das amostras está concentrado numa faixa de 1,0% a 5,5% de COT. O teor de COT de 5,6% das amostras, não foi obtido em virtude a um erro de análise. Na figura 6.11, é possível ver que as amostras não apresentam uma distribuição mais linear como as de MOT por exemplo. Nas desembocaduras os valores são baixos, com valores mais elevados em alguns pontos ao longo da plataforma, nas proximidades dos arenitos de praia.

**Tabela 6.3** - Identificação (ID) da amostra, Latitude, Longitude e dados geoquímicos (carbonato de cálcio, matéria orgânica total, composições elementares de C, N e P, razões isotópicas  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ , e as razões elementares C/N e C/P)

ID amostra	Latitude	Longitude	Prof. (m)	Teor de $\text{CaCO}_3$ (%)	Teor de MOT (%)	% N Total	% C Orgânico	P Total ( $\mu\text{mol/g}$ )	P Orgânico ( $\mu\text{mol/g}$ )	P Inorgânico ( $\mu\text{mol/g}$ )	Razão C/N	Razão C/P	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$
ITA1	-7,7298	-34,7480		93,07	1,30	-	0,79	0,10	0,07	0,03	-	11,16	-	-23,20
ITA2	-7,8000	-34,7785	21,0	93,03	2,23	-	0,51	0,09	0,06	0,03	-	8,18	-	-25,65
ITA3	-7,8088	-34,80137	16,6	97,1	1,60	-	0,77	0,10	0,06	0,04	-	12,06	-	-25,71
ITA4	-7,72965	-34,77248	16,5	97,6	1,60	-	0,58	0,10	0,06	0,04	-	8,93	-	-24,29
ITA5	-7,76742	-34,7907	15,0	93,5	3,50	0,31	5,40	0,09	0,06	0,03	17,61	91,63	6,75	-21,12
ITA6	-7,77105	-34,77953	9,0	87,2	2,53	-	0,22	0,09	0,06	0,03	-	3,89	-	-23,60
ITA7	-7,81408	-34,84042	15,5	5,8	1,40	-	0,10	0,04	0,03	0,01	-	3,41		-21,52
ITA8	-7,81172	-34,83299	5,6	5,6	1,43	-	0,09	0,04	0,04	0,01	-	2,36		-21,74
ITA9	-7,80768	-34,81447	4,9	53,5	2,30	-	0,27	0,07	0,05	0,02	-	5,90		-23,66
ITA10	-7,68431	-34,83672	1,9	21	1,37	1,65	3,24	0,04	0,03	0,01	1,96	102,71	3,00	-27,52
ITA11	-7,68966	-34,83600	4,7	13,9	1,80	-	0,08	0,06	0,03	0,03	-	2,83	-	-23,36
ITA12	-7,69450	-34,83655	7,0	17,2	1,30	-	0,09	0,04	0,03	0,01	-	3,06		-23,40
ITA13	-7,81646	-34,85560	1,8	10,6	1,53	-	0,17	0,04	0,03	0,01	-	4,92		-23,93
ITA14	-7,81550	-34,85513	6,0	4,1	1,40	-	0,11	0,03	0,03	0,01	-	4,14		-22,36
ITA15	-7,81274	-34,85497	5,0	9,6	1,47	-	0,10	0,04	0,03	0,01	-	3,26		-23,69
ITA16	-7,81079	-34,811173	5,0	64,4	3,00	0,12	3,66	0,08	0,05	0,02	31,39	69,15	5,24	-23,78
ITA17	-7,70966	-34,80586	2,5	98,5	2,47	1,25	0,24	0,08	0,06	0,03	0,19	4,33	5,61	-21,75
ITA18	-7,75904	-34,8102	2,4	2,8	1,43	-	0,21	0,03	0,03	0,01	-	7,50		-21,13



**Figura 6.9** – Distribuição dos teores de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) para as amostras coletadas na plataforma interna adjacente à Ilha Itamaracá.



**Figura 6.10** – Distribuição do teor de matéria orgânica total (MOT) nas amostras de sedimentos coletadas ao longo da plataforma interna adjacente à Ilha de Itamaracá.

De toda a malha amostral para Itamaracá, só foram obtidos os teores de NT para 4 amostras apenas. Os teores variam de 0,21% até 1,65%. Na figura 6.12, é possível ver o comportamento desses teores, onde os valores mais altos estão na área mais ao norte e os menores na área mais ao sul.

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

Os valores do  $\delta^{13}\text{C}$  variaram de -27,52‰PDB até -21,12‰PDB. A distribuição espacial (Fig. 6.13) teve um comportamento semelhante ao C orgânico com variações na distribuição aleatória dos teores na plataforma.

Os valores do  $\delta^{15}\text{N}$  para as 4 amostras detectadas, variaram de 3,00‰Ar para 6,75‰Ar. Essa distribuição (Fig. 6.14) difere dos teores do N Total, pois os valores perto das desembocaduras são menores e os que estão no meio da plataforma são os mais altos.

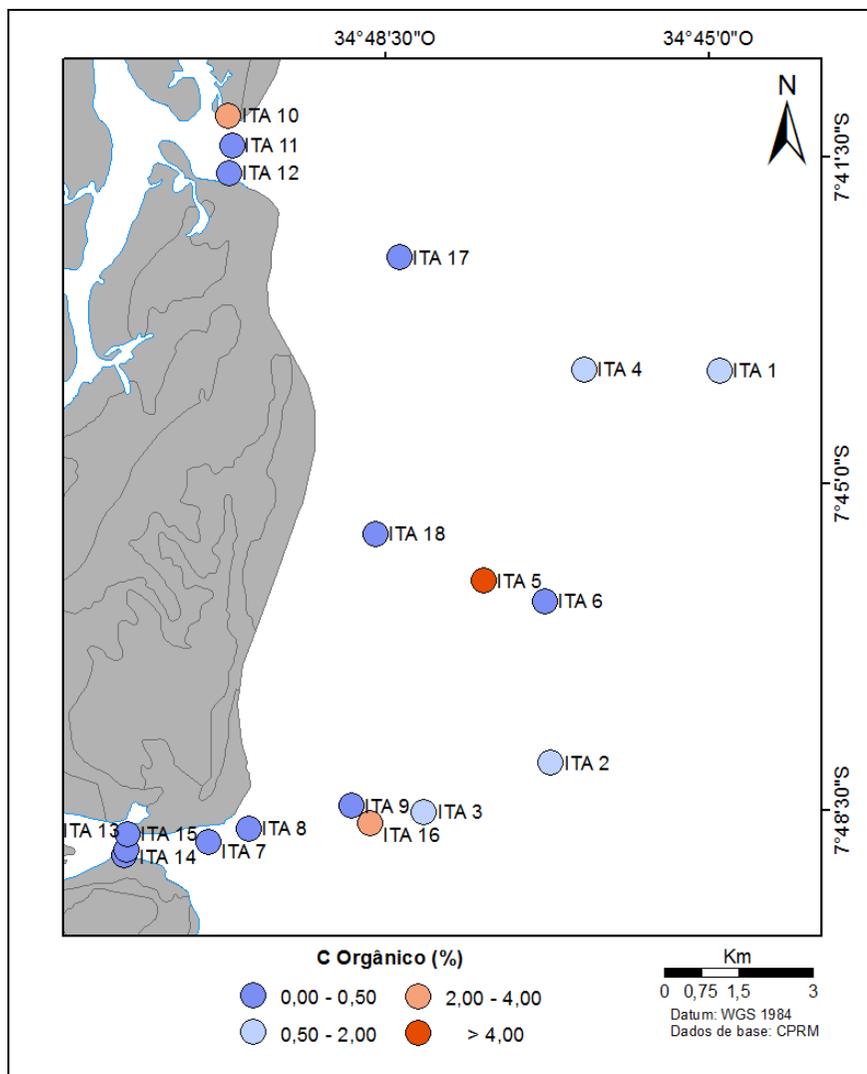
#### 6.3.3.4. Composição das frações de fósforo

Os teores de fósforo total (PT) oscilaram de 0,03 $\mu\text{mol/g}$  para 0,10 $\mu\text{mol/g}$ . dentro essa composição total, 44,4% das amostras apresentam valores abaixo de 0,05 $\mu\text{mol/g}$ , os demais 44,4% estão entre 0,05 $\mu\text{mol/g}$  e 0,1 $\mu\text{mol/g}$ , e apenas 11,2% encontram-se acima de 0,1 $\mu\text{mol/g}$ .

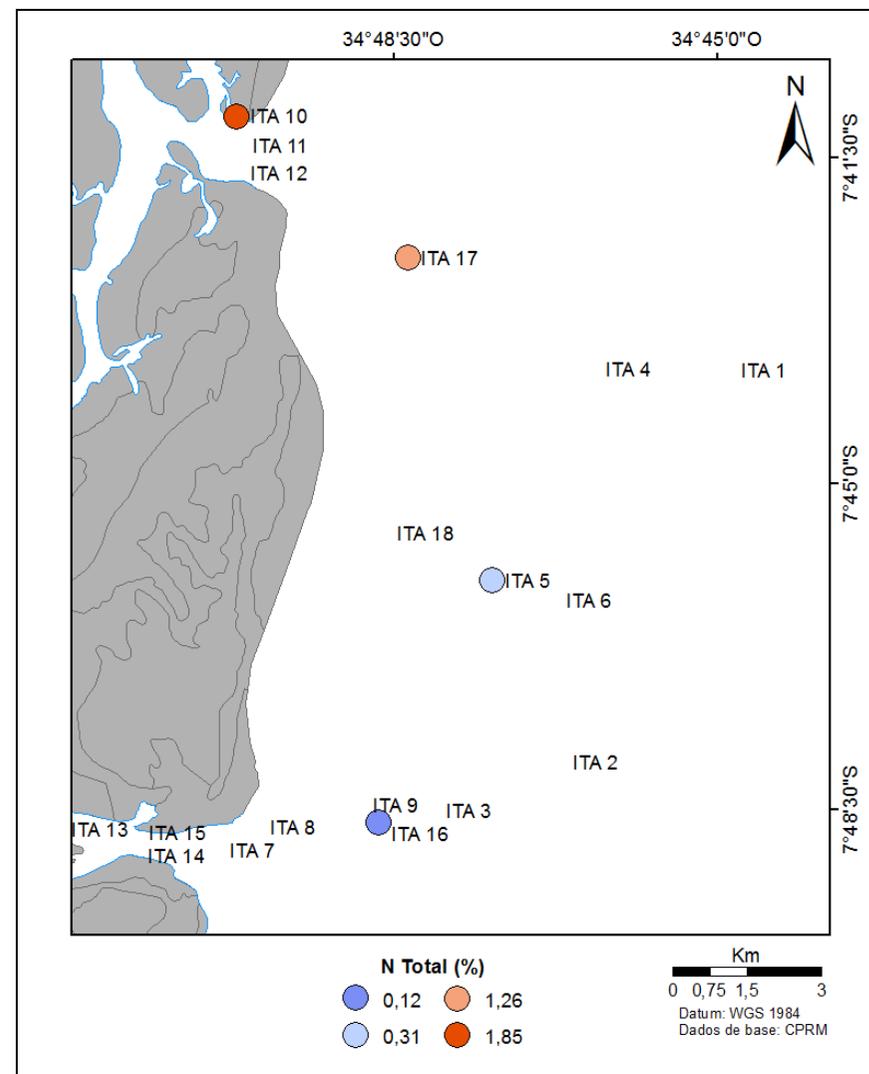
As frações de fósforo orgânico (PO) apresentam maiores proporções na composição do fósforo total em todas as amostras. Na figura 6.15 é possível ver que os teores de fósforo são compostos em sua maioria por material orgânico, onde os valores variam de 0,03 $\mu\text{mol/g}$  até 0,07 $\mu\text{mol/g}$ . Das 18 amostras em estudo, 55,6% possui um valor abaixo de 0,05 $\mu\text{mol/g}$  e os demais 44,4% das amostras estão acima dessa faixa.

O fósforo inorgânico (PI) foi a fração mais baixa observada em todos os pontos, com valores entre 0,01 $\mu\text{mol/g}$  e 0,04 $\mu\text{mol/g}$ . Ao agruparmos as amostras tem-se 38,9% abaixo dos 0,01 $\mu\text{mol/g}$ , um grupo de 27,8% das amostras entre 0,01 $\mu\text{mol/g}$  e 0,03 $\mu\text{mol/g}$  e um grupo composto por 33,3% das amostras acima dos 0,03 $\mu\text{mol/g}$ .

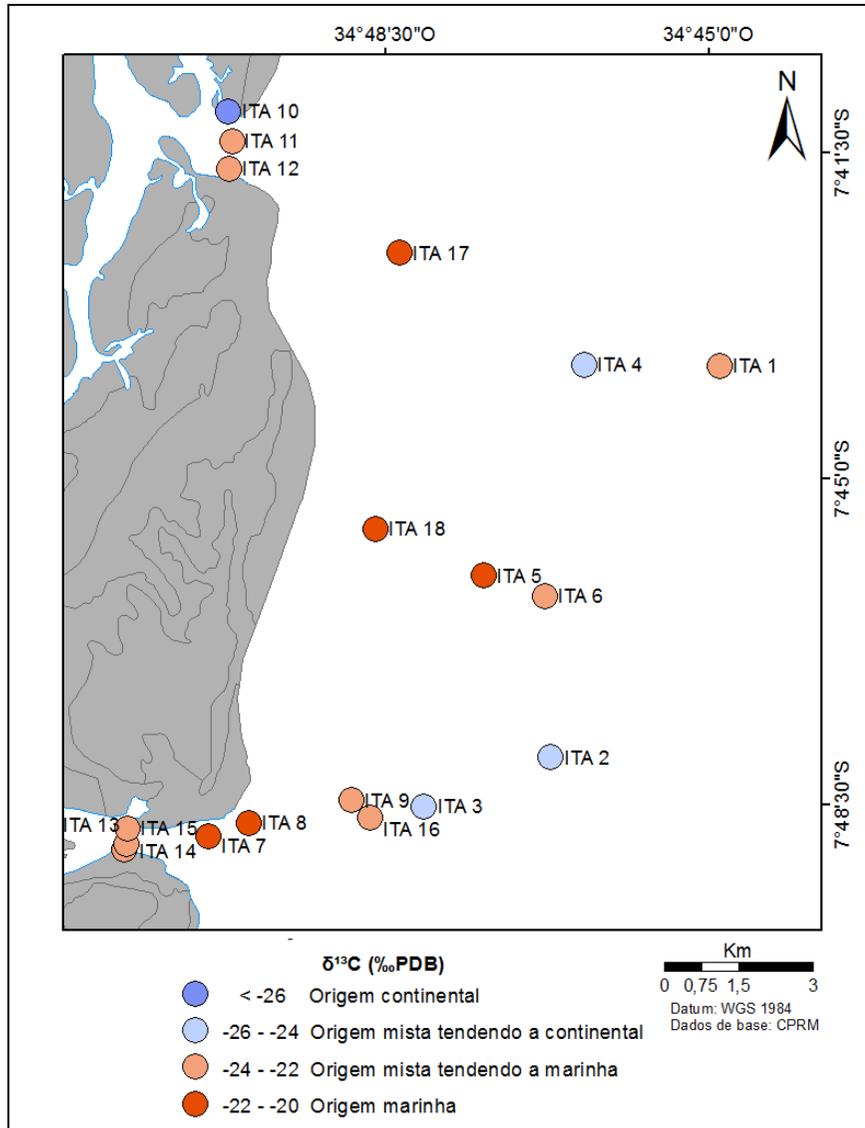
Na composição do PT o PO foi a fração dominante em todas as amostras, sendo que nas amostras mais afastadas e paralelas à linha de costa (ITA1, ITA2, ITA 3, ITA 4, ITA 5 e ITA 6), maiores foram os teores de fósforo e maiores foram a proporção de PI nas amostras.



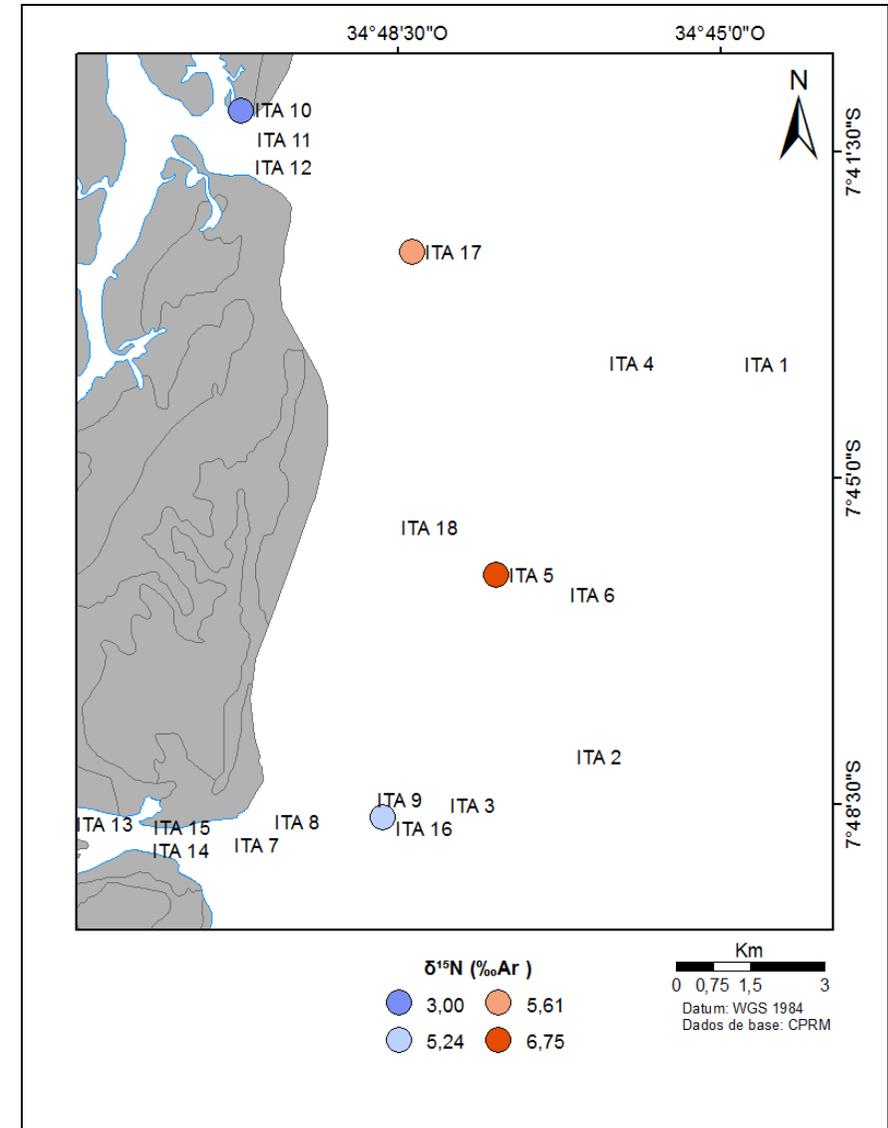
**Figura 6.11** – Distribuição dos teores de carbono orgânico nas amostras de sedimentos coletadas ao longo da plataforma interna adjacente à Ilha de Itamaracá.



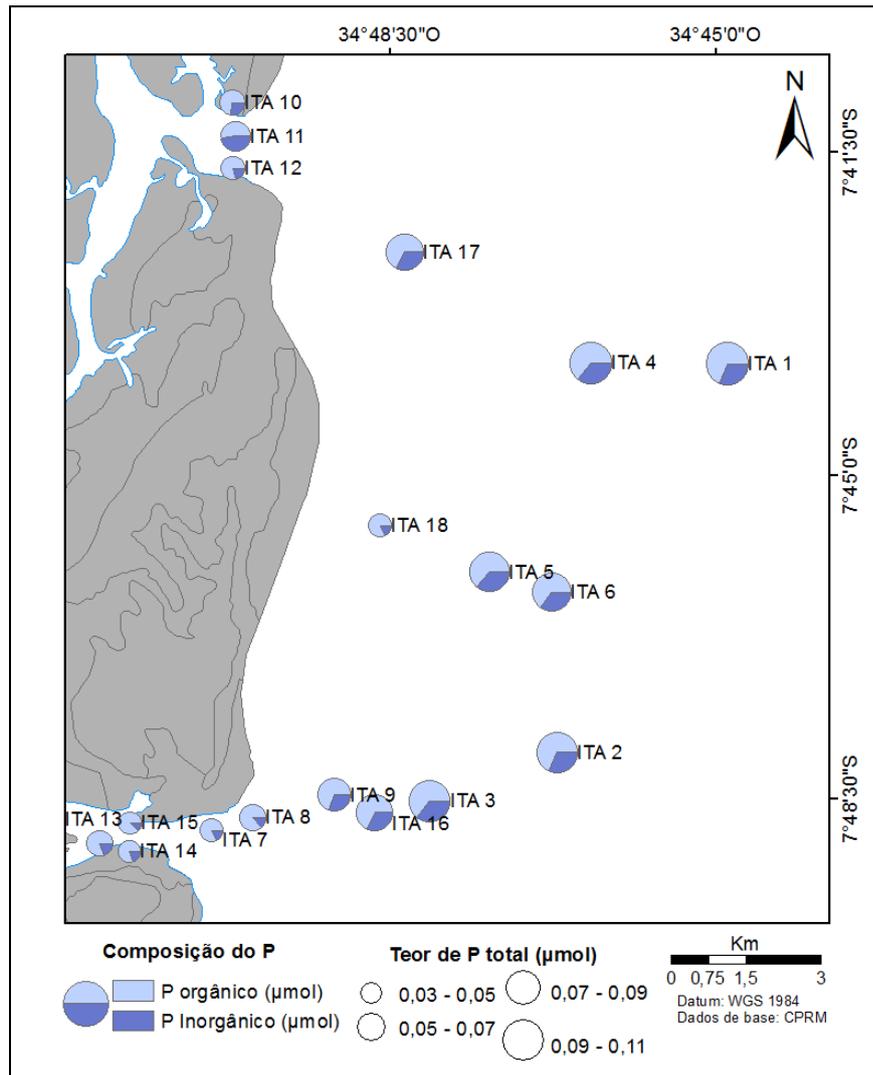
**Figura 6.12** – Distribuição dos teores de nitrogênio total nas amostras de sedimentos coletadas ao longo da plataforma interna adjacente à Ilha de Itamaracá.



**Figura 6.13** – Distribuição dos teores de  $\delta^{13}C$  de acordo com a classificação proposta por Bordovskiy (1965), Chester & Riley (1978), Ruttemberg e Goñi (1997), Stein (1991), Meyer (1997), Lamb et al. (2006) para a matéria orgânica sedimentar em ambientes marinhos para as amostras coletadas na plataforma interna adjacente à Ilha de Itamaracá.



**Figura 6.14** – Distribuição do  $\delta^{15}N$  nas amostras de sedimentos coletadas ao longo da plataforma interna adjacente à Ilha de Itamaracá.

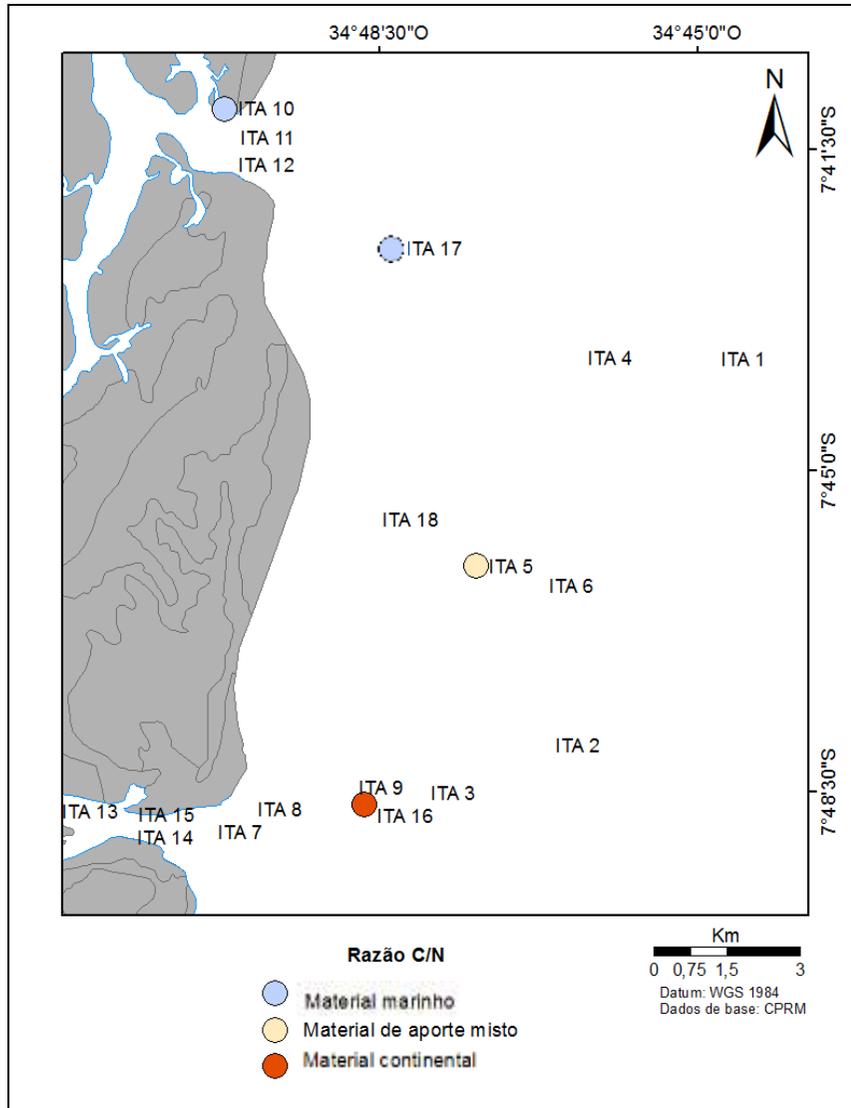


**Figura 6.15** – Composição dos teores de fósforo total como soma das frações para as amostras coletadas na plataforma interna adjacente à Ilha de Itamaracá.

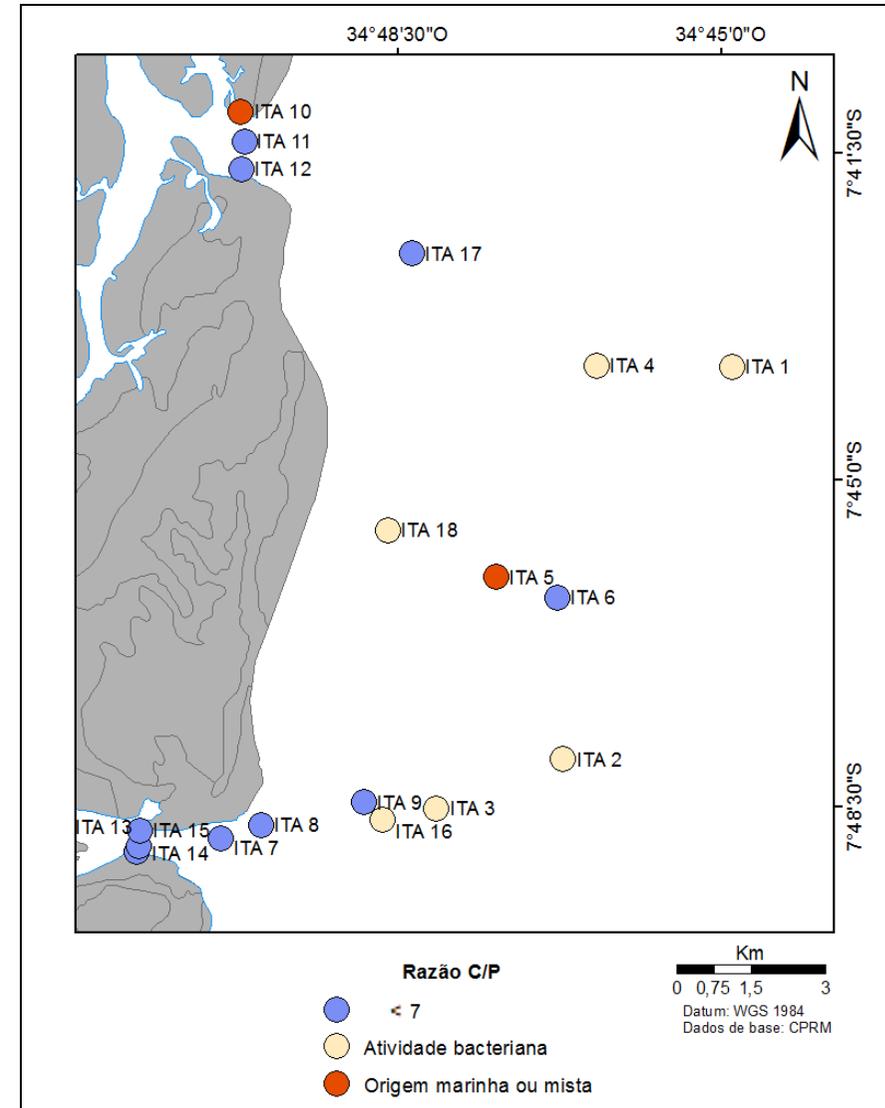
#### 6.3.3.5. Razão C/N e C/P

A razão C/N apresentou uma variação de teores entre 1,96 até 31,39. Sobre os resultados tem-se que: 25% é classificada como área de mistura, entre material terrígeno e continental, 25% se enquadra em produção primária e 50% são classificadas como aporte continental (BORDOVSKIY, 1965; MEYERS, 1997).

Na razão C/P, houveram gradientes diferenciados: 50% estão abaixo do valor 7,0 necessário para indicar atividades bacterianas; 33,3% são classificadas como atividade bacteriana, 11,1% material marinho ou misto e 5,5% em tecido vegetal duro (RUTTENBERG & GOÑI, 1997). As figuras 6.16 e 6.17 mostram a distribuição desses dois fatores.



**Figura 6.16** – Distribuição da razão C/N de acordo classificação proposta por Bordoviskiy (1965) e Meyers, (1997) para a matéria orgânica sedimentar em ambientes marinhos para as amostras coletadas na plataforma interna adjacente à Ilha de Itamaracá.

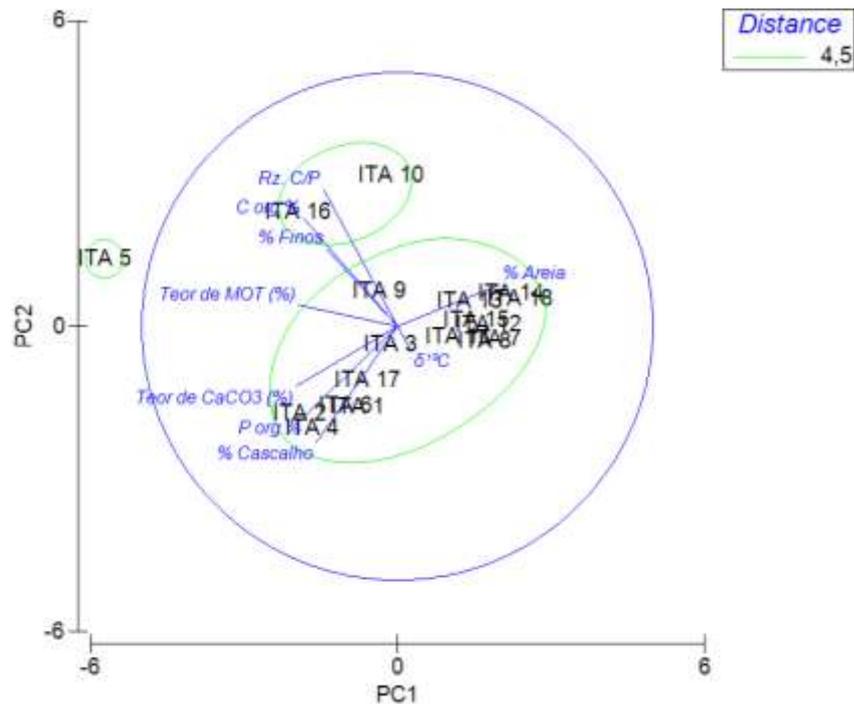


**Figura 6.17** – Distribuição da razão C/P de acordo classificação proposta Ruttenger & Goñi, (1997) para a matéria orgânica sedimentar em ambientes marinhos para as amostras coletadas na plataforma interna adjacente à Ilha de Itamaracá.

### 6.3.4. Análises estatísticas

#### 6.3.4.1. PCA

Os valores utilizados para a análise de componentes principais foram: teor de  $\text{CaCO}_3$  (%), teor de MOT (%), % cascalho, % areia, % finos (correspondente ao % de silte + % de argila), C orgânico, P orgânico, Razão C/P e  $\delta^{13}\text{C}$  (Fig. 6.18).



**Figura 6.18** – Análise dos componentes principais das amostras adjacentes a Ilha de Itamaracá.

Os dois principais autovetores detêm entre si 69,7% da informação total das variantes, onde o componente PC1 apresentou 49,7% e o PC2 complementou com 20,0%. Na Tabela 6.4 estão descritos os componentes principais calculados através do PCA.

**Tabela 6.4** - Componentes principais calculados através do PCA para os sedimentos da plataforma continental adjacente à Ilha de Itamaracá.

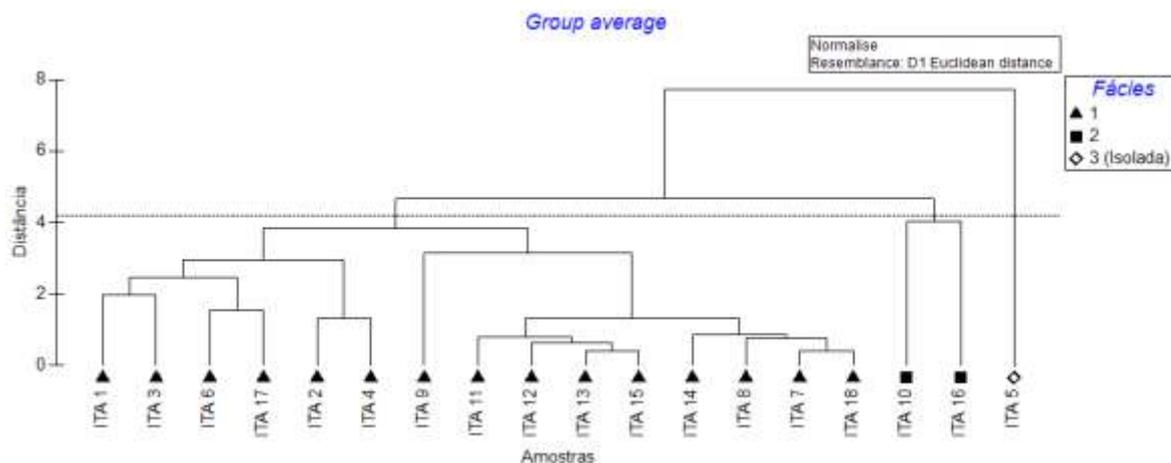
Variável	PC1	PC2
Teor de $\text{CaCO}_3$ (%)	-0,358	0,406
Teor de MOT (%)	-0,381	-0,151
% Cascalho	-0,397	0,195
% Areia	0,399	-0,187
% Finos	-0,304	-0,360
C orgânico %	-0,357	-0,421
P orgânico %	-0,336	0,443
Razão C/P	-0,277	-0,473
$\delta^{13}\text{C}$	-0,016	-0,113

No PC1 as cargas positivas foram regidas pelo percentil de areia, as cargas negativas foram regidas pelos demais componentes. No PC2 as cargas positivas foram regidas pelos teores de cascalho, carbonato de cálcio e fósforo orgânico as negativas foram regidas pelos demais componentes. Com isso foi possível fazer agrupamento de 2 grupos e uma amostra isolada:

- Grupo 1 – Este grupo englobou 83,3% das amostras. No PC1 agrupam cargas que variam do -2 ao +2, já no PC2 ele agrega apenas cargas positivas. O posicionamento das amostras deste grupo no gráfico deixa evidente que os teores de areia foram mais influentes em relação ao PC1, pois as amostras embora sejam regidas pelas cargas negativas de diversos componentes, 53,3% estão com valores positivos e os demais 46,7% o valor mais baixo é de -2;
- Grupo 2 – Este grupo engloba 11,1% das amostras. No PC1 e PC2 encontram-se entre os pontos 0 e -2 de ambos os eixos. O posicionamento entre 0 e -2 do PC1 é evidenciado pela influência dos teores de areia nestas amostras, de modo semelhante as do grupo1, mas no PC2 todas estão do lado negativo, pois não possuem influência dos teores de cascalho, o que as difere do grupo 1;
- Isolada – Composto pela amostra ITA 5 (vide figura 6.20) (5,6% da malha amostral), engloba cargas negativas de ambos, sendo que no PC1 engloba cargas abaixo de -6 e no PC2 situa-se em -2. O posicionamento desta amostra no gráfico mostra que o teor de areia não é tão influente (pois é bem mais baixo que as demais amostras) sendo assim, todos os demais componentes só atuam com cargas negativas, no PC2 ela se portou de modo semelhante ao grupo 2.

#### 6.3.4.2. Análise de agrupamento (Cluster)

Para realizar a análise de agrupamento foram utilizados os mesmos parâmetros da PCA, que são: teor de  $\text{CaCO}_3$  (%), teor de MOT (%), % cascalho, % areia, % finos (correspondente ao % de silte + % de argila), C orgânico, P orgânico, Razão C/P e  $\delta^{13}\text{C}$  (Fig. 6.19).



**Figura 6.19** – Dendrograma (Cluster) da análise de agrupamento para as amostras adjacentes a Ilha de Itamaracá

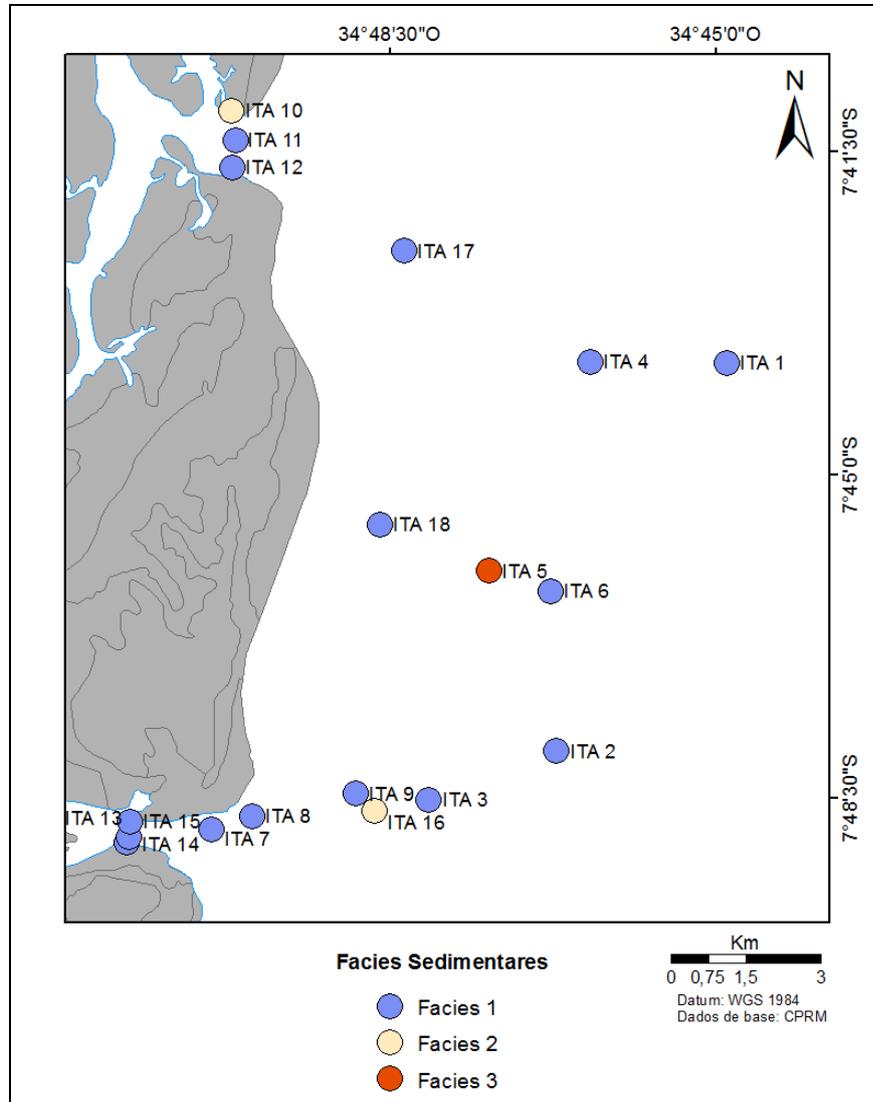
A faciologia de sedimentos na área de estudo, permitiu identificar 3 facies: um grupo que engloba 72,2% de toda a malha amostral, um grupo com 11,1% das amostras e uma amostra isolada (figura 6.20). Essa determinação foi feita com o corte transversal na distância euclidiana 4,2, que foi definida de acordo com os dados. As características das facies identificadas de acordo com as médias de todas as facies estão na tabela 6.5

**Tabela 6.5** – Características das classes sedimentares reconhecidas através da análise de agrupamento (Cluster) dos sedimentos no período das amostras adjacentes à Ilha de Itamaracá

Facies	Teor de CaCO <sub>3</sub> (%)	Teor de MOT (%)	% Cascalho	% Areia	% Finos	C org %	P org %	Razão C/P	δ <sup>13</sup> C
I	45,97	1,72	9,94	89,93	0,13	2,04	0,04	3,28	-22,82
II	42,70	2,18	0,09	99,73	0,18	3,45	0,04	3,47	-25,65
III	93,50	3,50	65,59	33,09	1,32	5,40	0,06	22,36	-21,12

- Na facies I os componentes atuantes na caracterização do grupo foram os teores de areia acima de 80,0%, seguido das frações de cascalho acima de 9,0%, dos teores de C orgânico abaixo de 2,0% e, por conseguinte uma baixa razão C/P, e com classificação de MOT mista tendendo a marinha de acordo com o δ<sup>13</sup>C.
- A facies II foi diferenciada da facies I devido aos teores de C orgânico e de MOT serem mais elevados (acima de 3,0% e de 2,0% respectivamente), e com classificação da como MOT mista tendendo a continental de acordo com o δ<sup>13</sup>C.
- A facies III, amostra isolada (ITA 5), foi diferenciada das demais facies pelo alto teor de cascalho (65,59%) – e por consequência uma fração de areia

abaixo 33,0% –, pelo teor de C orgânico elevado, por conseguinte uma razão C/P mais elevada, e por ter uma MOT classificada como marinha de acordo com o  $\delta^{13}\text{C}$ .



**Figura 6.20** – Facies sedimentares na plataforma interna adjacente à Ilha de Itamaracá.

#### 6.4. DISCUSSÃO INTEGRADA

A plataforma interna de Itamaracá apresentou facies textural areia (Shepard, 1954), com granulação de areia fina a areia muito grossa, predominando areia muito grossa (38,9%) (Folk & Ward, 1957). O grau de seleção variou de bem selecionado a moderadamente selecionado, com predominância de moderadamente selecionado – 77,8% das amostras – corroborando com os resultados obtidos por Varela (2010) e Almeida & Manso (2011).

De acordo com a distribuição superficial dos sedimentos, foram observadas áreas de concentração da granulação areia fina, média, grossa e muito grossa. As disposições do grau de seleção encontrados nas amostras foram bem selecionados, moderadamente selecionados e pobremente selecionados. As áreas de acúmulo de sedimentos de granulação areia fina estão associadas às regiões mais próximas à costa e sob a proteção dos arenitos presente na região. De acordo com Varela (2010), os arenitos encontram-se próximos a região costeira, propiciando uma diminuição de energia de onda, facilitando a deposição de sedimentos mais finos e pouco transporte dos mesmos, que é evidenciado pela presença de grãos angulosos e com baixa esfericidade nos pontos. Dentre as amostras que apresentaram sedimentos finos a estação ITA 9 apresentou também grãos bem selecionados, a isso é atribuído o fato de que a estação foi coletada entre dois arenitos submersos, abrigando o sedimento da hidrodinâmica do local. Já as demais amostras foram classificadas como moderadamente selecionadas.

Na desembocadura do canal de Santa Cruz todas as amostras foram classificadas como areia média e com grãos moderadamente selecionados. Estudo sobre a composição sedimentar do canal de Santa Cruz realizado por Silva (2004) mostrou que na desembocadura sul a composição é de areia média com grãos moderadamente selecionados oriundos do sistema estuarino do canal, corroborando com os resultados do presente trabalho. Na desembocadura próxima a Barra de Catuama, a amostra mais ao norte (ITA 10) foi classificada como areia média e as demais são classificadas como areia grossa, com grãos moderadamente selecionados em todas as estações. Na barra de Catuama, Silva (2012) mostrou que os grãos de areia média encontrados na estação mais ao norte na desembocadura são oriundos dos sistemas estuarinos presentes na região, já os grãos mais grossos são da progradação existente na plataforma local (VARELA, 2010; ALMEIDA, 2011).

Nas áreas de distribuição dos sedimentos com granulação areia grossa, há três comportamentos apresentados: as amostras ITA 7 e ITA 8 encontram-se numa região abrigada por arenitos, mas recebem a influência do material que vem do canal além das ondas

resultante da difração e refração presentes no local, como foi descrito por Varela (2010). A estação ITA 1, encontra-se numa região onde há a influência da maré nos sedimentos, pois é a região de maior profundidade (21 metros), está longe da costa, desabrigada por quaisquer formação rochosa presente. As demais estações com areia grossa apresentam essa granulação, pois além da progradação sedimentar existente na região (Almeida & Manso, 2011) estão localizadas mais ao norte, uma região que está desabrigada pelos arenitos.

As regiões onde a composição sedimentar é predominada pela gradação areia muito grossa são as que se encontram adjacente aos arenitos, no sentido longitudinal costa-oceano. Onde, segundo Varela (2010), isso ocorre pelo fato das ondas quebrarem sobre o arenito, propiciando uma região de elevada energia hidrodinâmica que impede deposição de grãos finos, possibilitando apenas a presença de sedimentos mais grossos. Esse movimento ainda de acordo com Varela (2010) facilita a presença das algas calcárias na região, além de um retrabalhamento maior dos grãos, já que as frações analisadas pela morfoscopia demonstrou que apesar da baixa esfericidade já apresentaram grãos sub-angulosos.

Na análise morfoscópica, foram encontrados grãos com baixa e média esfericidade, onde a baixa esfericidade predominou em 90,9% das amostras. Os grãos foram classificados como angulosos e sub-angulosos, com predomínio de grãos sub-angulosos em 54,5% das amostras. Na região abrigada pelos arenitos, os grãos apresentaram baixa esfericidade e foram classificados como angulosos. Tais resultados são semelhantes aos encontrados por Almeida (2011) e Almeida & Manso (2011), na mesma região, evidenciando que os grãos são poucos retrabalhados, pois o material presente entre o arenito e a costa sofre pouco retrabalhamento pelo fato da plataforma e os arenitos atenuarem as ondas (VARELA, 2010). Na desembocadura próxima a barra de Catuama os grãos possuem baixa esfericidade e foram classificados como sub-angulosos, e na desembocadura do canal de Santa Cruz os grãos apresentam baixa esfericidade e foram classificados como angulosos, sendo atribuído a tais comportamentos o fato do material ser oriundo dos sistemas estuarinos adjacentes. As demais amostras que apresentaram baixa esfericidade, mas com grãos sub-angulosos, encontram-se desabrigadas pelos arenitos, estando assim susceptíveis a um maior retrabalhamento pela hidrodinâmica local.

De acordo com a composição das frações granulométricas dos sedimentos nas amostras coletadas as frações encontradas foram cascalho, areia e silte, sendo que em 94,4% das amostras a fração areia foi predominante. Nas estações localizadas nas desembocaduras

há a presença de material fino – silte – oriundo do sistema estuarino adjacente. As frações de areia variaram de 33,09% a 100%, com um valor médio de 87,86%, estando presente em todas as amostras coletadas, sendo que os maiores teores encontram-se nas regiões abrigadas pelos arenitos. De todos os pontos de coleta, apenas a estação ITA 5 apresentou a fração cascalho como dominante, com 65,59% da composição granulométrica total, onde esse material era composto por algas carbonáticas presentes no local, corroborado com a correlação positiva entre os teores de cascalho e carbonato ( $r_s=0,619$ ).

Com uma variação de 2,8% a 98,5%, e uma média de 48,2% os teores de carbonato de cálcio possibilitaram uma classificação dos sedimentos analisados de acordo com Larssoneur et al (1982), onde 50% das amostras são litoclásticas, 11,1% biolitoclásticas e 38,9% bioclástica. Comparando a distribuição espacial dos teores de carbonato com feições fisiográficas observadas na carta náutica 930, na batimetria realizada por Varela (2010) e os trabalhos realizados por Almeida & Manso (2011), Silva (2004) e Silva (2012), observa-se que o material litoclástico está presente nas amostras localizadas nas desembocaduras da Barra de Catuama e do Canal de Santa Cruz, e na amostra ITA18 que se encontra numa região abrigada por arenitos. Os sedimentos biolitoclásticos e bioclásticos estão localizados nas regiões mais afastadas e desabrigadas – sem a presença de arenitos – da costa. Com base nos dados da fração arenosa (APÊNDICE B), o índice de biogênicos marinhos nas amostras corrobora com a classificação de Larssoneur et al (1982), já que nas amostras localizadas nas desembocaduras e abrigadas, a classificação é terrígena, enquanto as demais apresentam material misto e marinho. A correlação dos teores de carbonato de cálcio com a composição sedimentar auxilia a corroborar a origem marinha do material cascalhoso presente nas amostras, já que de acordo com a correlação de Spearman ( $r_s$ ), apresenta uma correlação positiva com o cascalho e negativa com a areia ( $r_s= 0,619$  e  $r_s= -0,618$  respectivamente). Esta correlação permite explicar o fato do material cascalhoso da estação ITA5 ser biogênico, pois de acordo com Almeida (2011) e Varela (2011) a amostra foi coletada em uma superfície rasa e com substrato consolidado, o que propicia a presença de algas calcárias e corais, sendo esta estação e as demais biolitogênicas e biogênicas classificadas como areia calcária biodetrítica (KEMPF, 1967).

Os valores de MOT variaram de 1,3% a 3,5%, com uma média de 1,87%. Nas estações com predominância de material terrígeno de acordo com a classificação de Larssoneur et al (1982), os teores de matéria orgânica estão abaixo dos 2,0%. Para tal comportamento infere-se que embora haja uma correlação positiva com o percentual de silte ( $r_s= 0,694$ ) que aporta

das desembocaduras localizadas na Barra de Catuama e Canal de Santa Cruz (SILVA, 2004; SILVA, 2012), o teor permaneceu baixo pelo predomínio do percentil de areia e a correlação negativa entre os teores de MOT e areia ( $r_s = -0,522$ ). Nas estações localizadas próximas a desembocadura do Canal de Santa Cruz, numa região abrigada por arenitos, apresentaram teores mais elevados (entre 2,5 a 3% de carbonato), estando associados aos sedimentos mais finos. Esta correlação entre sedimentos finos e matéria orgânica, já foi observada em diversos trabalhos para a região costeira de Pernambuco, principalmente estuários (OLIVEIRA et al., 2014; BARCELLOS et al., 2016; SANTOS, 2016), o que corrobora com o Trask (1939, apud TYSON, 1995), indicando um ambiente com menor dinâmica de fundo, possibilitando assim a deposição de material mais finos e as partículas de matéria orgânica sedimentar. As amostras que apresentaram teores acima de 2,0% apresentam como característica, além da presença de material síltico, a presença de cascalho em sua composição sedimentar. Há uma correlação positiva entre os teores de cascalho e matéria orgânica ( $r_s = 0,513$ ), cascalho e carbonato ( $r_s = 0,619$ ), cascalho e carbono orgânico ( $r_s = 0,380$ ), e de matéria orgânica e carbono orgânico ( $r_s = 0,384$ ). Estas correlações são importantes, visto que a correlação positiva entre o cascalho e o carbono orgânico implica que o carbono mensurado tem uma correlação direta com os teores de carbonato, o que caracteriza a sua origem marinha (PAROPKARI et al., 1991). E a correlação entre os teores de cascalho com a matéria orgânica e carbonato, corrobora esta inferência, já que de acordo com a literatura as amostras apresentam uma areia calcária com posta por carapaças, fragmentos algálicos e de corais (KEMPF, 1967; MANSO et al., 1992; VARELA, 2010; ALMEIDA e MANSO, 2011).

Os teores de carbono orgânico total (COT) variaram de 0,08% a 5,40%, com uma média de 0,97%. Os valores mais elevados (acima de 1,00%) foram observados em três pontos distintos: na estação ITA 10, que fica próxima a desembocadura do rio Catuama; a amostra ITA 16 locada próximo ao Canal de Santa Cruz e abrigada por um arenito; e a amostra ITA 5 que encontra-se após os arenitos locados na frente da Ilha de Itamaracá. Para as amostras adjacentes as desembocaduras, os teores de carbono orgânico estão associados aos percentis de MOT e a presença de material mais fino aporta dos estuários adjacentes. Para a amostra ITA16, além do aporte, o local onde a mesma está situada favorece a deposição de material mais fino por está abrigado e apresenta um teor de carbonato mais elevado em relação as que se localizam na desembocadura. As demais amostras o teor de COT está associado à presença de material cascalhoso. Como foi mencionado anteriormente, há uma

correlação positiva entre a presença de matéria orgânica total e os teores de silte e cascalho, assim como uma correlação positiva entre o carbonato e o carbono orgânico.

Ao comparar-se com os trabalhos nas regiões estuarinas de Pernambuco realizados por Oliveira et al. (2014), Barcellos et al. (2016) e Santos (2016), indicaram a existência de uma correlação positiva entre os teores de COT e as frações mais finas, o que é esperado de acordo com Trask (1939 apud TYSON, 1995). Para as demais estações o teor de carbono orgânico está relacionado ao material carbonático presente nos sedimentos, e que de acordo com Paropkari et al. (1991), a correlação positiva entre o carbonato de cálcio e o COT das amostras é um indicador de que o material carbonático presente nas amostras é de origem marinha, o que de fato parece ocorrer com as amostras estudadas. Alves (2016) em estudo sedimentar sobre o Rio Goiana observou a correlação positiva entre o carbonato e o carbono orgânico na região da desembocadura, o que indica influência marinha no sistema. Os valores observados para a região da plataforma adjacente a Itamaracá são similares aos observados por Acharya et al. (2016) para a plataforma continental para porção oriental do Mar da Arábia, e os observados por Liu et al. (2016) para a plataforma continental adjacente a baía Rushan, no Mar Amarelo, na China.

Os teores de nitrogênio total (NT) presentes nas quatro estações detectadas apresentaram uma distribuição peculiar, pelo gradiente sul-norte dos valores. Todos os valores encontrados para o NT estão de acordo com Romankevich (1984), que afirma que o NT possui um comportamento similar aos teores de carbono orgânico total, que aumentam nas áreas costeiras, variando globalmente entre 0,00 a 2,19%. Os teores de NT possuem uma correlação positiva com as frações de areia e com o grau de seleção ( $r_s=0,075$  e  $r_s=0,247$ ), o que explica a ocorrência do valor mais elevado observado nas amostras (1,65%) na estação ITA 10, visto que de todas as estações ela é que tem um melhor grau de seleção seguido apenas pela estação ITA 17 (que apresenta 1,25% de NT) e ambas possuem uma fração de areia maior que 99,8%. Outro fator atribuído para tal comportamento dessas amostras é que ITA 10 encontra-se nas áreas de confluência dos sistemas estuarinos dos rios Catuama e Botafogo, onde segundo Silva (2012), possui um grande aporte de material sedimentar desses sistemas pela baixa hidrodinâmica. Já a estação ITA 17, de acordo com a carta náutica, está em uma região de influência do material que aporta do sistema estuarino da barra de Catuama, trazido pelo rio Itapessoca. Embora ITA 10 possua um grau de seleção melhor que a estação ITA 5, o valor de NT mais alto na estação ITA 5 é evidenciado pela correlação positiva entre os teores de MOT e COT ( $r_s=0,104$  e  $r_s=0,655$ ) que são mais elevados nesta amostra.

Os teores de fósforo total variaram entre  $0,03\mu\text{mol/g}$  a  $0,10\mu\text{mol/g}$ , os quais a fração predominante foi o fósforo orgânico ( $0,03\mu\text{mol/g}$  a  $0,07\mu\text{mol/g}$ ). Gaspar (2009) encontrou valores máximos de  $47,03\mu\text{mol/g}$  de fósforo total para o Rio Botafogo,  $38,30\mu\text{mol/g}$ ,  $45,52\mu\text{mol/g}$  para o canal Santa Cruz e  $38,30\mu\text{mol/g}$  para o Rio Carrapicho, que são regiões que compõem o sistema estuarino presente na área de estudo. No seu estudo, Gaspar (2009) mostrou que as frações orgânicas e inorgânicas do fósforo estão relacionadas às frações de sedimentos mais finas, além de que, à medida que os teores aproximam-se da foz dos rios eles diminuem, em virtude da salinidade. Ao comparar os valores máximos encontrados por Gaspar (2009) e o presente trabalho tem-se uma diminuição de mais de 99% da quantidade de fósforo que chega à plataforma, e a tal comportamento, infere-se que o material acaba ficando retido no sistema estuarino, pela baixa dinâmica local, o que explica os teores mais baixos na costa. Para os valores mais elevados nas regiões mais afastadas, os teores de fósforo (total, orgânico e inorgânico) apresentaram uma correlação positiva com os teores de cascalho ( $r_s=0,622$ ;  $r_s=0,602$ ;  $r_s=0,606$  respectivamente) assim como a matéria orgânica total ( $r_s=0,507$ ;  $r_s=0,457$ ;  $r_s=0,538$  respectivamente), deste modo infere-se que o material é de origem marinha, decorrente da biota formada pela associação das algas e demais organismos presentes na região (KEMPF, 1967).

De acordo com as classificações propostas por Müller (1977), Bordovskiy (1965), Meyers (1997) e Barcellos (2005) para a razão C/N, as amostras foram classificadas como 33,3% origem marinha, 33,3% das amostras são de origem mista tendendo à continental e 33,3% são oriundas de aporte continental. De acordo com a classificação de Ruttenberg & Goñi (1997) para a razão C/P, a matéria orgânica de 88,2% das amostras é oriunda de atividade bacteriana e os demais 11,8% das amostras possui matéria orgânica de origem marinha ou mista. Essa divergência nas determinações das origens da matéria orgânica pelas razões C/N e C/P pode ser explicado por Krishna et al (2015), que afirma que o nitrogênio pode se mineralizar rapidamente no sedimentos e que o carbono possui a capacidade de indicar diversas fontes, associado ao fato dos teores de carbono orgânico serem baixos principalmente nas regiões mais costeiras.

Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  variaram de  $-27,52\text{‰PDB}$  até  $-21,12\text{‰PDB}$ . De acordo com a classificação do  $\delta^{13}\text{C}$  realizada no estuário do Rio Goiana, por Alves (2016), há predomínio de material de origem mista e marinha. O comportamento da distribuição do  $\delta^{13}\text{C}$  decorre dos aportes oriundos do sistema estuarino, estando associados a composição sedimentar e a fisiografia da região. De acordo com Bordovskiy (1965), Chester & Riley (1978), Ruttenberg

e Goñi (1997), Stein (1991), Meyer (1997), Lamb et al. (2006), o material está associado a composição algálica e a produção planctônica da região (KEMPF, 1967; MANSO et al., 1992; VARELA, 2010; ALMEIDA 2011).

Os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  observados para a plataforma adjacente a Itamaracá foram de 3,00‰Ar a 6,75‰Ar. Utilizando a classificação proposta por Aravena et al. (1993), os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  encontram-se inseridos na faixa dos solos ricos em compostos nitrogenados (3‰ Ar a +8‰ Ar), classificando os sedimentos como oriundos de origem mista tendendo a marinha, estando sob influência de lixiviação, mas tais valores podem ser interpretados em virtude da volatilização da amônia com um processo de desnitrificação subsequente, ou ser o resultado do aporte de efluentes e insumos agrícolas (RUIZ-FERNÁNDEZ et al., 2002), o que dificulta a identificação da origem da matéria orgânica em virtude da sobreposição de origem desse material. Classificando os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de acordo com de Barcellos et al. (2005) tem-se que o material é oriundo de fonte natural, o que é corroborado ao correlacionar os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  com os teores de carbonato, matéria orgânica total e o teor de carbono orgânico ( $r_s=0,928$ ;  $r_s=0,944$ ;  $r_s=0,732$ , respectivamente), inferindo assim a sua origem natural.

A análise de componentes principais evidenciou a característica arenosa da plataforma continental adjacente a Ilha de Itamaracá, visto que a facies 1, englobou 83% da malha amostral por conta dos elevados percentis de areia em suas frações granulométricas. Outro aspecto relevante evidenciado pela análise de agrupamento e faciologia, refere-se à influência da distribuição dos teores de carbono orgânico e origem da matéria orgânica com base no  $\delta^{13}\text{C}$ , já que os teores enriquecidos de ambos componentes foi o responsável pela presença de uma facies diferenciada. A amostra isolada é resultante devido diferenciação entre os parâmetros regentes das facies anteriores, visto que diferiu tanto pelo teor elevado de cascalho e pouca presença de areia, apresentando um elevado teor de carbono orgânico de origem marinha. Esta faciologia permite inferir uma homogeneidade no ambiente, mas que demonstra que o mesmo está susceptível à fisiografia do meio, pois a mesma aporta, abriga e retém o material sedimentar.

## 6.5. CONCLUSÕES

- A plataforma interna de Itamaracá apresenta cobertura sedimentar arenosa, com granulação predominante de areia grossa, moderadamente selecionada. Com 50% das amostras litoclásticas e 50% das amostras bioclásticas, com baixos teores de matéria orgânica total, caracterizando a origem mista da matéria orgânica sedimentar da plataforma.
- Os dados do presente estudo evidenciaram que as feições fisiográficas presentes na região são responsáveis pela regência não só da composição sedimentar, mas atuam também na distribuição da matéria orgânica, retendo aportes continentais e promovendo pontos de maior concentração de material orgânico marinho;
- Em relação à origem do material indicado pelas razões isotópicas e elementares, a matéria orgânica presente na plataforma é de origem marinha com aportes continentais, que são necessários para a manutenção do meio;
- A composição sedimentar, associada à cobertura algálica da plataforma evidenciaram um ambiente propício para ciclagem e sequestro do carbono na região costeira.
- Os dados do presente trabalho apresentam uma contribuição para estudos futuros referentes à geoquímica sedimentar, visto que não há dados precedentes publicados.

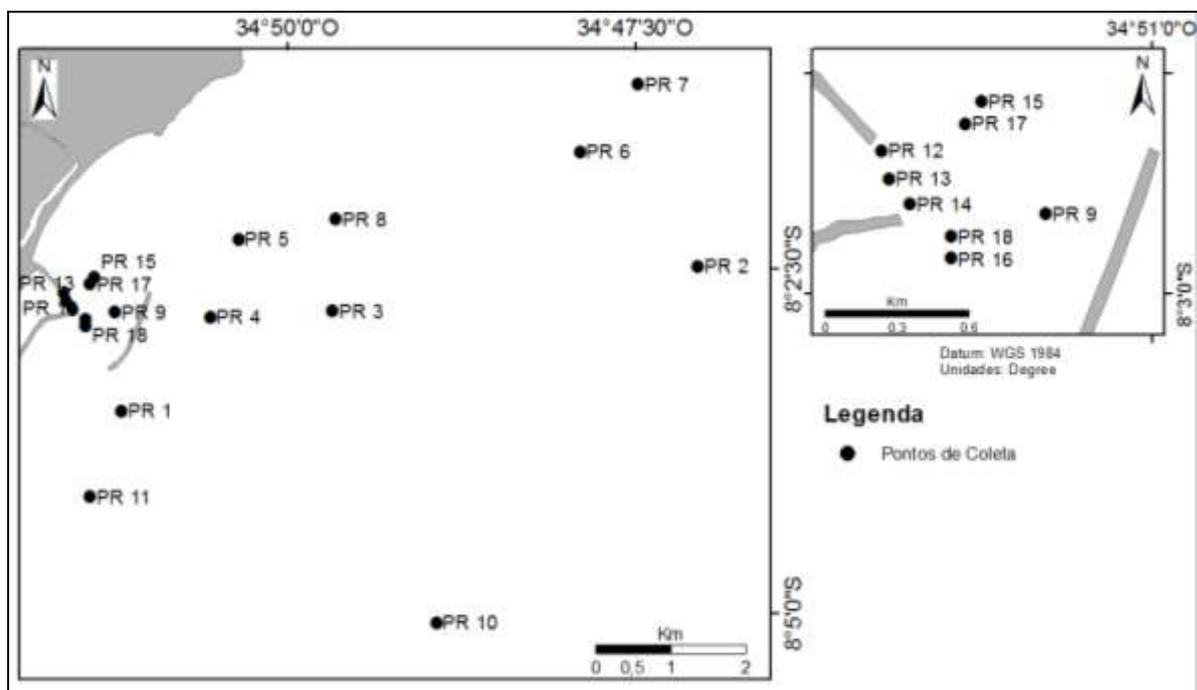
## 7. PORTO DO RECIFE

O presente capítulo corresponde à área de plataforma continental adjacente ao Porto do Recife. Aqui estão descritas as condições climáticas e oceanográficas da região, os resultados e discussão dos parâmetros avaliados nas 18 amostras coletadas ao longo da plataforma interna, e as conclusões obtidas.

### 7.1. AREA DE ESTUDO

Porto do Recife está localizado na região metropolitana (Recife, Pernambuco) nas margens das desembocaduras dos rios Capibaribe e Beberibe ( $8^{\circ}03'22''$  S e  $34^{\circ}51'57''$  W). De acordo com os processos de sedimentação do Porto do Recife, pode-se distinguir três zonas, uma composta por sedimentos de areia grosseira (Zona do Pina), outra composta por lama fina (Zona do Porto) e a terceira que é a zona de transição ou central (OLIVEIRA et al., 2014). Na plataforma adjacente os sedimentos são arenosos, ocorrendo também enclaves de lamas entre os bancos de arenitos (OTTMANN & COUTINHO, 1963; MABESOONE & COUTINHO, 1970 *apud* NERY et al., 2008).

Os pontos de coleta estão inseridos entre as latitudes  $8^{\circ}1'10''$ S a  $8^{\circ}5'4''$ S e longitudes  $34^{\circ}47'3''$ W a  $34^{\circ}51'37''$ W, como ilustrado na figura 7.1.



**Figura 7.1** – Pontos de coleta na plataforma continental adjacente ao Porto do Recife.

## 7.2. CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS DA ÁREA

### 7.2.1. Clima

De acordo com a classificação de Köppen área de estudo possui clima do tipo As', denominado tropical quente e úmido, com duas estações distintas, sendo uma seca (presente nos meses de outubro à dezembro) e outra chuvosa (nos meses de maio à julho). A temperatura média anual é de 25,2°C, com uma média pluviométrica acima de 2.200 mm, nas áreas litorâneas, decrescendo à medida que se afastam do litoral (PCR, 2000; CPRH, 2003).

### 7.2.2. Vegetação

A vegetação da região e estudo é classificada como formações litorâneas, a qual engloba a restinga, manguezais, formações de praia e os campos de várzea (MANSO et al., 2006). A vegetação de restinga é pouco densa e com árvores de troncos finos, associada aos terraços arenosos, principalmente os pleistocênicos. As áreas de influencia de maré, como o sistema estuarino do Capibaribe – que aporta na região – é ocupado pela vegetação mangue, com ênfase para as *Rhizophorae mangle*, as quais as raízes além de servirem de abrigo para fauna local, estabilizam o substrato. O litoral arenoso é composto por vegetação herbácea e pouco densa, os campos de várzea estão localizados nas regiões alagadas do longo dos cursos hídricos (MANSO et al., 2006)

A plataforma continental de Pernambuco tem como característica uma ativa produção carbonática orgânica que se traduz pelo desenvolvimento de fundos de algas calcárias, onde as principais componentes desse fundo pertencem à família *Coralinaceae*, subfamília *Melobesiae*, com uma ou mais espécies do gênero *Lithothamnium*, e ao lado destas espécies faz-se necessário destacar a presença das algas verdes calcificadas, representadas pelo gênero *Halimeda*, *Udotea* e *Penicillius*, que também atuam na composição desse fundo sedimentar (COUTINHO,1976).

No sistema estuarino adjacente faz-se necessário destacar a produção primária, visto que diversos estudos sobre a produção primária evidenciam que a região é eutrofizada em virtude das influências antrópicas, por conta do índice de poluição atribuído aos efluentes domésticos, que emitem uma grande carga de nutrientes e eutrofização, diminuindo o teor de oxigênio dissolvido na água (OLIVEIRA, 2014; TRAVASSOS, 1991; TRAVASSOS et al., 1991; FEITOSA et al., 1999; NASCIMENTO et al., 2003; PASSAVANTE, 2003; ANJOS, 2007; SANTOS et al., 2009; NORIEGA, 2010; SANTIAGO, 2010).

### 7.2.3. Hidrografia

As feições hidrográficas mais influentes na plataforma continental adjacente ao Porto do Recife são os sistemas estuarinos do rio Capibaribe e da Bacia do Pina, e o rio Beberibe (OLIVEIRA, 2014; MARTINS, 2016). O estuário do rio Capibaribe possui extensão de mais de 15 km, onde sua maior porção percorre as áreas urbanas de Recife, onde suas águas possibilitam múltiplos usos à população, desde abastecimento público e pesca a recepção de efluentes (OLIVEIRA, 2014).

A Bacia do Pina está situada na porção interna ao Porto do Recife, recebendo o desague dos rios Capibaribe, Tejipió/Jiquiá, Jordão e Pina, caracterizando-se assim, como um sistema estuarino (FEITOSA, 1999; OLIVEIRA, 2014). A região encontra-se protegida por meio de um dique artificial que foi construído sobre arenitos naturais, com 3,7km de comprimento e um quebra-mar mais externo, localizado na plataforma interna adjacente, com 1,3km de comprimento, conhecido como banco inglês (MARTINS, 2016).

### 7.2.4. Características oceanográficas

De acordo com Manso et al. (2006), as marés para o litoral sul do Estado de Pernambuco são monitoradas através de poucas estações maregráficas, dentre uma delas o Porto do Recife. De acordo com as medições realizadas pela DHN, no período de março à abril de 1961, classifica como sendo mesomaré semidiurna, com amplitude média 2,0 m para sizígia e 0,7 m de quadratura (MANSO et al., 2006).

Os ventos apresentam um padrão sazonal, com ventos dominantes de E-SE, com velocidades médias entre 3 e 5 m/s, onde os ventos alísios e as brisas marinas são os fenômenos mais atuantes em virtude das condições climáticas da costa de Pernambuco (MANSO et al., 2006). Os ventos mais intensos (ventos de SE) ocorrem durante o período mais úmido – principalmente entre julho e setembro – e os ventos moderados e mais fracos (ventos de NE) ocorrem na estação seca – principalmente entre novembro a janeiro (PEREIRA et al., 2003).

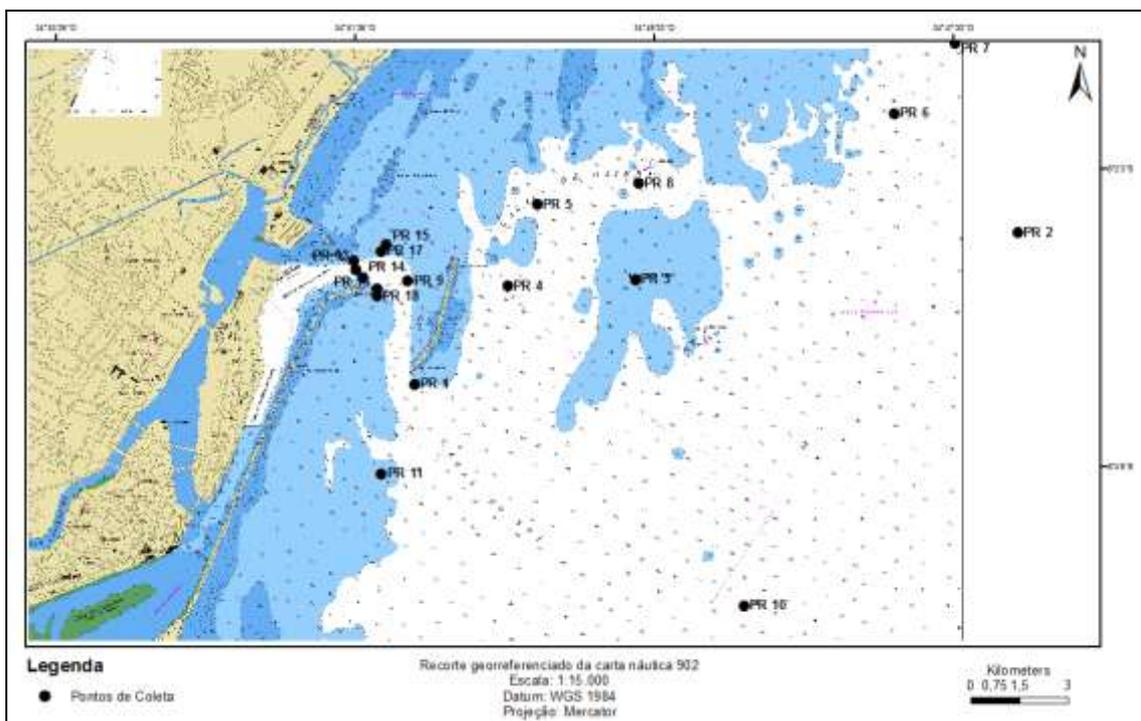
Com relação às alturas das ondas, no outono e primavera, há uma predominância de valores em torno de 1,0 m; oscilando entre 0,85 e 1,0 m durante o verão e em torno de 1,25 m durante o inverno, e os períodos das ondas ficam em torno de 6,5 s durante o outono, inverno e primavera, e 5,0 s no verão (MANSO et al., 2006).

As características físicas e químicas da água, assim como os padrões de temperatura e salinidade apresentam uma sazonalidade em virtude das flutuações dos aportes dos rios

costeiros. As águas que recobrem a plataforma continental em estudo apresentam uma estabilidade térmica, com temperaturas em média de 27,8°C (MANSO et al., 1992; MUEHE, 2006). A salinidade, assim como a temperatura possui uma variação sazonal, onde durante o período seco foram observados valores máximos de 37,16‰ e no período chuvoso valores mínimos de 28,88‰, com flutuações em relação à costa em virtude dos aportes dos rios (MANSO et al., 1992).

A circulação de fundo não apresenta um padrão direcional bem definido, sendo influenciada pelas descargas fluviais com complexo estuarino adjacente, feições geomorfológicas submersas, como os arenitos locais. Durante a baixamar o padrão irregular apresenta uma predominância no sentido N-S na região mais próxima ao continente e, sentido predominante W-E nas áreas mais externas, devido à influência do porto e do quebra mar (Projeto MAI, 2009). A região apresenta teores muito baixos de material em suspensão (<0,5 mg/l), mesmo próximos a costa (MANSO et al, 2006). Pequenas quantidades e grãos minerais alcançam o mar e, mais da metade do material suspenso na região próxima à costa é composta por material orgânico, ao qual vai decrescendo à medida que se direciona a plataforma (BARRETO & SUMMERHAYES, 1975; MANSO et al., 2006) . o maior aporte de material ocorre no período chuvoso, onde medições realizadas por Coutinho (1994) para a plataforma interna adjacente a cidade do Recife foram observados valores até 4,5mg/l.

A profundidade local (Fig. 7.2) varia entre 8 e 18m (ANDRADE et al., 2013).



**Figura 7.2** – Recorte da carta náutica 902 abrangendo a plataforma interna adjacente à costa do Porto do Recife com a variação de profundidade e estruturas do porto.

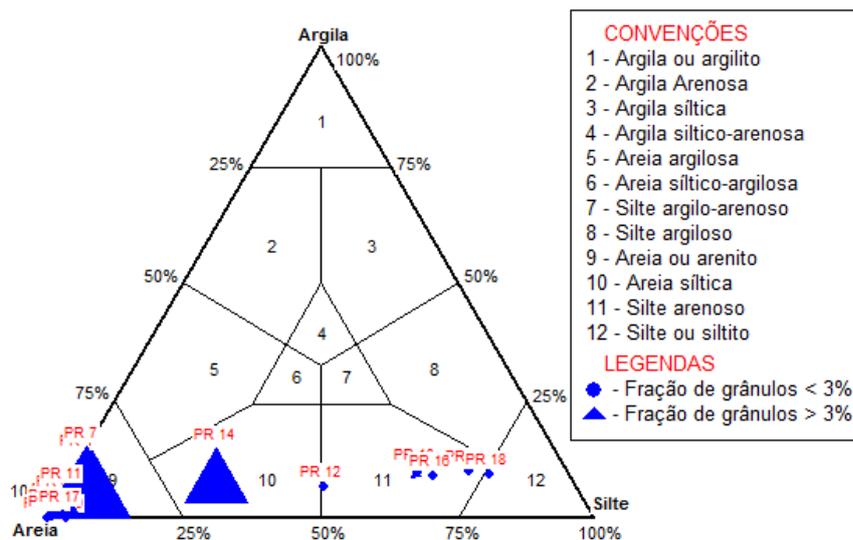
## 7.3. RESULTADOS

### 7.3.1. Análise granulométrica

Na Tabela 7.1 estão às identificações dos 18 pontos de coleta, as coordenadas geográficas, profundidade e os resultados obtidos através das análises sedimentológicas (frações granulométricas, parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957) e o diagrama de facies texturais de Shepard (1954)).

#### 7.3.1.1. Classificação de facies texturais de Shepard (1954)

De acordo com o diagrama triangular de Shepard (1954) (Fig. 7.3) temos quatro facies sedimentares: areia, areia siltica, silte arenoso e silte. A facies areia abrange 66,7% das amostras, as facies areia siltica e silte englobam 5,6% das amostras cada e a facies silte arenoso corresponde a 22,2% das amostras.



**Figura 7.3** – Diagrama triangular de Shepard (1954) para as amostras de sedimento coletadas ao longo da plataforma continental interna adjacente ao Porto do Recife.

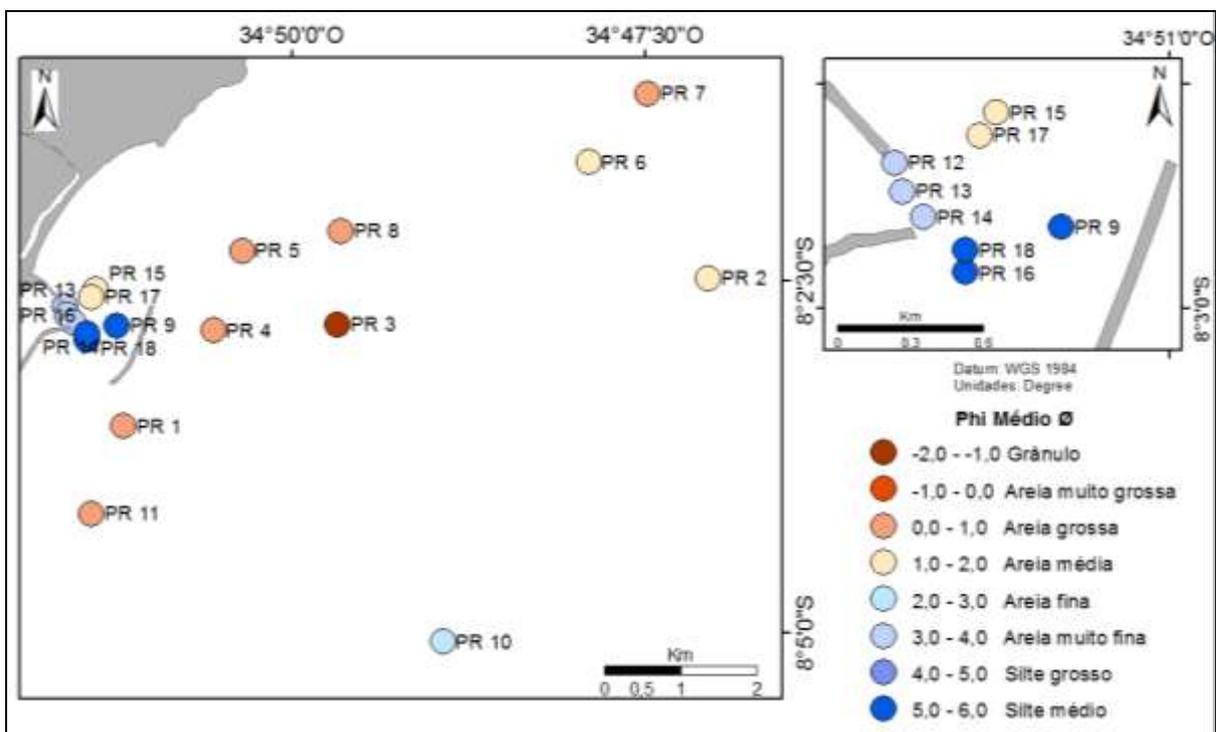
#### 7.3.1.2. Diâmetro médio (Folk & Ward, 1957)

De acordo com a classificação do diâmetro médio (Folk & Ward, 1957) (Fig. 7.4) tem-se representadas as seguintes classes: silte médio, areia muito fina, areia fina, areia média, areia grossa e grânulo. A distribuição apresentou uma predominância de areia grossa 33,3% das amostras, seguida fração de areia média com 22,2% das amostras, areia muito fina e silte médio com 16,7% das amostras cada, 16,7%, e areia fina e grânulo com 5,6% das amostras cada.

**Tabela 7.1** – Identificação (ID) da amostra, latitude, longitude, profundidade (m) e dados sedimentológicos (parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957), composição sedimentar e os dados texturais de Shepard (1954)).

ID amostra	Latitude	Longitude	Prof. (m)	(Folk & Ward, 1957)		% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila	Shepard (1954)
				Phi Médio	G. Seleção					
PR 1	-8,058883	-34,853250	13,4	0,66	1,28	14,72	85,28	0,00	0,00	Areia
PR 2	-8,041417	-34,784267	21,8	1,20	1,51	15,26	84,47	0,27	0,00	Areia
PR 3	-8,046850	-34,827967	11,1	-1,21	0,42	84,65	15,28	0,07	0,00	Areia
PR 4	-8,047583	-34,842617	11,6	0,37	1,236	13,3	86,66	0,03	0,00	Areia
PR 5	-8,038167	-34,839217	12,0	0,54	0,67	0,10	99,87	0,03	0,00	Areia
PR 6	-8,027667	-34,798383	20,0	1,23	1,18	4,66	95,24	0,10	0,00	Areia
PR 7	-8,019550	-34,791450	19,5	0,78	1,40	14,95	84,98	0,07	0,00	Areia
PR 8	-8,035767	-34,827617	13,5	0,45	0,94	1,87	98,1	0,03	0,00	Areia
PR 9	-8,047000	-34,853983	10,5	5,39	1,71	0,30	17,95	72,06	9,89	Silte arenoso
PR 10	-8,084383	-34,815567	14,0	2,94	0,71	0,00	96,56	3,44	0,00	Areia
PR 11	-8,069200	-34,857000	11,4	0,64	1,10	6,24	93,72	0,03	0,00	Areia
PR 12	-8,044600	-34,860183	8,1	3,93	2,09	0,81	45,80	47,71	5,69	Silte arenoso
PR 13	-8,045667	-34,859900	9,2	3,38	2,73	7,15	44,69	43,34	4,83	Silte arenoso
PR 14	-8,046633	-34,859117	12,5	3,97	1,62	3,62	50,78	37,40	8,20	Areia siltica
PR 15	-8,042733	-34,856417	8,1	1,80	1,02	0,65	98,7	0,65	0,0	Areia
PR 16	-8,048683	-34,857567	9,3	5,48	1,82	0,32	24,84	66,11	8,73	Silte arenoso
PR 17	-8,043583	-34,857017	7,9	1,93	1,22	1,40	96,15	2,45	0,0	Areia
PR 18	-8,047867	-34,857550	9,1	5,57	1,59	0,40	14,48	76,21	8,91	Silte

Os teores de silte e areia muito fina estão distribuídos nas amostras localizadas na região da entrada do Porto do Recife e próximas ao quebra-mar. A fração de areia fina está disposta na estação PR10, que está localizada mais ao sul e relativamente longitudinalmente afastada da costa. As granulações de areia média estão dispostas nas amostras próximas a entrada do Porto do Recife que, encontram-se mais ao norte (PR15 e PR17), na mesma latitude, mas longitudinalmente afastada da costa, estão as demais amostras com areia média. As granulações de areia grossa e grânulos estão dispostas, predominantemente, posterior ao quebra-mar, no sentido costa-oceano e na amostra PR7 que se encontra mais ao norte.

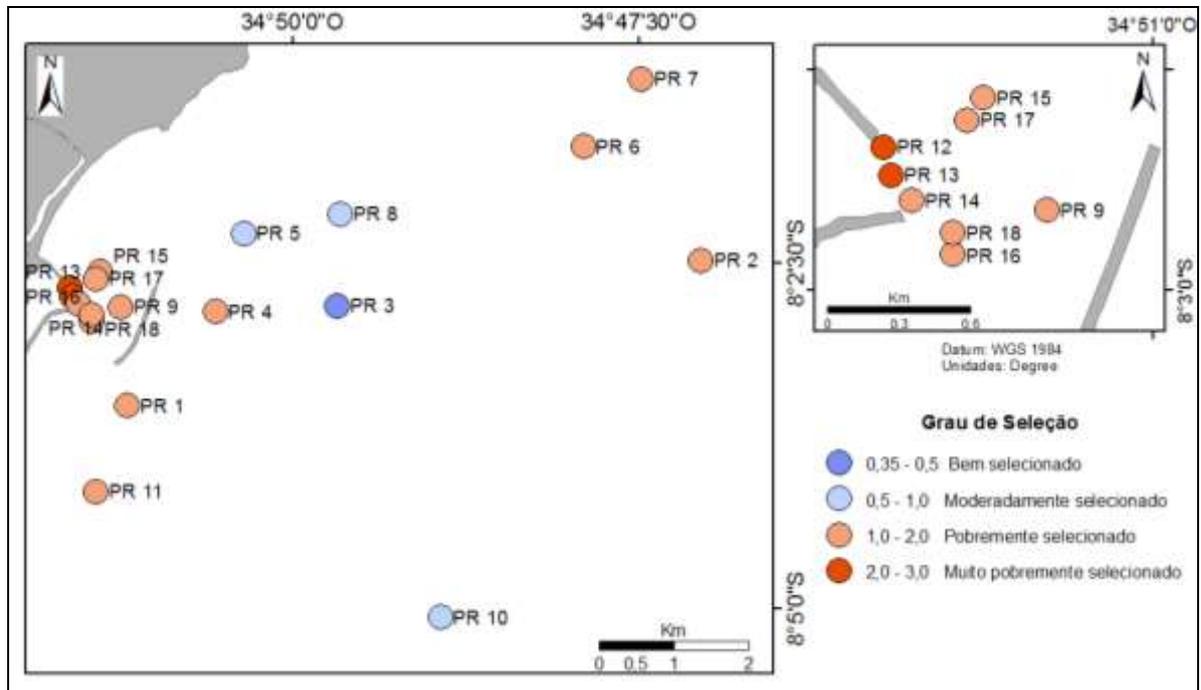


**Figura 7.4** – Distribuição do diâmetro médio de acordo com a classificação de Folk & Ward (1957) para as amostras de sedimento coletadas ao longo da plataforma continental interna adjacente ao Porto do Recife.

#### 7.3.1.3. Grau de seleção de Folk & Ward (1957)

O grau de seleção das amostras (Fig.7.5) variou de bem selecionado a muito pobremente selecionado. O predomínio foi de pobremente selecionado, correspondendo a 66,7% das amostras, seguido de moderadamente selecionado (com 16,7% das amostras), muito pobremente selecionado (11,1% das amostras) e bem selecionado (com 5,6% das amostras). As amostras pobremente selecionadas estão localizadas na região da entrada do Porto do Recife (PR12 e PR13). A amostra bem selecionada (PR3) está localizada posteriormente ao quebra-mar, no sentido costa-oceano, com as amostras moderadamente

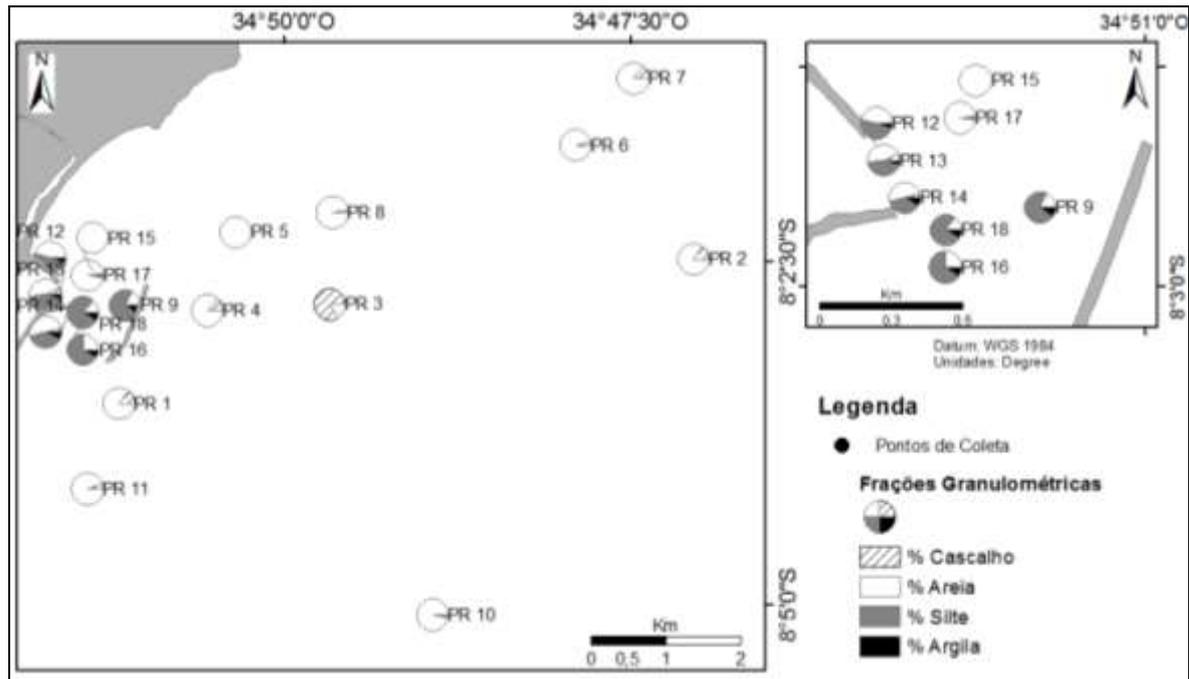
selecionadas em torno dela. As amostras pobremente selecionadas predominam a plataforma e estão desde a entrada do porto até as estações mais afastadas da costa.



**Figura 7.5** – Distribuição do grau de seleção de acordo com a classificação de Folk & Ward (1957) para as amostras de sedimento coletadas ao longo da plataforma continental interna adjacente ao Porto do Recife.

#### 7.3.1.4. Frações granulométricas

Nas amostras distribuídas ao longo da plataforma adjacente ao Porto do Recife, houve o predomínio da fração areia sobre as demais frações em 72,2% das amostras. A fração que apresentou uma dominância secundária foi a fração silte, com 22,2% das amostras. A fração cascalho foi predominante em apenas 5,6% das amostras de toda a malha. Em seis estações (correspondente a 33,3% das amostras) ocorreu a presença de argila, mas em nenhuma delas houve predomínio desta fração. A composição das frações granulométricas nos pontos de coleta pode ser observada na figura 7.6. A fração areia encontra-se presente em todas as amostras. As frações silte e argilas encontram-se apenas nas estações presentes na região que vai desde a entrada do Porto do Recife até o quebra-mar. As frações de cascalho estão dispostas nas estações mais afastadas da costa, posterior ao quebra mar (sentido costa-oceano).



**Figura 7. 6** – Composição das frações granulométricas das amostras de sedimento coletadas ao longo da plataforma continental interna adjacente ao Porto do Recife.

### 7.3.2. Análise da fração arenosa e morfoscopia

As amostras selecionadas para realizar a morfoscopia e análise da fração arenosa assim como seus resultados estão descritos na tabela 7.2 e discriminados no APÊNDICE D. Para as análises da fração arenosa foram separados 100 grão da composição total da amostra, e posteriormente foram separados 100 grãos siliciclásticos para a avaliação geral do grau de esfericidade e arredondamento.

**Tabela 7.2** – Identificação (ID) da amostra, coordenadas, índice de Biogênicos Marinhos (BM), esfericidade e arredondamento.

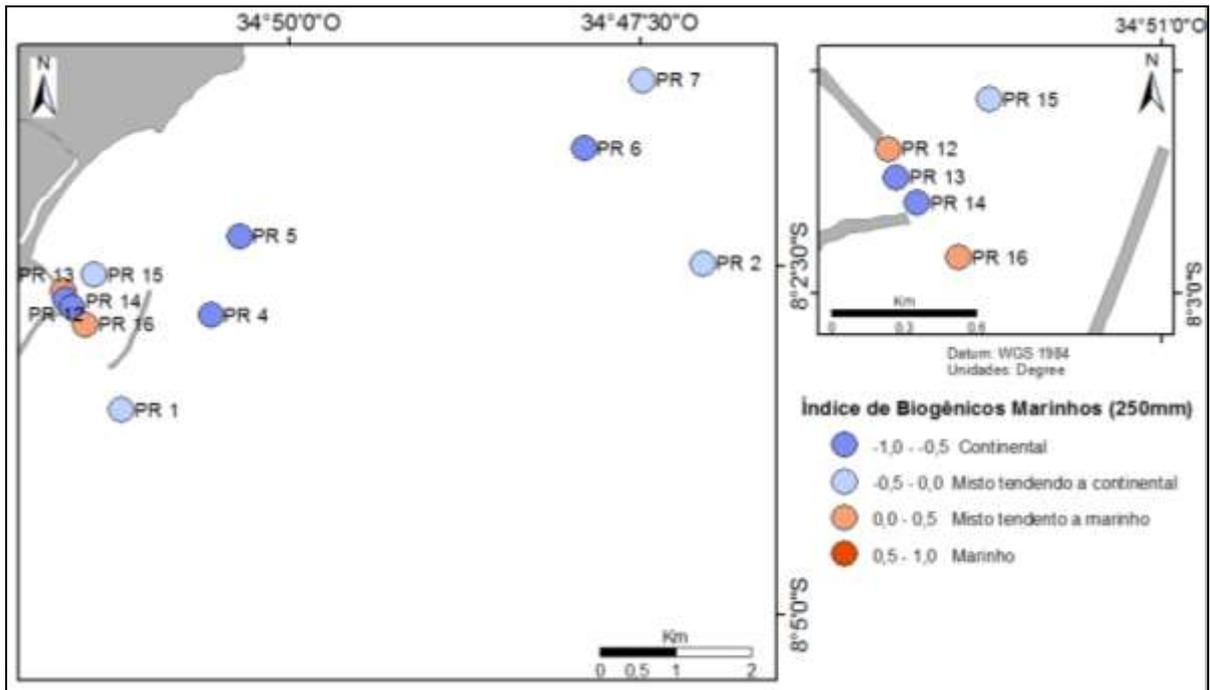
ID amostra	Latitude	Longitude	Índice de BM		Morfoscopia	
			Fração 250	Fração 500	Esfericidade	Arredondamento
PR 1	-8,058883	-34,853250	-0,026	-0,093	Média	Subarredondada
PR 2	-8,041417	-34,784267	-0,439	-0,438	Baixa	Angulosa
PR 4	-8,047583	-34,842617	-0,600	-0,504	Boa	Subangulosa
PR 5	-8,038167	-34,839217	-0,667	-0,818	Baixa	Angulosa
PR 6	-8,027667	-34,798383	-0,681	-0,786	Baixa	Subangulosa
PR 7	-8,019550	-34,791450	-0,058	-0,026	Moderada	Subangulosa
PR 12	-8,044600	-34,860183	0,333	-0,899	Baixa	Subarredondada
PR 13	-8,045667	-34,859900	-0,852	-0,739	Baixa	Subangulosa
PR 14	-8,046633	-34,859117	-0,527	-0,865	Média	Subarredondada
PR 15	-8,042733	-34,856417	-0,342	-0,198	Boa	Arredondada
PR 16	-8,048683	-34,857567	0,074	-0,222	Boa	Arredondada

As amostras apresentaram predomínio de baixa esfericidade (61% das amostras), seguida de boa esfericidade (27,3% das amostras), média esfericidade (18,2% das amostras) e esfericidade moderada (9% das amostras). As amostras adjacentes ao Porto do Recife apresentam um grau de arredondamento melhor em relação às amostras da plataforma adjacente à Itamaracá, com predomínio de amostras subangulosas em 36,4% das amostras, seguidas por subarredondadas com 27,3% das amostras, e as arredondadas e angulosas com 18,2% das amostras para cada.

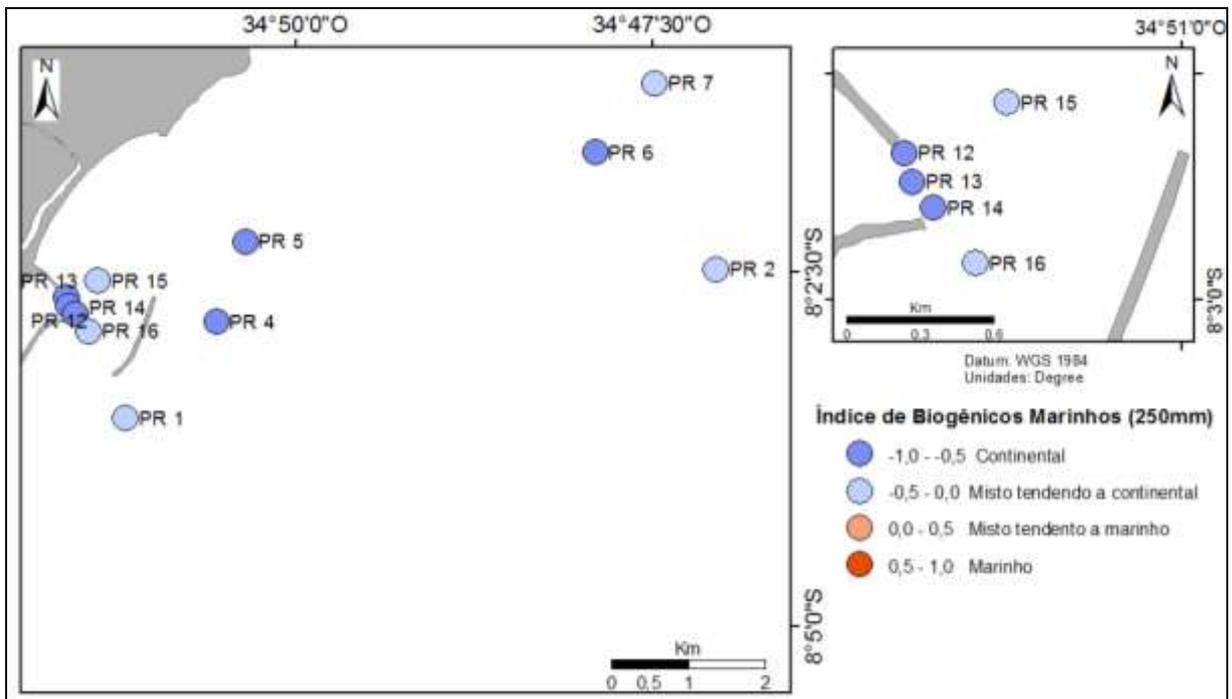
Na fração de 0,250 mm (Fig. 7.7), das 11 amostras analisadas, apenas 18,2% possuem um índice biogênico maior que zero, ou seja, nessa fração dessas amostras foi observada uma maior incidência de microrganismos (foraminíferos, tubos de verme), assim como os fragmentos de algas calcárias, coral e carapaças de bivalves. A maior composição do material das amostras nesta fração é quartzo, quartzo limonitizado e fragmentos de rochas.

Já na fração de 0,500mm (Fig. 7.8), todas as amostras possuem um índice menor que zero, ou seja, são formadas apenas por quartzo, quartzo limonitizado e fragmentos de rochas.

Os resultados das frações analisadas (0,500 mm (1  $\phi$ ) e 0,250 mm (2  $\phi$ )) foram interpretados de modo diferenciado, pois segundo Pilkey et al. (1967, apud MAHIQUES et al., 1998), fragmentos bioclásticos são mais comumente encontrados nas frações 0,500 mm (1  $\phi$ ) do que nas frações 0,250 mm (2  $\phi$ ), sendo que tal afirmativa se opõe ao resultado encontrado no presente trabalho, onde a fração de 0,250 mm possuiu um quantitativo de biogênicos maior (18,2% amostras mais em relação a fração de 0,500 mm). Resultado semelhante foi encontrado por Santos (2016) no estuário do Rio Formoso e nas amostras da plataforma adjacente à Itamaracá.



**Figura 7.7** – Distribuição do Índice de Biogênicos Marinhos de acordo com a classificação de Mahiques et al. (1998) na fração de 250mm nas amostras de sedimento coletadas ao longo da plataforma interna adjacente ao Porto do Recife.



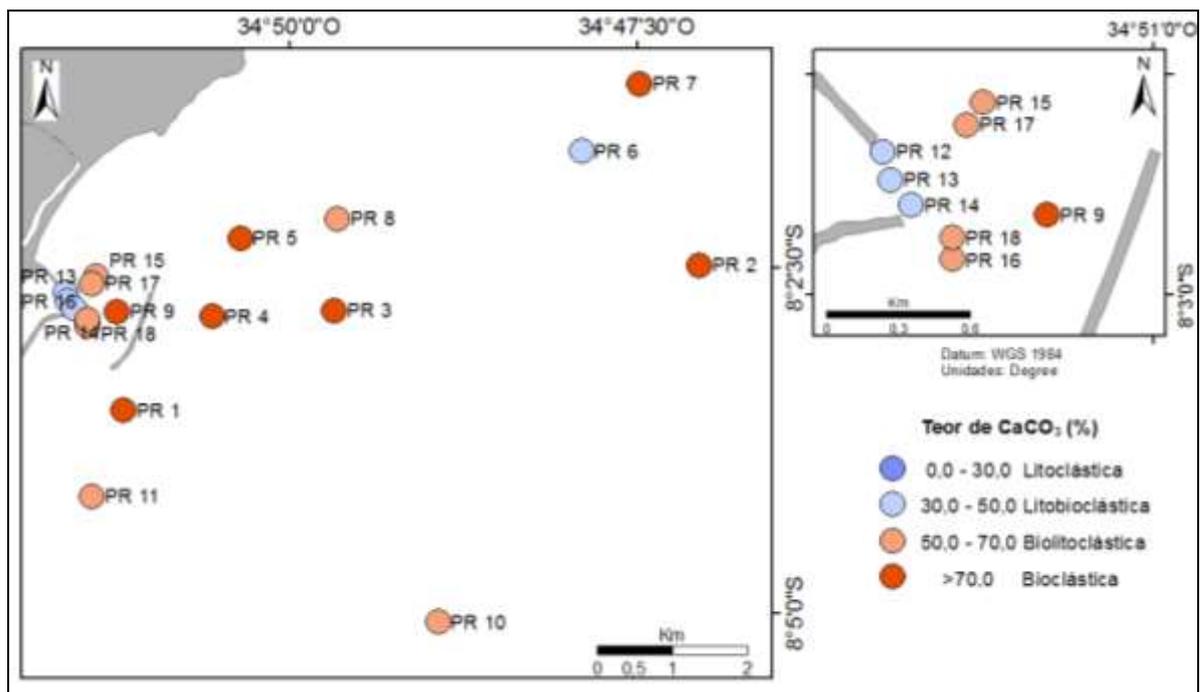
**Figura 7.8** – Distribuição do Índice de Biogênicos Marinhos de acordo com a classificação de Mahiques et al. (1998) na fração de 500mm, nas amostras de sedimento coletadas ao longo da plataforma interna adjacente ao Porto do Recife.

### 7.3.3. Análises Geoquímicas

Os dados das análises geoquímicas de carbonato de cálcio, matéria orgânica total, composições elementares de C, N e P, razões isotópicas  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ , e as razões elementares C/N e C/P das 18 amostras coletadas na plataforma adjacente ao Porto de Recife, estão dispostos na tabela 7.3.

#### 7.3.3.1. Análise do carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e matéria orgânica total (MOT)

Os teores de carbonato de cálcio variaram de 37,35% até 93,10%. A distribuição desses dados está representada na figura 7.9. Com base nos teores de carbonato encontrados e a classificação de Larssoneur et al. (1982), tem-se que 22,2% das amostras coletadas são litobioclásticas (teor de carbonato entre 30-50%), 38,9% das amostras são biolitoclásticas (teor de carbonato entre 50-70%) e 38,9% das amostras foram classificadas como bioclástica (teor de carbonato > 70%). Os valores mais baixos de carbonato estão concentrados nas amostras da entrada do Porto do Recife e na estação PR6 (que se encontra afastada da costa). Na região entre a entrada do Porto do Recife e o quebra-mar predominam sedimentos biolitoclásticos, contendo apenas uma amostra bioclástica. Após o quebra-mar o teor de sedimentos bioclásticos apresenta uma dispersão que inicia nas amostras posteriores e se direciona a parte mais afastada da costa tendendo ao norte a medida que se distancia longitudinalmente.

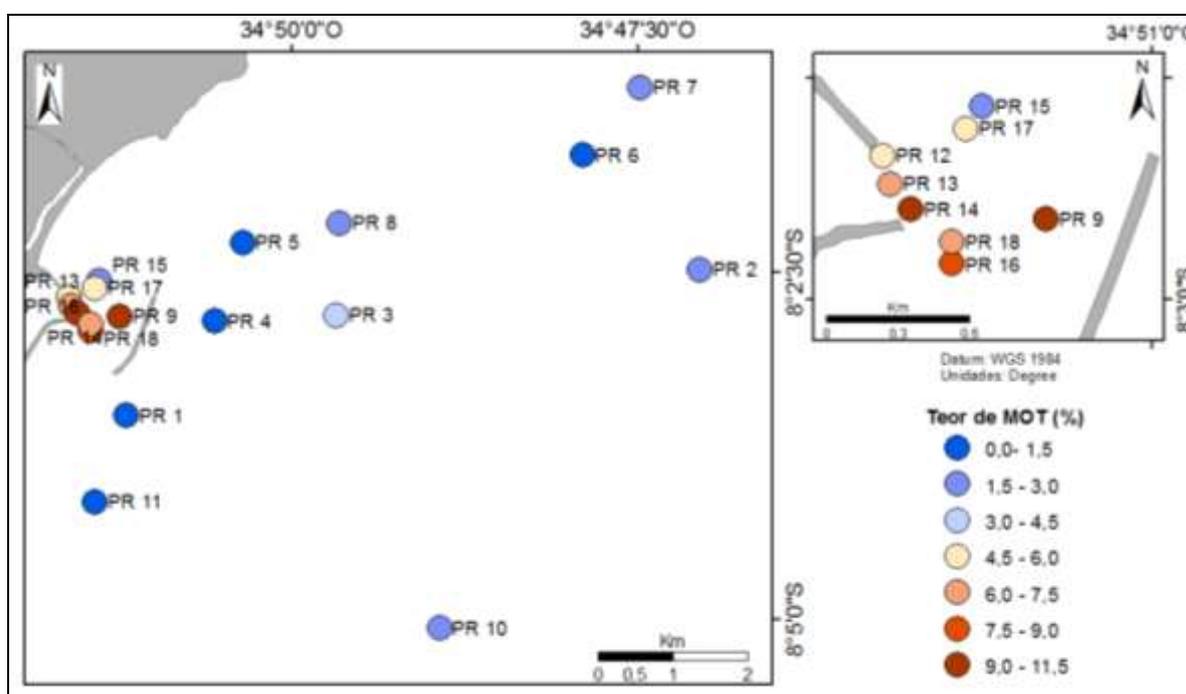


**Figura 7.9** – Distribuição do teor de carbonato de cálcio de acordo com a classificação de Larssoneur et al. (1982) nas amostras de sedimento coletadas ao longo da plataforma interna adjacente ao Porto do Recife.

**Tabela 7.3** - Identificação (ID) da amostra, Latitude, Longitude e dados geoquímicos (carbonato, matéria orgânica total, composições elementares, razões isotópicas e as Razões C/N e C/P).

ID amostra	Latitude	Longitude	Teor de CaCO <sub>3</sub> (%)	Teor de MOT (%)	% N Total	% C Orgânico	P Total (μmol/g)	P Orgânico (μmol/g)	P Inorgânico (μmol/g)	Razão C/N	Razão C/P	δ <sup>15</sup> N	δ <sup>13</sup> C
PR 1	-8,058883	-34,853250	90,00	1,27	-	0,26	0,08	0,05	0,03	-	5,39	-	-23,51
PR 2	-8,041417	-34,784267	83,10	2,43	-	0,33	0,08	0,06	0,02	-	6,06	-	-23,27
PR 3	-8,046850	-34,827967	93,10	3,10	-	0,40	0,09	0,06	0,02	-	6,45	-	-22,63
PR 4	-8,047583	-34,842617	86,73	1,43	-	0,21	0,07	0,05	0,02	-	4,27	-	-24,30
PR 5	-8,038167	-34,839217	82,37	1,10	-	0,12	0,05	0,04	0,01	-	3,01	-	-24,04
PR 6	-8,027667	-34,798383	42,33	1,07	-	0,25	0,06	0,05	0,02	-	5,32	-	-25,07
PR 7	-8,019550	-34,791450	89,43	2,77	-	0,33	0,10	0,06	0,03	-	5,13	-	-22,25
PR 8	-8,035767	-34,827617	53,33	1,63	-	0,20	0,06	0,04	0,02	-	4,34	-	-26,24
PR 9	-8,047000	-34,853983	80,33	10,43	0,13	3,66	0,13	0,09	0,04	28,16	41,64	2,29	-23,59
PR 10	-8,084383	-34,815567	61,5	2,47	-	0,13	0,11	0,07	0,04	-	1,82	-	-21,77
PR 11	-8,069200	-34,857000	60,3	1,33	-	0,05	0,07	0,05	0,02	-	1,05	-	-23,74
PR 12	-8,044600	-34,860183	43,7	5,85	0,20	2,90	0,13	0,09	0,04	14,22	33,49	5,89	-22,53
PR 13	-8,045667	-34,859900	37,6	6,48	0,34	8,11	0,08	0,06	0,03	23,87	142,57	5,60	-21,83
PR 14	-8,046633	-34,859117	37,35	9,15	0,14	3,66	0,14	0,09	0,04	26,99	40,60	6,15	-23,65
PR 15	-8,042733	-34,856417	61,2	2,17	0,12	3,32	0,10	0,06	0,04	27,13	53,10	5,90	-22,50
PR 16	-8,048683	-34,857567	63,9	8,87	0,27	6,88	0,12	0,08	0,04	25,09	86,03	6,61	-21,39
PR 17	-8,043583	-34,857017	58,2	5,00	-	0,62	0,09	0,06	0,03	-	10,14	-	-20,70
PR 18	-8,047867	-34,857550	56,1	6,83	0,30	6,74	0,09	0,05	0,04	22,80	135,70	6,19	-21,57

Os teores de matéria orgânica total (MOT) para a plataforma adjacente ao Porto do Recife apresentou um valor médio de 4,08%, no qual o valor mais baixo foi 1,07% e o mais alto foi 10,43%. Com base no valor médio encontrado (4,08%), nas 18 amostras analisadas 61,1% estão abaixo da média encontrada ( $MOT \leq 4,08\%$ ) e as demais 8,9% das amostras encontram-se acima da média ( $MOT \geq 4,08\%$ ). A distribuição dos teores de matéria orgânica total (Fig. 7.10) ocorreu de forma oposta aos teores de carbonato de cálcio obtidos para a mesma região, ressalvo apenas pela estação PR 9 onde ambos os teores são elevados em relação aos demais valores obtidos. Os valores acima da média estão concentrados na região da entrada do porto até ao quebra-mar. A estação PR 15 é a única que se encontra próxima à costa e possui um valor abaixo da média. Os teores de MOT apresentam uma gradação negativa à medida que as estações se distanciam longitudinalmente da costa.

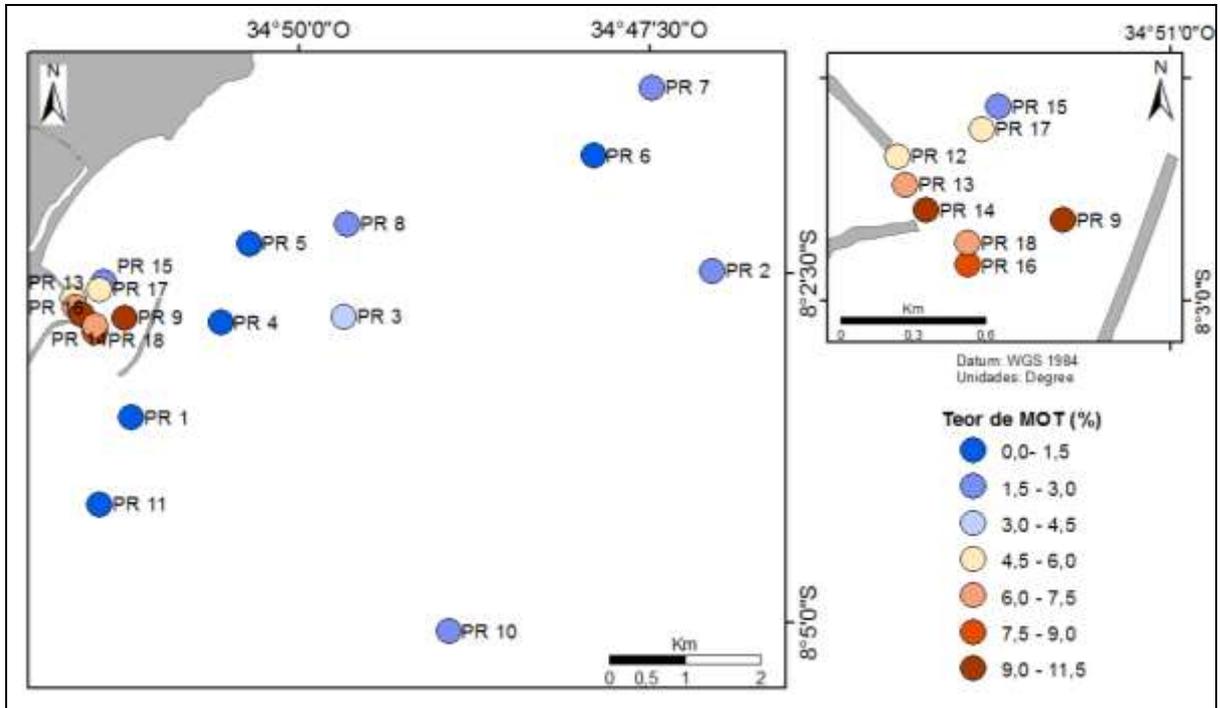


**Figura 7.10** – Distribuição dos teores de matéria orgânica total nas amostras de sedimento coletadas ao longo da plataforma interna adjacente ao Porto do Recife.

### 7.3.3.2. Carbono orgânico total (COT) e Nitrogênio total (NT)

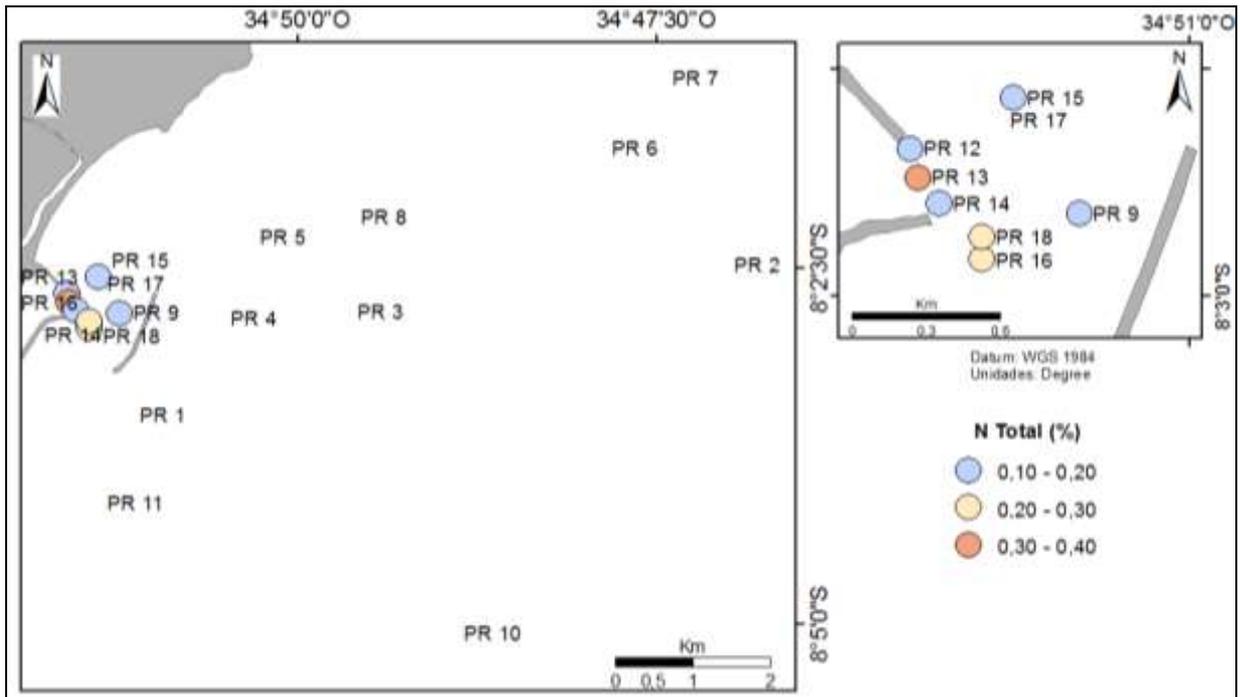
Para o teor de carbono orgânico total (COT), houve uma variação entre 0,05% até 8,11% com um valor médio de 2,02%. As distribuições dos teores de COT assemelharam-se em relação aos teores de matéria orgânica total, pois 61,1% das amostras estão com valores abaixo da média ( $COT \leq 2,02\%$ ), e as demais 38,9% das amostras estão acima da média ( $COT \geq 2,02\%$ ). Na figura 7.11, é possível visualizar que os teores mais elevados concentram-se na região correspondente à entrada do Porto do Recife e o quebra-mar. De forma diferenciada ao teor de matéria orgânica total tem-se apenas a amostra PR 9 que

apresentou um teor de carbono orgânico total relativamente baixo para as demais amostras, mesmo apresentando valores de MOT elevado. As estações mais afastadas da costa apresentaram os menores teores de carbono orgânico.



**Figura 7.11** – Distribuição do teor de carbono orgânico total nas amostras de sedimento coletadas ao longo da plataforma interna adjacente ao Porto do Recife.

De toda a malha amostral coletada para o Porto do Recife, só foram obtidos teores de nitrogênio total para 7 amostras apenas (Fig. 7.12). Os valores variaram de 0,13% até 0,34%, e encontram-se todos distribuídos entre a área correspondente à entrada do Porto do Recife e o quebra-mar. Ao comparar a distribuição dos teores de NT com a matéria orgânica, é possível observar que onde houve mais MOT houve detecção de NT. Valor mais alto foi observado na amostra presente na estação PR 13. Mesmo possuindo um valor elevado de MOT a amostra da estação PR 17 não obteve dados de NT.

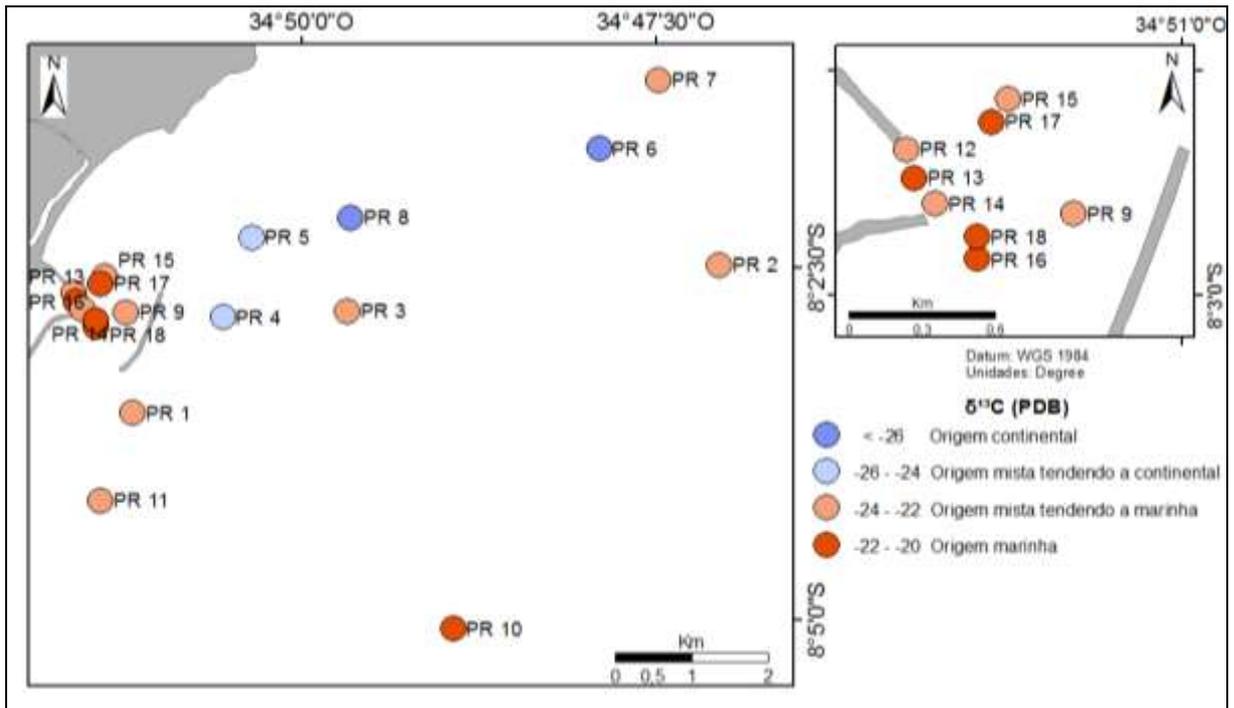


**Figura 7.12** – Distribuição do nitrogênio total nas amostras de sedimento coletadas ao longo da plataforma interna adjacente ao Porto do Recife.

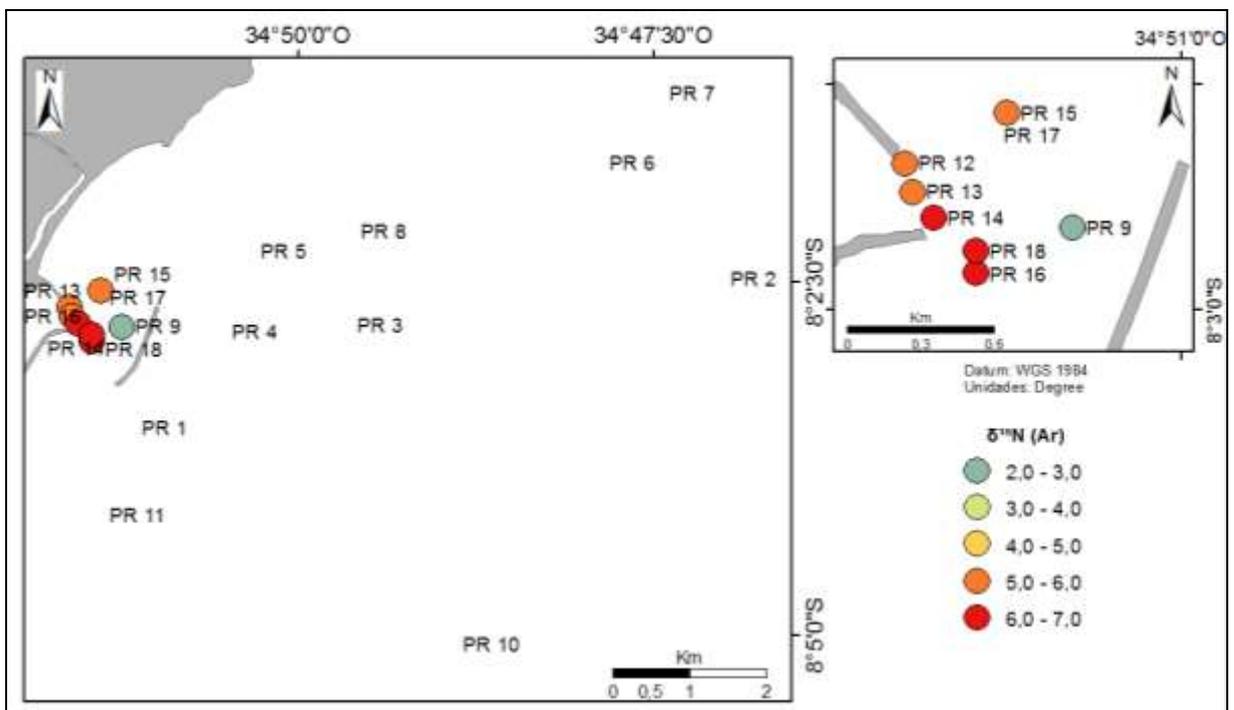
### 7.3.3.3. Razões isotópicas estáveis de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e nitrogênio ( $\delta^{15}\text{N}$ )

Os valores do  $\delta^{13}\text{C}$  variaram de -26,24 ‰PDB até -20,70‰PDB. A distribuição espacial (Fig. 7.13) apresentou um predomínio de material de origem mista tendendo a marinha, que esteve presente desde a região da entrada do Porto do Recife até as amostras mais afastadas da costa. Materiais de origem marinha fora observados em 4 estações presente na região entre da entrada do Porto do Recife e o quebra-mar. Já os valores mais enriquecidos, de origem continental e mista tendendo a continental foram observados nas amostras das estações localizadas mais ao norte e longitudinalmente mais afastadas da costa.

Os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  para as 7 amostras detectadas, variaram de 2,29‰Ar até 6,61‰Ar. A distribuição espacial destes valores (Fig. 7.14) permite observar que nas estações mais próximas a entrada do Porto do Recife possuem valores mais elevados, e à medida que as estações distanciam-se desta região tais teores diminuem.



**Figura 7.13** – Distribuição do  $\delta^{13}\text{C}$  de acordo com a classificação proposta por Bordovskiy (1965), Chester & Riley (1978), Ruttemberg e Goñi (1997), Stein (1991), Meyer (1997), Lamb et al. (2006) para a matéria orgânica sedimentar em ambientes marinhos nas amostras de sedimento coletadas ao longo da plataforma interna adjacente ao Porto do Recife.



**Figura 7.14** – Distribuição do  $\delta^{15}\text{N}$  nas amostras de sedimento coletadas ao longo da plataforma interna adjacente ao Porto do Recife.

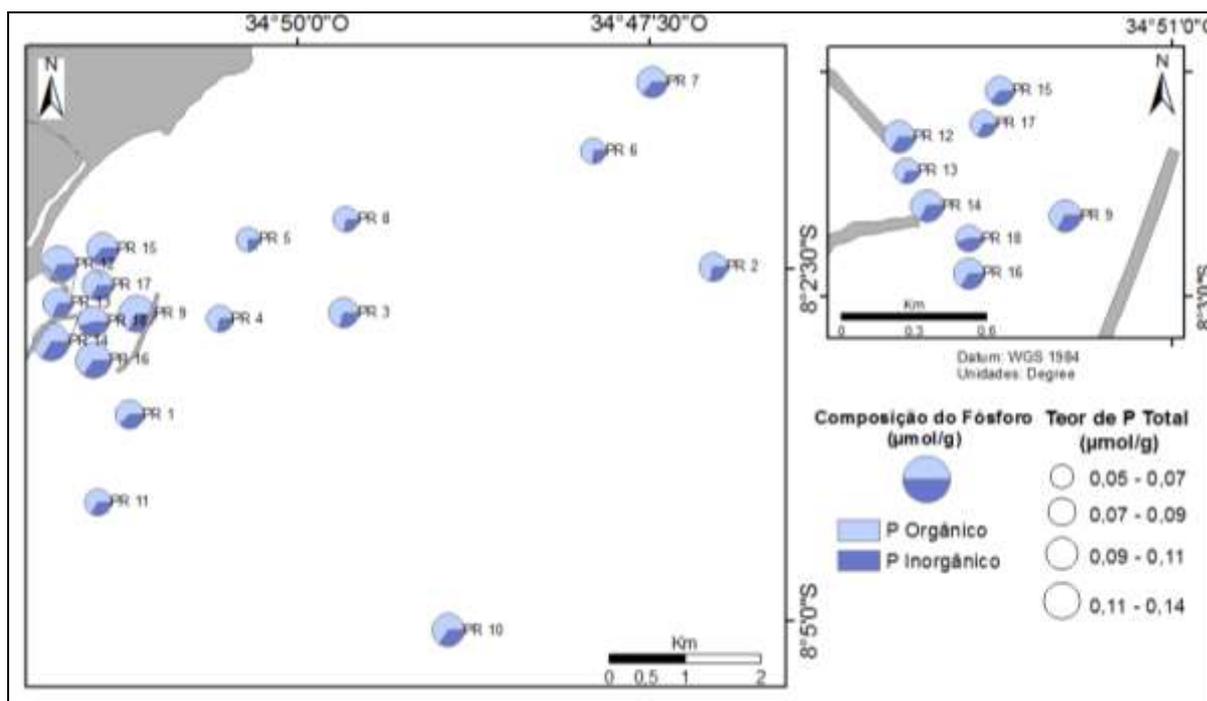
#### 6.5.1.1. Composição das frações de fósforo

Os conteúdos de fósforo total (PT) oscilaram de 0,054 $\mu$ mol/g para 0,135 $\mu$ mol/g, com valor médio de 0,091 $\mu$ mol/g. De todas as amostras analisadas 61,1% apresentam valores abaixo da média obtida, os demais 38,9% estão acima da média encontrada.

Os teores de fósforo orgânico (PO) são os maiores componentes do fósforo total em todas as amostras. Na figura 7.15 é possível ver que os teores de fósforo são compostos em sua maioria por material orgânico, onde os valores variaram de 0,04 $\mu$ mol/g à 0,09 $\mu$ mol/g, com valor médio de 0,06 $\mu$ mol/g. Das 18 amostras em estudo, 55,6% possui um valor abaixo da média e os demais 44,4% das amostras estão acima dessa faixa.

O fósforo inorgânico (PI) foi a fração mais baixa encontrada, entre 0,01 $\mu$ mol/g e 0,04 $\mu$ mol/g, com valor médio de 0,03 $\mu$ mol/g. Ao agruparmos as amostras temos 50,0% abaixo da média e as demais 50% abaixo da média.

Na composição do PT o PO foi a fração dominante em todas as amostras. A maior parte das amostras acima da média está localizada na região entre a entrada do Porto do Recife e o quebra-mar, as estações PR7 e PR10 foram as únicas que estão afastadas da costa, mas que apresentaram valores acima da média encontrada para o fósforo total. Quanto mais longitudinalmente afastada da costa menores foram os teores de fósforo total.

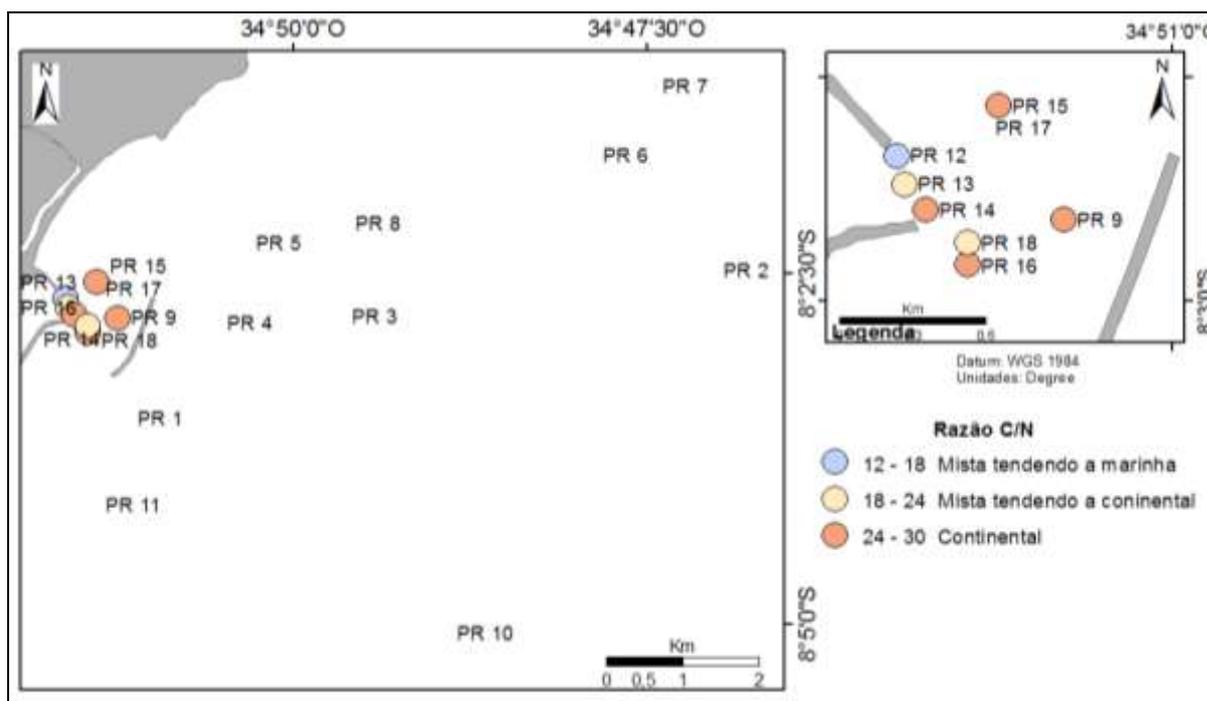


**Figura 7.15** – Composição do P nas amostras de sedimento coletadas ao longo da plataforma interna adjacente ao Porto do Recife.

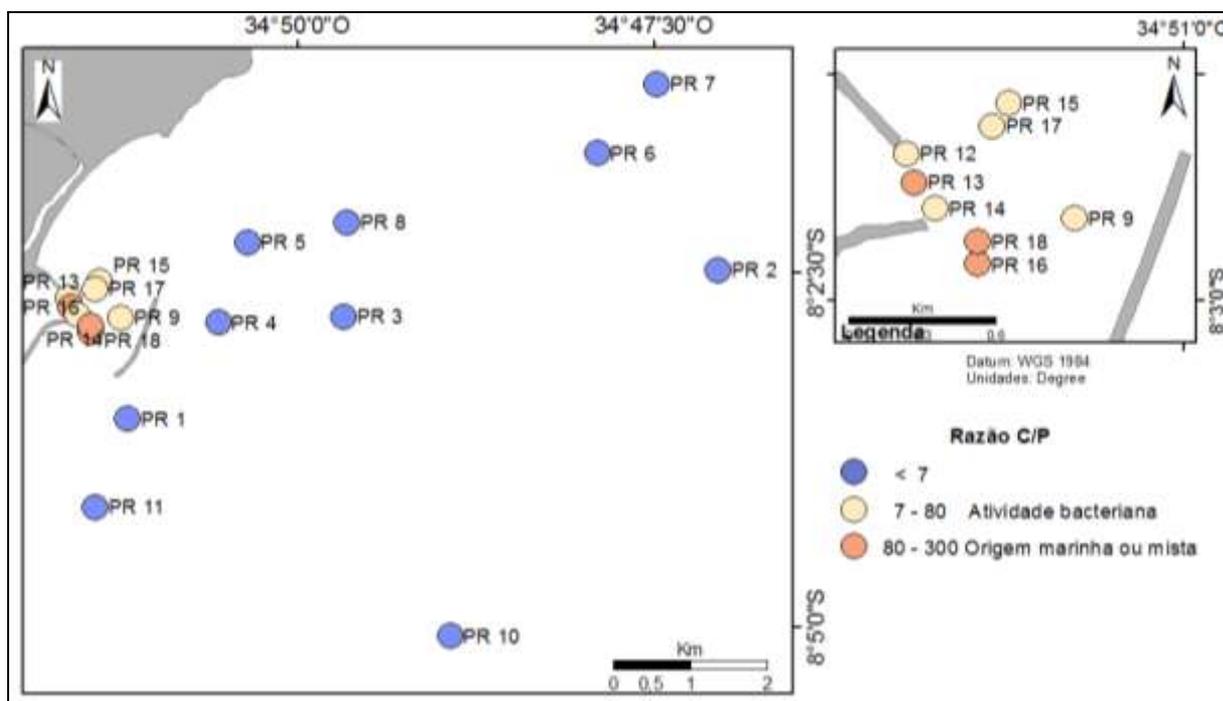
#### 7.3.3.4. Razão C/N e C/P

A razão C/N apresentou uma variação de teores entre 14,22 até 28,16. Com base nos resultados (Fig. 7.16), observa-se que há o predomínio de matéria orgânica de origem continental sobre 57,1% das amostras. Matéria orgânica de origem mista tendendo à continental abrangeu 28,6% das amostras, e os demais 14,3% das amostras foram classificadas como matéria orgânica de origem mista (BORDOVISKIY, 1965; MEYERS, 1997; BARCELLOS, 2005).

A razão C/P apresentou a variação de valores entre 1,05 a 142,57. Assim como a razão C/N, na razão C/P, indicou origens diferenciadas para a matéria orgânica sedimentar local (Fig.7.17). De toda a malha amostral, 55,6% das amostras estão abaixo do valor 7,0 necessário para indicar atividades bacterianas; 27,8% das amostras foram classificadas como oriundas de atividades bacterianas, e 16,7% das amostras possui material de origem marinha ou mista (RUTTENBERG & GOÑI, 1997).



**Figura 7.16** – Razão C/N de acordo com a classificação proposta por Barcellos (2005) para as amostras de sedimento coletadas ao longo da plataforma interna adjacente ao Porto do Recife.



**Figura 7.17** – Distribuição da razão C/P de acordo com a classificação proposta por Ruttenberg & Goñi, (1997) para a matéria orgânica sedimentar em ambientes marinhos para as amostras coletadas na plataforma interna adjacente ao Porto do Recife.

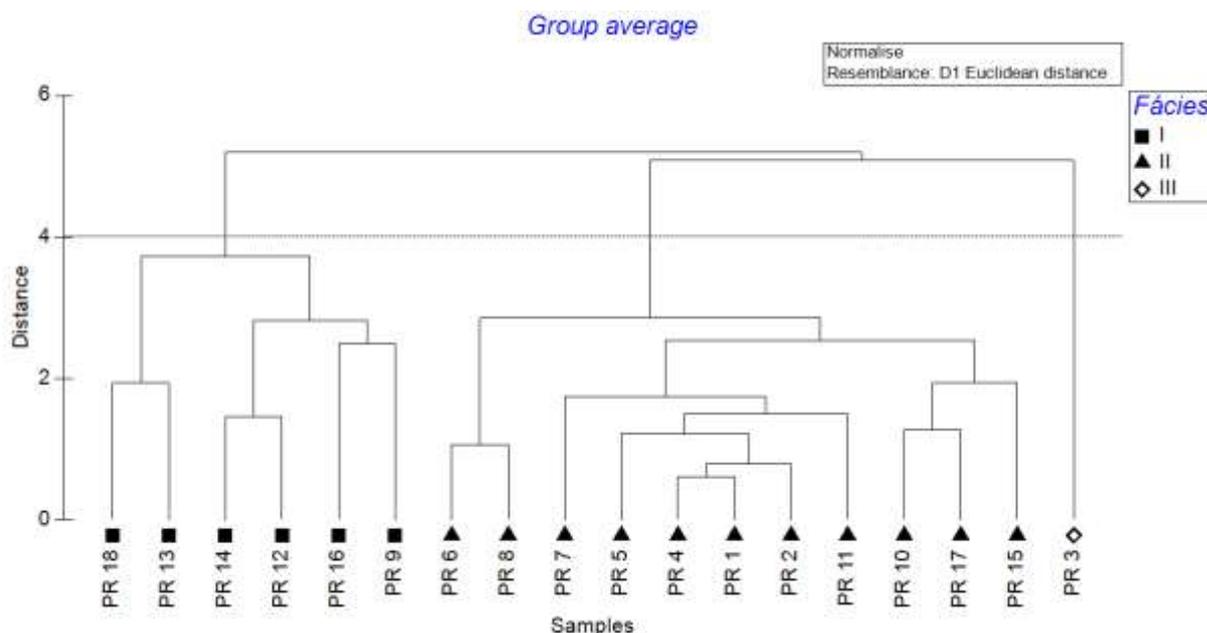


positivas foram regidas pelos teores de carbonato de cálcio, matéria orgânica total, fósforo orgânico, percentil de cascalho e pelo  $\delta^{13}\text{C}$ , cargas as negativas foram regidas pelos percentis de areia e finos, teores de carbono orgânico e pela razão C/P. Com isso foi possível fazer agrupamento de 2 grupos e uma amostra isolada:

- Grupo 1 – Este grupo englobou 33,3% das amostras. No PC1 agrupam cargas que variam dos 2 ao 4, já no PC2 ele agregam cargas do 1 ao -2. O posicionamento das amostras deste grupo no gráfico deixa evidente que os teores de matéria orgânica total, percentil de finos, carbono orgânico, fósforo orgânico, razão C/P e  $\delta^{13}\text{C}$  foram mais influentes em relação ao PC1, pois as amostras embora sejam regidas pelas cargas negativas dos percentis de areia e teor de carbonato, os valores são positivos. Em relação ao PC2 é observável a influência dos teores de carbono orgânico, os percentis de areia e finos e a razão C/P possuem um equilíbrio com os teores de carbonato e  $\delta^{13}\text{C}$ , em virtude da baixa dispersão em torno do zero;
- Grupo 2 – Este grupo engloba 61,9% das amostras. No PC1 estão situados entre os valores 0 a -3 e no PC2 encontram-se entre os pontos 1 e -2. O posicionamento do PC1 é evidenciado pela influência dos teores de carbonato de cálcio, percentual de cascalho areia nestas amostras, pois mesmo com diversas cargas positivas atuando, elas foram anuladas em virtude dos teores mencionados serem mais significativos. No PC2 o posicionamento ocorre em virtude do equilíbrio entre a atuação dos percentis de areia e cascalho, que foram significativos nesse grupo;
- Isolada – Composto pela amostra isolada PR3 (5,6% da malha amostral), engloba cargas negativas do PC1 -2 e 0 e no PC2 situa-se em 4. O posicionamento desta amostra no gráfico mostra que o teor de cascalho e carbonato são os mais influentes sobre a amostra, posicionando-a numa faixa negativa no PC1 e numa faixa positiva no PC2.

#### 7.3.4.2. Análise de agrupamento (Cluster)

Para realizar a análise de agrupamento foram utilizados os mesmos parâmetros da PCA, que são: teor de  $\text{CaCO}_3$  (%), teor de MOT (%), % cascalho, % areia, % finos (correspondente ao % de silte + % de argila), C orgânico, P orgânico, Razão C/P e  $\delta^{13}\text{C}$  (Fig. 7.19).



**Figura 7.19** – Dendrograma (Cluster) da análise de agrupamento para as amostras adjacentes ao Porto do Recife

A faciologia de sedimentos na área de estudo, permitiu identificar 3 fácies: um agrupamento que engloba 33,3% de toda a malha amostral; um grupo com 61,9% das amostras e uma amostra isolada (figura 7.21). Essa determinação foi feita com o corte transversal na distância euclidiana 4 que foi definida de acordo com os dados. As características das fácies identificadas de acordo com as médias de todas as fácies estão na tabela 7.5.

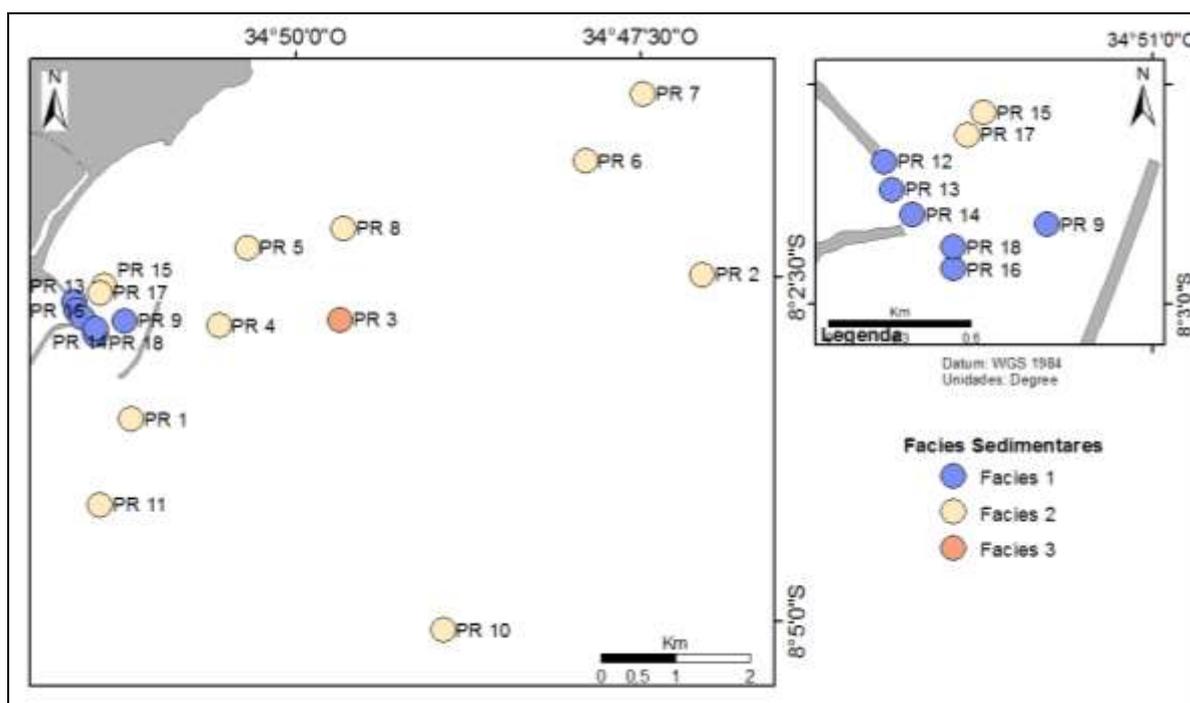
**Tabela 7.5** – características das classes sedimentares reconhecidas através da análise de agrupamentos (Cluster) dos sedimentos das amostras adjacentes ao Porto do Recife.

Fácies	Teor de CaCO <sub>3</sub> (%)	Teor de MOT (%)	% Cascalho	% Areia	% Finos	C org %	P org %	Razão C/P	δ <sup>13</sup> C
I	53,16	7,94	2,07	33,09	64,84	5,33	0,08	80,00	-22,43
II	70,82	2,13	6,69	92,60	0,71	0,58	0,05	9,86	-23,36
III	93,10	3,10	84,65	15,28	0,07	0,40	0,06	6,45	-22,63

- Na fácies I os componentes atuantes na caracterização do grupo foram os percentis de finos acima de 60,0%, seguido dos teores de carbono orgânico (acima de 5,0%) e pela Razão C/P (que foi extremamente alta em relação as demais fácies), e os teores de carbonato de cálcio (que foi mais baixo em relação as demais fácies);
- A fácies II foi diferenciada pelo percentil de areia associado ao percentil de cascalho, e o teor de carbonato de cálcio mais elevado em relação a fácies I.

- A facies III, amostra isolada (PR3), foi diferenciada das demais facies pelo alto teor de cascalho (84,65%) associado ao percentil de areia e ao alto teor de carbonato.

Com base na descrição acima, é possível inferir que a composição das frações sedimentares atuou como componente principal para classificação das amostras, seguidas pelos teores de carbonato, carbono orgânico e pela razão C/P.



**Figura 7.20** – Facies sedimentares na plataforma continental interna adjacente ao Porto do Recife.

#### 7.4. DISCUSSÃO INTEGRADA

De acordo com a classificação de Shepard (1954) para as facies texturais, a área em estudo possui predominância da facie textural areia (66,7%) e a presença das facies areia siltica (5,6%), silte arenoso (22,2%) e silte (5,6%). De acordo com a classificação de Folk & Ward (1957) a granulação variou de silte médio a grânulos, predominando em 33,3% das amostras, areia grossa. Comparando as duas classificações, observa-se que as frações mais finas estão contidas na entrada do Porto do Recife, principalmente na região onde há o canal de navegação. Comparando os dados observados por Oliveira et al.(2014) na entrada do Porto do Recife e a composição sedimentar observada por Andrade et al.(2013) podemos inferir que o material sedimentar presente na entrada do Porto do Recife é oriundo do aporte sedimentar do sistema estuarino do Capibaribe. Este material fino acaba por ficar retido, pois além de um baixo aporte sedimentar para plataforma (Manso et al., 2006), o material acaba por ser retido em decorrência da presença do banco do Inglês, como foi observado por Martins et al. (2016) em um testemunho localizado nas coordenadas do ponto ST9. De acordo com Martins (2016) antes da presença da construção o material terrígeno era similar ao observado nos demais pontos da plataforma, mas após a construção passou a ocorrer deposição do material mais fino vindo do complexo estuarino. As demais amostras assemelham-se aos dados observados por Andrade et al. (2013) na qual o material em toda a plataforma é composto de areia e cascalho, com a presença de material lamoso nas entrada do Porto do Recife. Assim como no estudo conduzido por Andrade et al.(2013) o material cascalhoso tende a aumentar a medida em que se afasta da costa, composição granocrescente dos sedimentos, no sentido W-E na plataforma, onde as profundidades tendem a serem maiores. Deste modo, infere-se que tal comportamento decorre devido ao aporte de material sedimentar diminuir e ao acréscimo do material biogênico existente na plataforma (ANDRADE et al., 2013). De acordo com Manso (2003) a presença da classe textural areia é resultante do desdobramento das mantas praias que foram retrabalhadas, onde em áreas específicas, atravessaram o Quaternário diacronicamente, sendo regida pela oscilação do nível do mar do Pleistoceno aos dias atuais, sendo composta por material siliciclástico e bioclastos algálicos fragmentados, visto que o material recebe influência das praias de Olinda e de Recife (MANSO et al., 2006).

O grau de seleção variou de bem selecionado a pobremente selecionado, com predominância de pobremente selecionado – 66,7% das amostras, configurando um ambiente com baixa hidrodinâmica ou aporte terrígeno. Tal comportamento decorre das intervenções antrópicas para a manutenção do porto, que propiciam a existência de um sistema

deposicional artificial, com elevado potencial para retenção do material pelítico de origem terrígena que são carregados pelos rios adjacentes (MARTINS, 2016), o que permite explicar também, os grãos pobremente selecionados na entrada do porto, já que a dinâmica marinha é pouco intensa na região, já que as estruturas portuárias interferem diretamente na circulação superficial e de fundo, o que influencia no baixo grau de seleção dos grãos (ANDRADE et al., 2013).

As amostras coletadas apresentaram grau de arredondamento variando de amostras arredondadas a angulosas, com predomínio de amostras subangulosas (36,4% as amostras). Este parâmetro foi regido pela hidrodinâmica local, onde os grãos mais arredondados são oriundos do transporte do material continental, carregado pelos rios do sistema estuarino do Capibaribe, mostrando um transporte eficiente (BLATT, 1970 in McLANE, 1995), e os mais angulosos, são regidos pela circulação de fundo da plataforma, nos quais os sedimentos já que os mesmos tendem a serem mantidos na região adjacente ao Porto, o que acarreta num baixo transporte (Projeto MAI, 2009), além disso, essa variedade em relação ao grau de arredondamento é atribuída as diferentes fontes sedimentares e dos processos abrasivos (PYÖKÄRI, 1999). As amostras apresentaram uma variação de baixa à boa esfericidade, com predomínio de baixa esfericidade (61% das amostras). Essa baixa esfericidade é atribuída ao mal grau de seleção que os sedimentos apresentaram, já que ambos fatores estão correlacionados (SUGUIO, 1973), assim como o baixo transporte da região (Projeto MAI 2009, ANDRADE et al., 2013).

Cada classe fração granulométrica analisada (250mm e 500mm) corresponde a um tipo de transporte distinto (tração e saltação), respectivamente, quando sujeitos a diferentes ações de correntes. De acordo com Mahiques et al. (1998) tais variações ocorrem em virtude das diferenças das equivalências hidráulicas dos constituintes, que são ocasionadas pelas diferenças de densidade e/ou forma das partículas. Com base essas diferenças, espera-se que as frações maiores (0,500 mm (1  $\phi$ )) apresentem mais material biogênico que na fração 0,250 mm (2  $\phi$ ), como descrito em Pilkey et al. (1967, apud MAHIQUES et al., 1998). Para a presente área de estudo o resultado foi contrário ao esperado pela literatura, onde os maiores índices de biogênicos foram observados na fração mais fina (250mm), atribuindo ao transporte e distribuição do material em suspensão que aporta na plataforma. Em ambas frações observa-se que o material está correlacionado ao que aporta do sistema estuarino adjacente assim como ao material algálico que prevalece na região mais distante da costa (MANSO et al., 2006).

Os teores de carbonato classificaram os sedimentos da região com predominância de material biogênico (38,9% das amostras são biolitoclásticas e 38,9% são bioclásticas), compondo apenas uma baixa fração de sedimentos litobioclásticos (22,2%). Tal resultado foi observado por Andrade et al (2013) para os sedimentos da plataforma em estudo e por Martins (2016) na região entre a entrada do Porto e o quebra-mar. Essa predominância de sedimento carbonáticos orgânicos na plataforma continental em estudo está correlacionada as suas condições fisiográficas: baixa profundidade, águas quentes e salinas sob a ação de correntes (COUTINHO,1976) associadas aos fim da influência terrígena ocasionada pelas intervenções antrópicas, possibilitando assim a ocorrência das algas calcárias nas áreas estudadas (MANSO, 1997; MARTINS, 2016). Esses teores elevados e a composição sedimentar carbonática inviabilizam a plataforma para exploração de sedimentos para engorda de praias (ANDRADE et al., 2013).

Os teores de matéria orgânica total apresentaram dois comportamentos distintos: a concentração dos valores mais elevados – que foram observados no presente trabalho – na região situada entre a abertura do Porto e o quebra-mar, com uma tendência ao sentido sul após a entrada do Porto; e um decréscimo ao longo da costa, no sentido W-E. Tal comportamento é explicado com base no estudo desenvolvido por Martins (2016) e na carta náutica 920, onde é possível visualizar que os conteúdos de matéria orgânica se depositam em sua maior parte na região do canal utilizado para tráfego dos navios e demais embarcações, assemelhando-se aos resultados observados por Barcellos (2000) em estudo no Canal de São Sebastião, onde os maiores teores se concentraram na região do Porto, por conta da baixa circulação de fundo, associados à formação topográfica da região que possibilita armadilha para retenção dos sedimentos. Martins (2016) evidenciou que o material depositado na estação PR9, na qual o teor de matéria orgânica foi de 10,43% ocorre por conta das construções antrópicas para manutenção do Porto, que interferiu no processo sedimentar da região, acumulando o material orgânico oriundo do sistema estuarino do Capibaribe, que de acordo com Oliveira et al. (2014), recebe descargas de efluentes e demais aportes antrópicos. Comparando os resultados obtidos por Oliveira et al. (2014) em estudo sedimentar sazonal no sistema estuarino do Capibaribe, para as amostras localizadas nas adjacências internas a entrada do Porto do Recife, com os do presente trabalho, tem-se que em ambos períodos sazonais as estações adjacentes a entrada do Porto apresentaram um maior teor de matéria orgânica total associado a uma elevada fração de silte, similar ao comportamento observado na amostra PR9 e demais amostras localizadas na entrada do Porto, sendo assim, associando

aos resultados de Martins (2016) para a mesma região, é possível inferir que o material orgânico observado nesta estação é o depósito do material que aporta do sistema estuarino do Capibaribe. Em relação aos demais teores mais baixos, se aplica a relação que é esperada de acordo com Trask (1939 apud TYSON, 1995), onde os teores de matéria orgânica se associem com sedimentos mais finos, como foi observado por Oliveira et al. (2014), Barcellos et al (2016) e Santos (2016), para as regiões estuarinas e costeiras, e a composição observada no presente trabalho é de areia grossa, apresentando correlação negativa tais parâmetros ( $r_s = -0,696$ ). Já nas regiões onde houve sedimento mais fino os teores foram mais elevados, evidenciando a correlação positiva entre matéria orgânica e as frações de silte e argila ( $r_s = 0,798$  e  $r_s = 0,750$  respectivamente).

De modo oposto aos resultados observados para a plataforma adjacente à Itamaracá os teores de carbono orgânico estão associados aos sedimentos mais finos como as frações de silte e argila ( $r_s = 0,789$  e  $r_s = 0,698$ , respectivamente) e apresenta correlação negativa com o teor de carbonato de cálcio ( $r_s = -0,572$ ), indicando assim que o carbono orgânico não tem uma relação direta com o material carbonático, ou seja, a sua origem não é marinha (PAROPKARI et al., 1991). De acordo a distribuição dos teores de carbono orgânico total mensurados na plataforma adjacente ao Porto do Recife, se observa novamente a formação de duas áreas, onde na região entre a entrada do Porto e o quebra-mar os teores de COT são mais elevados (entre 0,62% a 8,11%), divergindo das amostras da plataforma adjacente à porção externa ao quebra-mar (que variaram de 0,05% a 0,4%). Comparando os resultados de Martins (2016) e Oliveira et al. (2014), os valores correspondem aos aportes antrópicos que são acumulados no sistema estuarino, como foi mensurado por Travassos et al. (2016). Já os valores para as a plataforma após o quebra-mar coincidem com os resultados observados para plataforma adjacente Itamaracá, aos observados por Acharya et al. (2016) para a plataforma continental para porção oriental do Mar da Arábia, e os observados por Liu et al. (2016) para a plataforma continental adjacente a baía Rushan, no Mar Amarelo, na China.

Os teores de nitrogênio total foram obtidos apenas para a região entre a entrada do Porto e o quebra-mar, e variaram de 0,13% a 0,34% coincidindo com os valores observados por Oliveira et al. (2014) na mesma região. Para o estudo desenvolvido por Travassos et al. (2016) nas plumas dos Rios Capibaribe e Jaboatão, ao comparar com os valores mensurados para o Capibaribe – rio pertinente à presente área de estudo - os valores são similares aos teores mais baixos mensurados. Os valores observados por Guenther et al. (2015) para o sistema estuarino do Capibaribe, assim como os de Oliveira et al (2014) e o de Travassos et

al. (2016) – para o fitoplâncton, sedimento e coluna d'água respectivamente – denotam que os teores mensurados são decorrentes da elevada produção primária e do zooplâncton no local, associados ao despejo de efluentes em todo sistema, elevando assim a carga de compostos nitrogenados. A distribuição destes teores na entrada do Porto pode ser explicada pela circulação de fundo demonstrada no Projeto MAI (2009), assim como as modificações antrópicas realizadas para atender as estruturas portuárias (MARTINS, 2016), permitindo o acúmulo de material orgânico e lamoso.

Os conteúdos de fósforo total (PT) oscilaram de  $0,05\mu\text{mol/g}$  para  $0,14\mu\text{mol/g}$ , com valor médio de  $0,09\mu\text{mol/g}$ . A fração predominante foi a de fósforo orgânico variando de  $0,04\mu\text{mol/g}$  à  $0,09\mu\text{mol/g}$ . Os teores mais elevados apresentaram-se nas adjacências à entrada do Porto do Recife e com as amostras com sedimento mais fino, pois todas os teores de fósforo (total, orgânico e inorgânico) apresentam correlação positiva com os sedimentos finos presentes nessas áreas, os teores de silte ( $r_s=0,575$ ;  $r_s=0,548$  e  $r_s=0,563$  respectivamente) e argila ( $r_s=0,574$ ;  $r_s=0,578$  e  $r_s=0,512$  respectivamente) como observado por Barcellos (2005) para região da Cananéia, e por Gaspar (2009) e Santos (2016) para regiões estuarinas de Pernambuco. Ao visualizar a distribuição do fósforo total na plataforma, é visível que os teores tendem a diminuir ao longo da costa, pois de acordo com Brephol (2000) e Braga apud Aguiar e Braga (2007) os valores de salinidade dificultam a adsorção do fosfato no sedimento.

Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  variaram de  $26,24\text{‰PDB}$  até  $-20,70\text{‰PDB}$ . De acordo com a classificação realizada por Alves (2016), há predomínio de material de origem mista tendendo à marinha na costa, tal composição também foi observada por Martins (2016) e Oliveira et al. (2014). De acordo com Bordovskiy (1965), Chester & Riley (1978), Ruttemberg e Goñi (1997), Stein (1991), Meyer (1997), Lamb et al. (2006), o material está associado a composição algálica e a produção planctônica da região. O sistema de circulação de fundo demonstrado no Projeto MAI (2009), demonstra que embora a pluma siga no sentido W-E, a circulação de fundo tende a reter o sedimento na porção da área de estudo, assim como transportar o material de N-S, deste modo o material de origem continental decorre das regiões adjacentes.

Os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  variaram de  $2,29\text{‰Ar}$  até  $6,61\text{‰Ar}$ . Como tais valores estão alocados nas adjacências à entrada do Porto, é possível compará-los com os resultados obtidos por Oliveira et al. (2014), que ela atribuiu à influência marinha. Com base em Arevena et al. (1993) os autores colocam que valores muito baixos ( $< 2$ ) estão associados a fertilizantes e

teores elevados ( $\geq 20$ ) decorrem das emissões de dejetos. Ao utilizar-se a classificação proposta por Aravena et al. (1993), tais valores de  $\delta^{15}\text{N}$  obtidos no presente trabalho como oriundos de solos ricos em compostos nitrogenados ( $3\text{‰ Ar a } +8\text{‰ Ar}$ ), permite classificar os sedimentos como oriundos de origem mista tendendo a marinha, estando sob influência de lixiviação e de acordo com Guenther et al. (2015) os valores estão associados à elevada produção primária local, estimuladas pelas águas enriquecidas, inferindo-se que tais valores são referentes aos aportes de efluentes e insumos na região.

De acordo com a razão C/N proposta por Barcelos (2005) a matéria orgânica disposta na adjacência à entrada do Porto do Recife possui uma característica mista tendendo a continental ou de origem continental. De acordo com Ruttenberg & Goñi (1997) para a razão C/P, 55,6% das amostras encontram-se abaixo do valor 7 (valor base para indicar atividade por metabolismos bacteriano), 27,8% das amostras são oriundas de atividades bacterianas e 16,7% de origem marinha ou mista. As classificações observadas para as adjacências da entrada do Porto, condiz com a classificação observada por Oliveira et al. (2014) para a mesma região, para as demais amostras os resultados são semelhantes aos observados na plataforma adjacente a Itamaracá.

A análise de componentes principais serviu para corroborar os resultados obtidos entre a distribuição sedimentar e geoquímica, visto que com base nos dados observados foram realizados três agrupamentos: as amostras presentes na entrada do Porto, as demais amostras e a estação PR3 (isolada devido ao elevado teor de cascalho, diferindo dos demais pontos). Esse agrupamento serviu para demonstrar como a circulação de fundo e as ações antrópicas exerceram influência no meio, visto que uma facies foi formada pelos sedimentos finos e enriquecidos retido na entrada do Porto do Recife, devido à presença do canal e do quebra-mar presente (MARTINS, 2016). A outra facies demonstra a atuação da circulação, baixo aporte de material terrígeno e particulado na plataforma, caracterizando um ambiente homogêneo em relação ao entorno, com ressalva apenas para a estação PR3 e seu elevado teor de cascalho (MANSO et al., 2006; Projeto MAI, 2009).

## 7.5. CONCLUSÕES

- A plataforma interna adjacente ao Porto do Recife apresentou uma cobertura sedimentar arenosa, com granulação predominante de areia média, pobremente selecionada. Apresenta material predominantemente composto por sedimentos biolitolásticos e bioclásticos, com teores medianos de matéria orgânica total, caracterizando a origem mista da matéria orgânica sedimentar da plataforma;
- Os dados do presente trabalho evidenciaram que as estruturas portuárias (diques, quebra-mar e canal) promovem a retenção de grande parte dos sedimentos mais finos e do material orgânico sedimentar que aporta do sistema estuarino do Capibaribe, enquanto que para mar fora da entrada do Porto do Recife a plataforma apresenta uma distribuição gradual no sentido W-E, onde o sedimento tende a aumentar seu diâmetro médio – em decorrência da presença algálica –, e os teores de matéria orgânica total e suas composições elementares e isotópicas tendem a decrescer;
- Observou-se que o material orgânico sedimentar presente na região da entrada do Porto do Recife apresenta uma origem mista, decorrente do aporte dos aportes de origem antrópica, associados à produção planctônica e a influência da cobertura algálica carbonática, enquanto no resto da plataforma prevalece a presença de material marinho.
- A composição sedimentar, associada à cobertura algálica da plataforma evidenciaram um ambiente propício para ciclagem e sequestro do carbono na região costeira.

## 8. FERNANDO DE NORONHA

O presente capítulo corresponde à área de plataforma continental adjacente ao arquipélago de Fernando de Noronha. Encontra-se descrito a área de estudo, as características fisiográficas, geologia e geomorfologia, os resultados e discussão dos parâmetros avaliados nas 25 amostras coletadas ao longo da plataforma insular sazonalmente entre os anos de 2013 e 2014, e a conclusões obtidas por meio do estudo.

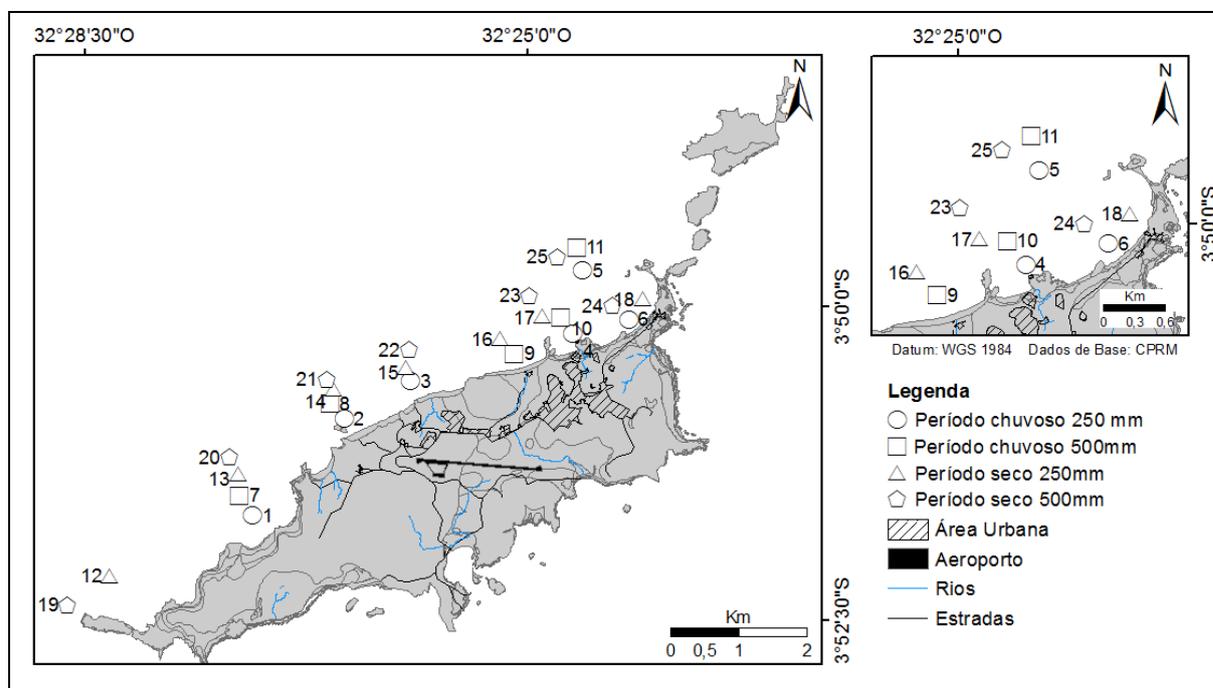
### 8.1. ÁREA DE ESTUDO

O arquipélago de Fernando de Noronha está localizado nas coordenadas centrais de 3°52'S e 32°26'W. Pertencente ao estado de Pernambuco, localizando-se por volta de 545 km de Recife e a a 360 km de Natal, no Rio Grande do Norte, compreende a ilha principal de mesmo nome e mais 21 ilhas e ilhotas de origem vulcânica (MANSO et al, 2011), as quais as principais são a de Fernando de Noronha, Rata, do Meio e Rasa (SERAFINI et al., 2010). O arquipélago faz parte dos cinco conjuntos insulares brasileiros, junto com o Arquipélago de São Pedro e São Paulo, Atol das Rocas, Ilha de Trindade e Arquipélago de Martin Vaz (SERAFINI et al., 2010). Possui uma área total de 26 km<sup>2</sup> e sua altitude varia de 0 a 321m – o maior pico caracterizado por um monte vulcânico de formato cônico, que repousa sobre o assoalho oceânico à 4000m de profundidade (SERAFINI et al., 2010; MANSO et al, 2011).

O Arquipélago de Fernando de Noronha apresenta energias hidrodinâmicas diferentes em cada um de seus lados, decorrentes do seu posicionamento no oceano Atlântico, devido a esta característica peculiar, seus lados são classificados como *Mar de Dentro* e *Mar de Fora*. O Mar de Fora, possui sua face voltada ao continente Africano, apresentado uma hidrodinâmica mais intensa, apresenta apenas quatro praias nas regiões mais abrigadas. O Mar de Dentro, tem por características ser mais protegido, visto que, o posicionamento geográfico da ilha promove a inibição dos ventos alísios e correntes predominantemente de sudeste, permitindo que a face apresente um maior quantitativo de praias (dez praias) (SERAFINI et al., 2010; WILDNER e FERREIRA, 2011).

O arquipélago foi descoberto em 1503 por Américo Vespúcio, devido ao naufrágio da nau da capitania, e foi doado a Fernão de Loronha, o financiado da expedição, sendo a primeira capitania hereditária (SERAFINI et al., 2010). Atualmente é a única região insular habitada, com uma população de 2.629 pessoas de acordo com o censo em 2010 (IBGE). A ocupação humana está restrita a 35% da ilha principal, com atividades relacionadas ao turismo (MENDES, 2006).

Os pontos de coletas estão situados na região do Mar de Dentro, onde na figura 8.1 estão dispostos os quatro períodos sazonais, compondo uma malha amostral de 25 pontos.



**Figura 8.1** – Pontos de coleta adjacentes ao arquipélago de Fernando de Noronha. Fonte dos dados: CPRM.

## 8.2. CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS DA ÁREA

### 8.2.1. Clima

O clima da região é oceânico tropical (Aw), de acordo com a classificação de Köppen), com temperatura média anual de 25,4°C (TEIXEIRA et al., 2003; MANSO et al., 2011). A média pluviométrica anual para o arquipélago é de 1.400 mm, apresentando uma estação úmida (inverno) entre março e julho (ocorrendo as maiores precipitações entre março e maio), e um período de estiagem (verão) entre agosto e janeiro (sendo os menores níveis de precipitação durante o mês de outubro). Durante o período chuvoso, há a presença de diversos córregos intermitentes, que desaparecem ao iniciar o período de estiagem, permanecendo apenas a lagoa da Viração (GASPARINI e MACIEIRA, 2005).

### 8.2.2. Biodiversidade

Referente à parte marinha arquipélago de Fernando de Noronha apresenta a maior riqueza em números de espécies para peixes, moluscos, corais, esponjas, cnidários e algas. Isto decorre em virtude do tamanho, das diferenças de habitats e a elevada cobertura recifal, além do fato de ser umas das regiões insulares mais estudadas. Dos estudos realizados no arquipélago, os grupos mais estudados e conhecidos no que se refere à riqueza de espécies são: para os vertebrados a maior riqueza é dos peixes recifais, que apresentam 169 espécies,

sendo 10 endêmicas (SAMPAIO et al., 2006; PINHEIRO & GASPARINI, 2009); para as algas há a presença de 171 espécies (VILLAÇA et al., 2006); para as há a presença de 77 espécies (MORAES et al., 2006); os corais apresentam 11 espécies (FLOETER et al., 2001); os cnidários 33 espécies (AMARAL et al., 2000; MIGOTTO et al., 2002); os moluscos apresentam 218 espécies com 3 endêmicas (GOMESET al., 2006). Não há registros na literatura sobre espécies exóticas invasoras marinhas.

Para a flora terrestre há a presença de 331 espécies vasculares, das quais 14 são endêmicas (ALVES, 2006), sendo que 11 espécies dominantes foram inseridas pelo cultivo humano (SERAFINI et al., 2010). A fauna terrestre é majoritariamente composta por espécies inseridas pelo homem, nas nativas a maior composição dá-se pelas aves marinhas (SERAFINI et al., 2010).

### 8.2.3. **Características oceanográficas**

O regime dominante dos ventos dá-se no sentido SE-NW, com velocidade média de 6,6m/s, com maior intensidade entre julho e agosto. A variação climática sazonal apresenta períodos bem individualizados, onde no verão há a predominância de ventos moderados associados às correntes provenientes do sudeste, apresentando ondas com altura média de 1,13m e período médio de 13.3s nas praias de Conceição, Boldró e Bode, caracterizando assim um ambiente de baixa energia. Nos períodos de janeiro a março, incidem correntes de NNE, onde na parte setentrional da ilha principal são observados ondas com amplitudes de até 5m, caracterizando assim um ambiente de alta energia (MANSO et al., 2011). No inverno observou-se intensificação dos ventos de SE predominantes (70% da frequência) alternando com ventos de E (25% da frequência), onde as ondas prevaletentes são de SE, com altura média de 1,6m, que atingem o sistema da praia do Sueste (HÖFLICH, 1984; BARCELLOS et al., 2011).

No equador, o parâmetro de Coriolis é nulo, o que propicia um retorno rápido e intenso as variações dos ventos (intensidade e direção), sendo assim, os oceanos tropicais são regidos pelas variações sazonais dos ventos alísios, deste modo, as propriedades (físicas, químicas e biológicas) da camada fótica encontram-se sujeitas às variações meteorológicas, enquanto as regiões mais profundas encontram-se mais estáveis (VINOGRADOV, 1981; BROWN et al., 1989; PHILANDER, 1990; FLORES MONTES, 2003). Estas condicionantes ambientais faz com que o regime de correntes esteja diretamente associado ao regime de ventos. O arquipélago recebe a influência de duas importantes correntes, que é a Corrente Sul Equatorial, que flui superficialmente no sentido Leste-Oeste e é responsável pelas águas

claras (baixa concentração de material particulado em suspensão) e quentes (em tono de 28°C), com salinidade de 36, pobre em nutrientes e a Subcorrente Equatorial, que flui no sentido contrário, entre 40 a 150 metros de profundidade (EDWARDS & LUBBOCK, 1983; ESTON et al, 1986; STRAMMA & ENGLAND, 1999). O regime de marés é o semi-diurno com amplitude de até 3,2 m durante a maré sizígia e até 2,0 m nas marés de quadratura (ESTON et al, 1986).

### 8.3. GEOMORFOLOGIA E GEOLOGIA

O Arquipélago de Fernando de Noronha (Fig. 8.1) constituído por 21 ilhas, possui uma extensão 26km<sup>2</sup>, emergindo de uma plataforma insular com diâmetro de 10km e com quebra da plataforma em torno da isóbata de 100m (Teixeira et al., 2003). O arquipélago representa o topo de um cone vulcânico de uma montanha submarina no qual a base (com 74 km diâmetro) situa-se a cerca de 4.200m de profundidade no assoalho oceânico. O perfil do edifício vulcânico extinto conta ainda com outra elevação secundária, o Alto do Drina, que está localizado a 23 km a oeste da ilha principal, cujo topo aplainado encontra-se a cerca de 50-60m de profundidade (BARCELLOS, 2012).

A estrutura geológica do arquipélago de Fernando de Noronha é constituída por substratos de rochas piroclásticas que foram depositadas em um ambiente subaéreo, e que foram atravessadas por grande variedade de rochas eruptivas alcalinas (BARCELLOS, 2012; ALMEIDA, 2006). Os sedimentos nas ilhas estão reduzidos a depósitos litorâneos, marinhos e eólicos, que pertencem ao ciclo atual e a outros ciclos do Quaternário.

De acordo com Ogg et al. (2008), o arquipélago vulcânico de Fernando de Noronha, é datado com idades que variam entre o mioceno médio e pleistoceno inferior. De acordo Wildner e Ferreira (2011) o arquipélago apresenta as seguintes estruturas geológicas:

#### QUATERNÁRIO

- Depósitos modernos
  - Depósitos praias e de dunas, recifes de corais
- Depósitos antigos
  - Formação ou Calcarenito Caracas
  - Depósitos de sedimentos de origem biogênica

#### PLIOCENO SUPERIOR - PLEISTOCENO INFERIOR

- Formação São José
  - Basanitos e rochas básico ultrabásicas nefeliníticas (ankartritos) e piroclásticas
- Formação Quixaba
  - Lavas melanocráticas ankaratríticas e depósitos piroclásticos

#### MIOCENO SUPERIOR

- Formação Remédios
  - Alcalibasaltos
  - Traquitos
  - Essexitos pórfiros
  - Fonolitos pórfiros
  - Fonolitos afíricos
  - Depósitos piroclásticos (tufos, brechas e aglomerados).

Com base na geocronologia de Wildner e Ferreira (2011) as principais formações rochosas vulcânicas, da base para o topo, são:

*Formação Remédios* contempla as rochas mais antigas reconhecíveis no arquipélago, datadas entre 8 a 12 Ma (ALMEIDA, 1955; CORDANI, 1970). Consistem em magmatitos intrusivos em piroclásticos variados, que suportam as maiores elevações, que estão localizadas na parte central da ilha principal, com fragmentos de dimensões diversas (alcançando as dimensões de blocos com mais de um metro de diâmetro), podendo formar camadas irregulares de tufos, brechas e aglomerados. Dentre os fragmentos, o destaque ocorre em virtude da variedade de rochas fonolíticas, traquíticas e essexíticas, resultantes dos paroxismos explosivos que as precederam e acompanharam a intrusão dos compôs fonolíticos e traquíticos (ALMEIDA, 2000).

A *Formação Quixaba* é constituída por um empilhamento derrames de lavas melanocráticas ankaratríticas alternados com depósitos piroclásticos de componentes da própria lava, com idades entre 1,7 e 3 Ma, aflorando nos dois planaltos escalonados da ilha principal, na porção oriental pode-se reconhecer 180m de espessura exposta acima do nível do mar (ALMEIDA, 1955; CORDANI, 1970). A formação constitui algumas ilhas – com ênfase para a ilha Rata – nos quais os derrames quando são expressamente horizontais, apresentam inclinação de até 30° no sentido sul (sentido de escoamento das lavas), sendo maciço em seu interior e vesiculares (ou amigdaloidais) na base e no topo, com espessura podendo ultrapassar s 40m na falésia do Sancho (ALMEIDA, 2000).

A *Formação São José* é constituída por um derrame basanitos, ankaratritos e rochas piroclásticas, de idade incerta, com características geoquímicas de OIB (ocean island basalts) (Almeida, 1955). Tais ankaratitos apresentam inclinação para NE, o que diferencia da Formação Quixabá, sendo que a grande atenção para tal derrame dá-se pela abundância e dimensões dos xenólitos de dunito de cor verde-garrafa, constituídos quase inteiramente de olivina (ALMEIDA, 2000).

O vulcanismo de Fernando de Noronha, representado pelas rochas do arquipélago, têm como característica a composição fortemente alcalina, o que repercute em sua composição

sedimentar, visto que é subsaturado em sílica (com teores variando de 34,4% a 60,8%, correspondendo a melilita ankaratrito e ao álcali traquito, respectivamente), mas não apresenta quartzo nas rochas, que é o material mais abundante da crosta terrestre (ALMEIDA, 2000). A província magmática de Noronha, tida como uma das mais alcalinas entre as ilhas vulcânicas oceânicas do mundo foi formada inicialmente pelas frações mais leves, originando a Formação Remédios, e que após um hiato erosivo (que durou entre 5-6 Ma) seguiu o vulcanismo ultrabásico da Formação Quixaba.

Após o vulcanismo no final do Plioceno, iniciou-se um ciclo erosivo nos quais aparelhos vulcânicos externos foram destruídos e a plataforma insular foi entalhada por processos erosivos, eólicos e sedimentares (TEIXEIRA et al., 2003; ALMEIDA, 2000). Devido às oscilações do nível do mar durante o pleistoceno, a plataforma foi coberta por diversos tipos de depósitos, sendo ele areias e cascalhos do ambiente praias, e recifes de algas calcárias e areias marinhos. No Pleistoceno, durante o último período glacial, com o nível do mar com seis metros em média abaixo do atual, a plataforma de abrasão insular do arquipélago foi moldada nas dimensões que observadas no presente (TEIXEIRA et al., 2003; ALMEIDA, 2000). Durante o Pleistoceno existiam extensas praias arenosas a sul e sudeste do arquipélago, nos quais os ventos alísios de SE, tal como se observa hoje, movimentaram essas areias, originando os campos de dunas nos quais se estima que alcançaram 20 m de espessura, possibilitando a ligação da área da atual ilha Rata com a península de Santo Antônio na ilha principal (ALMEIDA, 2000). Neste mesmo período áreas menores de dunas, semelhante as presentes na entrada da baía de Sueste, também se desenvolveram na costa sudeste da ilha principal, mas com a elevação do nível do mar até os dias de hoje, parte dessas areias foram submersa, e as regiões emersas constituem hoje o ambiente sedimentar calcarenito das Caracas (ALMEIDA, 2000).

O calcarenito das Caracas é um sedimento com coloração cor creme clara, constituído quase que inteiramente de grãos calcários, nos quais se sobressaem os fragmentos originados das algas *Corallinaceae*, e o restante (cerca de 25% da composição sedimentar) é formada por minerais oriundos das rochas magmáticas, principalmente quando o arenito repousa sobre área ankaratrítica e é contaminado com minerais fêmicos (ALMEIDA, 2000). A estratificação cruzada eólica, que é formada por ventos que sopravam de SE, como foi observado por Branner (1889, 1890), tem sua consistência variada em de acordo com o grau de cimentação calcítica. Na ilha Rata o arenito das Caracas tem sua parte superior recoberta por fosfato de cálcio originado de excrementos de aves marinhas (o guano) (ALMEIDA, 2000).

O mapa geológico de Fernando de Noronha é mostrado na figura 8.2.

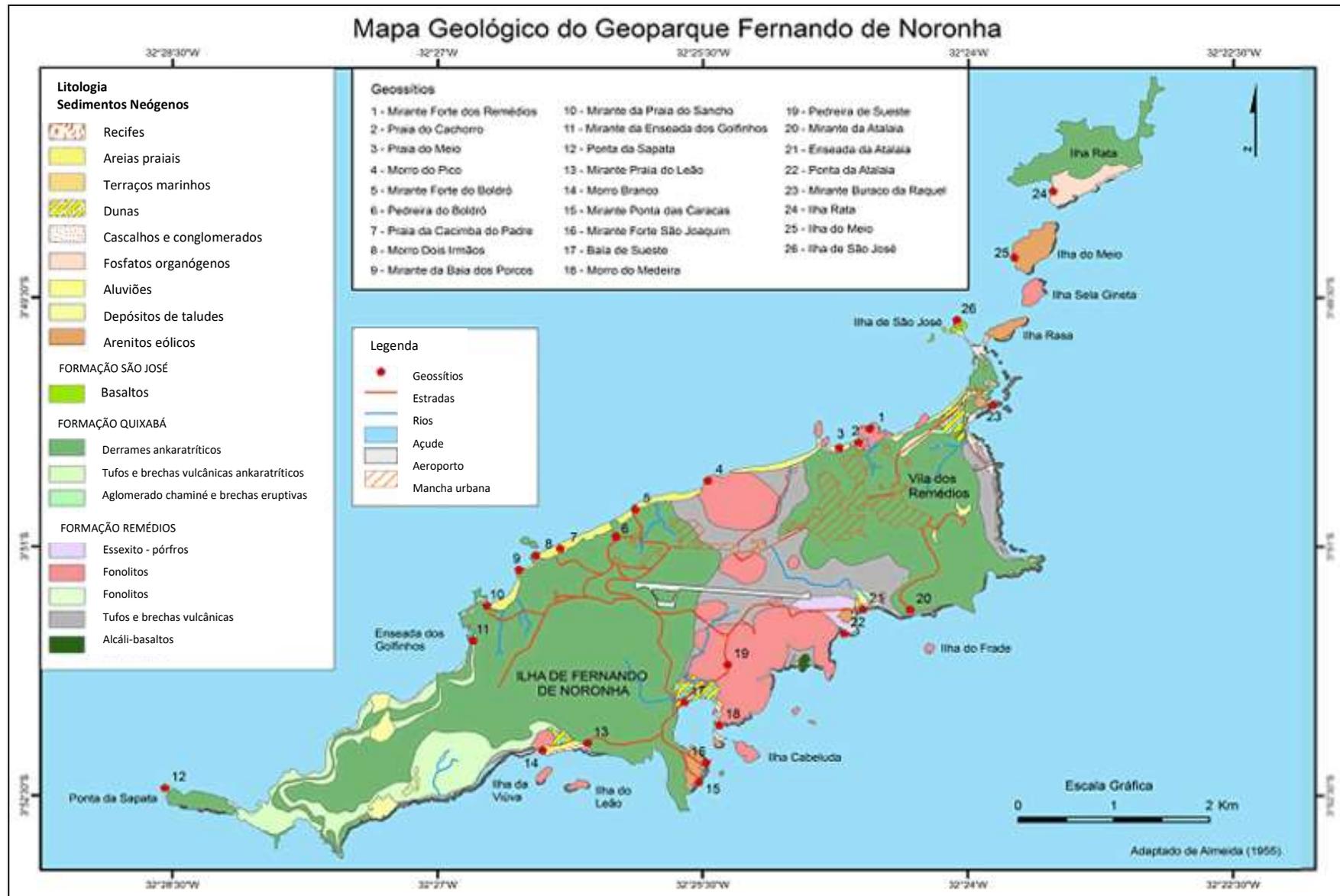


Figura 8.2 – Mapa geológico de Fernando de Noronha. Fonte: Wildner e Ferreira (2011) adaptado de Almeida (1995).

## 8.4. RESULTADOS

### 8.4.1. Análise granulométrica

Na Tabela 8.1 estão os períodos sazonais, as identificações dos 25 pontos de coleta, as coordenadas geográficas, profundidade e os resultados obtidos através das análises sedimentológicas (frações granulométricas, parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957) e o diagrama de facies texturais de Shepard (1954)).

#### 8.4.1.1. Classificação de fáceis texturais de Shepard (1954)

De acordo com o diagrama de facies texturais de Shepard (1954) (Fig. 8.3 A, B, C, D) todas as amostras de todos os períodos sazonais foram classificadas como areia.

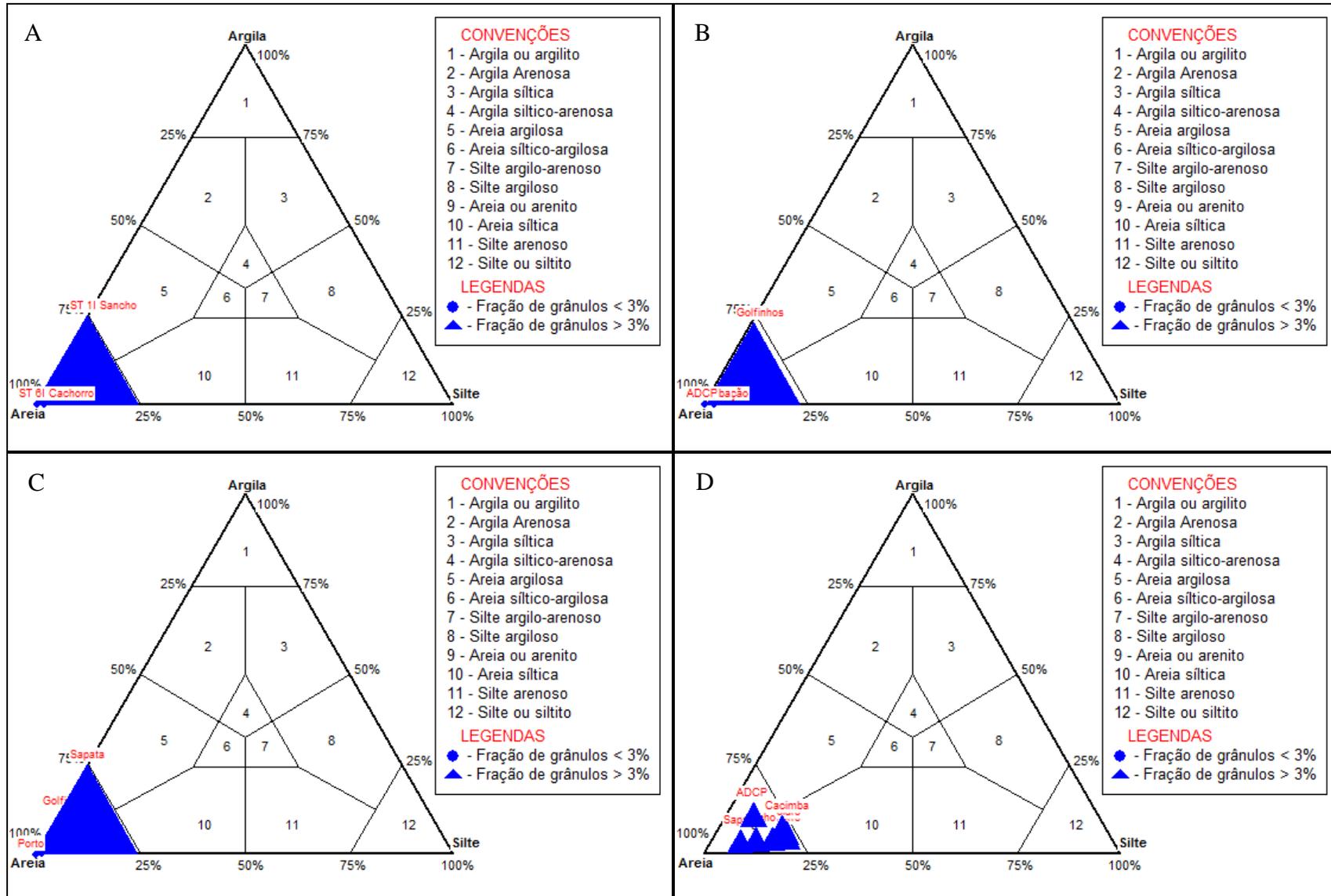
#### 8.4.1.2. Diâmetro médio (Folk & Ward, 1957)

De acordo com a classificação do diâmetro médio de Folk & Ward (1957) obteve-se as seguintes classificações para cada período sazonal (Fig 8.4):

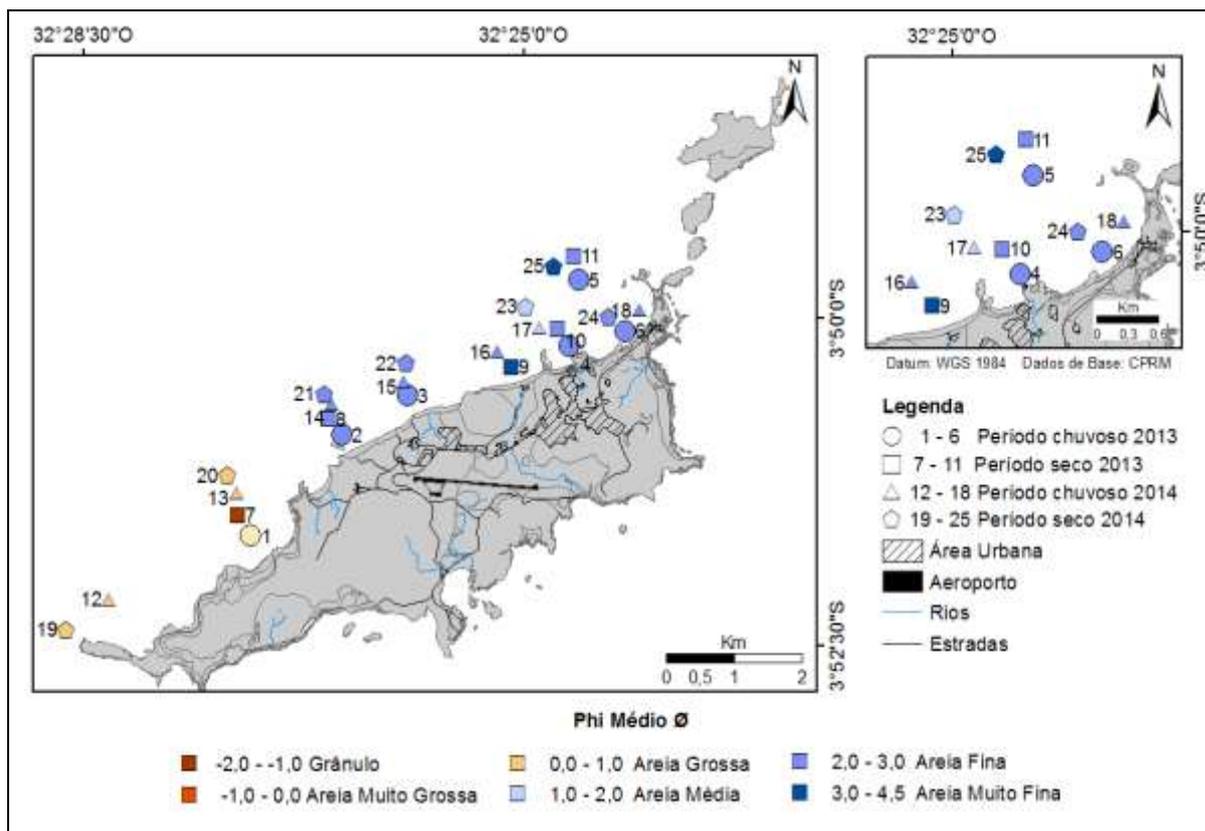
- Chuvoso 2013: Os sedimentos foram compostos por areia fina e areia grossa, com predomínio de areia fina em 83,3% das amostras, e apenas 16,7% das amostras foram areia grossa. Na distribuição espacial, a areia grossa esteve presente apenas na estação número 1 (SCH13C), nas demais estações foram compostas por areia fina;
- Seco 2013: O arranjo sedimentar foi composto por grânulos, areia fina e areia muito fina, com predomínio de areia fina em 60% das amostras, os teores de grânulos e areia muito fina compuseram 20% das amostras cada. Na distribuição espacial os teores de grânulos foram encontrados na estação 7 (GOL13S) e os teores de areia muito fina na estação 9 (CNC13S), as demais estações foram compostas por areia fina;
- Chuvoso 2014: Os sedimentos apresentaram gradiente que variou de areia grossa à areia fina, com predomínio de areia fina em 57,1% das amostras, seguida da gradação areia grossa com 28,6% das amostras, e de areia média com 14,3% das amostras. A areia média esteve presente apenas na estação 17 (CCR14C), a areia grossa nas estações 12 (SAP14C) e 13 (GOL14C), e as demais estações foram compostas por areia fina;
- Seco 2014: A composição sedimentar apresentou um gradiente que variou de areia grossa à areia muito fina, com predomínio de areia fina em 42,8% das amostras, seguido de areia grossa em 28,6% das amostras, das e frações de areia média e muito fina com 4,3% das amostras cada. Os teores de areia muito fina foram observados na estação 25 (ADCP14S), os teores de areia média na estação 23 (CCR14S), os teores de areia grossa nas estações 19 (SAP14S) e 20 (SCH14S). As demais estações foram compostas por areia fina.

**Tabela 8.1** – Período sazonal, número, identificação (ID) da amostra, latitude, longitude, profundidade (m) e dados sedimentológicos (parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957), composição sedimentar e os dados texturais de Shepard (1954)).

Período	Número	ID Amostra	Latitude	Longitude	Prof. (m)	Folk & Ward (1972)		% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila	Shepard (1954)
						Phi Médio Ø	G. Seleção					
Chuvoso 2013	1	SCH13C	-3,856467	-32,455083	25,0	0,69	1,54	24,49	75,41	0,10	0,00	Areia
	2	CCB13C	-3,84695	-32,44365	15,0	2,72	0,33	0,03	99,83	0,14	0,00	Areia
	3	BDR13C	-3,8433	-32,432133	9,1	2,54	0,39	0,00	99,83	0,17	0,00	Areia
	4	CCR13C	-3,838483	-32,4119	5,0	2,33	0,47	0,14	99,59	0,27	0,00	Areia
	5	ADCP13C	-3,829533	-32,408883	19,0	2,95	0,82	0,01	97,99	2,00	0,00	Areia
	6	PRT13C	-3,8349	-32,404783	3,8	2,34	0,35	0,00	99,97	0,03	0,00	Areia
Seco 2013	7	GOL13S	-3,856467	-32,455083	23,0	-1,22	0,30	89,29	10,57	0,14	0,00	Areia
	8	CCB13S	-3,84695	-32,44365	15,0	2,56	0,37	0,00	99,90	0,10	0,00	Areia
	9	CNC13S	-3,839522	-32,417212	12,0	3,10	0,54	0,03	97,68	2,28	0,00	Areia
	10	CCR13S	-3,838483	-32,4119	10,0	2,45	0,44	0,03	99,93	0,03	0,00	Areia
	11	ADCP13S	-3,829533	-32,408883	18,0	2,56	0,68	0,14	99,86	0,00	0,00	Areia
Chuvoso 2014	12	SAP14C	-3,869217	-32,471767	28,8	0,12	1,51	24,44	75,56	0,00	0,00	Areia
	13	GOL14C	-3,8555	-32,456467	25,0	0,91	1,41	11,69	88,14	0,17	0,00	Areia
	14	CCB14C	-3,84695	-32,440717	15,0	2,24	0,42	0,03	99,97	0,00	0,00	Areia
	15	BDR14C	-3,84180	-32,432133	9,0	2,43	0,49	0,51	98,32	1,17	0,00	Areia
	16	CNC14C	-3,84033	-32,417017	12,3	2,17	0,42	0,00	100,00	0,00	0,00	Areia
	17	CCR14C	-3,838483	-32,411900	5,0	1,97	0,40	0,00	100,00	0,00	0,00	Areia
	18	PRT14C	-3,834056	-32,401861	2,3	2,09	0,35	0,00	100,00	0,00	0,00	Areia
Seco 2014	19	SAP14S	-3,873056	-32,477389	28,0	0,41	1,12	12,34	87,66	0,00	0,00	Areia
	20	SCH14S	-3,858889	-32,452056	18,0	0,96	1,29	5,23	94,70	0,07	0,00	Areia
	21	CCB14S	-3,846167	-32,444111	16,0	2,84	0,37	0,00	99,73	0,27	0,00	Areia
	22	BDR14S	-3,842194	-32,430389	14,0	2,66	0,38	0,00	99,90	0,10	0,00	Areia
	23	CCR14S	-3,834111	-32,414056	10,0	1,79	0,96	0,48	99,42	0,10	0,00	Areia
	24	PRT14S	-3,834417	-32,402194	3,0	2,42	0,44	0,61	98,88	0,51	0,00	Areia
	25	ADCP14S	-3,829083	-32,409278	18,0	3,26	0,56	0,00	95,82	4,18	0,00	Areia



**Figura 8.3** – Diagrama triangular de Shepard (1954) das amostras da plataforma insular adjacente ao Arquipélago de Fernando de Noronha: (A) período chuvoso 2013; (B) período seco 2013; (C) período chuvoso 2014; (D) período seco 2014.



**Figura 8.4** – Distribuição do diâmetro médio de acordo com a classificação de Folk & Ward (1957) para as amostras coletadas na plataforma insular adjacente ao arquipélago de Fernando de Noronha.

#### 8.4.1.3. Grau de seleção (Folk & Ward, 1957)

Embasado na definição do grau de seleção de Folk & Ward (1957) tem-se as seguintes classificações para cada período sazonal (Fig. 8.5):

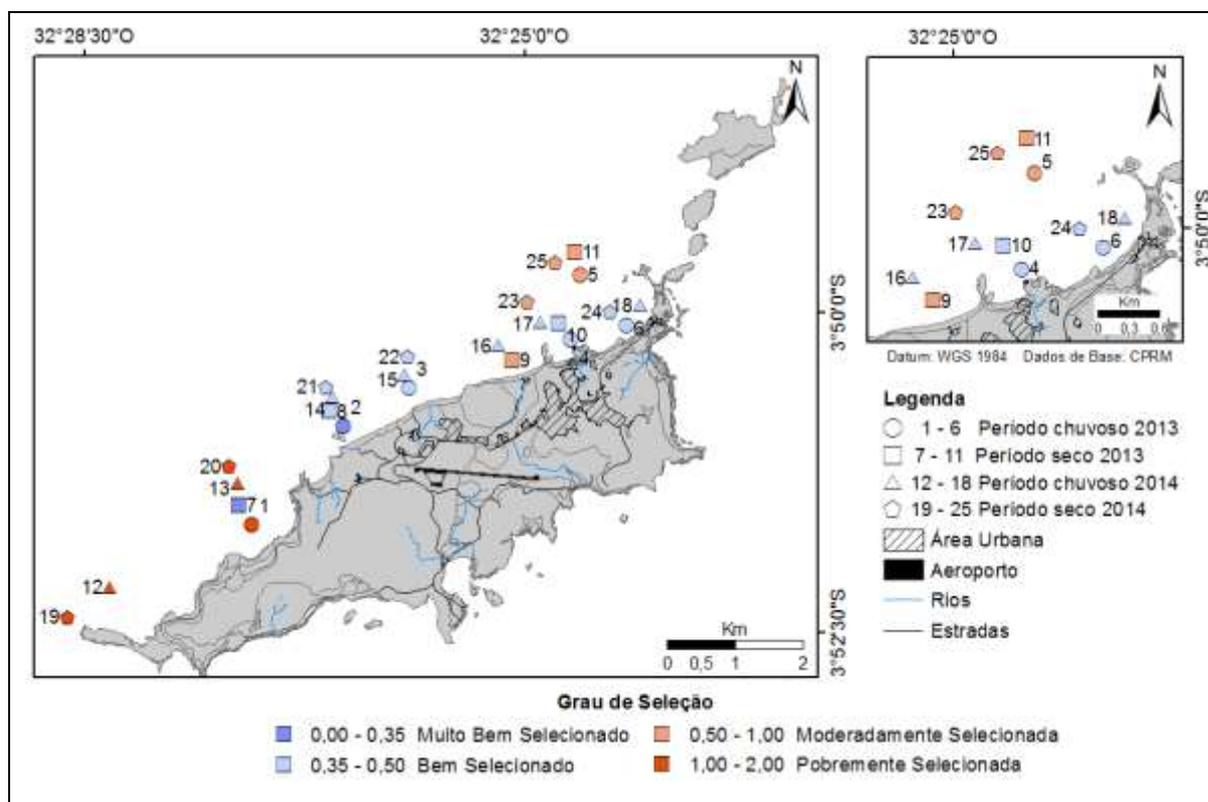
- **Chuvoso 2013:** Os sedimentos apresentaram uma variação de muito bem selecionado à pobremente selecionado, com predomínio de sedimentos bem selecionados 50,0% das amostras, seguido dos demais graus de seleção observados - muito bem selecionada, moderadamente selecionada e pobremente selecionada – englobando 16,7% das amostras cada. A estação 1 (SCH13C) foi a que apresentou sedimentos mal selecionados. Grãos moderadamente selecionados foram observados na estação 5 (ADCP13C), e os grãos com sedimentos muito bem selecionados foram observados na estação 2 (CCB13C). Nas demais amostras os grãos foram classificados como bem selecionados;

- **Seco 2013:** As amostras apresentaram uma variação sedimentar que variou de muito bem selecionado à moderadamente selecionado. Os grãos bem selecionados e moderadamente selecionados abrangeram 40% das amostras cada, já os grãos muito bem selecionados foram observados em 20% das amostras. Os grãos muito bem selecionados foram observados na amostra número 7 (GOL13S), os grãos bem selecionados foram observados nas amostras 8

(CCB13S) e 11 (CCR13S) . Nas demais amostras foram observados grãos moderadamente selecionados;

▪ Chuvoso 2014: Foram observadas apenas duas classificações para o grau de seleção dos sedimentos: bem selecionados e pobremente selecionados, no qual houve predomínio de grãos bem selecionados em 71,4% das amostras e os grãos pobremente selecionados englobaram as 28,6% das amostras. Os grãos pobremente selecionados foram observados nas estações 12 (SAP14C) e 13 (GOL14C). As demais estações apresentaram grãos bem selecionados;

▪ Seco 2014: Observou-se uma graduação que variou de bem selecionado à moderadamente selecionado, no qual os grãos pobremente selecionados e moderadamente selecionados abrangeram 28,6% das amostras cada, e os grãos bem selecionados predominaram 42,8% das amostras. As amostras 23 (CCR14S) e 25 (ADCP14S) apresentaram grãos moderadamente selecionados, já as amostras 19 (SAP14S) e 20 (SCH14S) apresentaram grãos pobremente selecionados. Nas demais amostras foram observados grãos bem selecionados.



**Figura 8.5** – Distribuição do grau de seleção de acordo com a classificação de Folk & Ward (1957) para as amostras coletadas na plataforma insular adjacente ao arquipélago de Fernando de Noronha.

#### 8.4.1.4. Frações granulométricas

Na composição granulométrica dos períodos sazonais temos os seguintes comportamentos (Fig. 8.6):

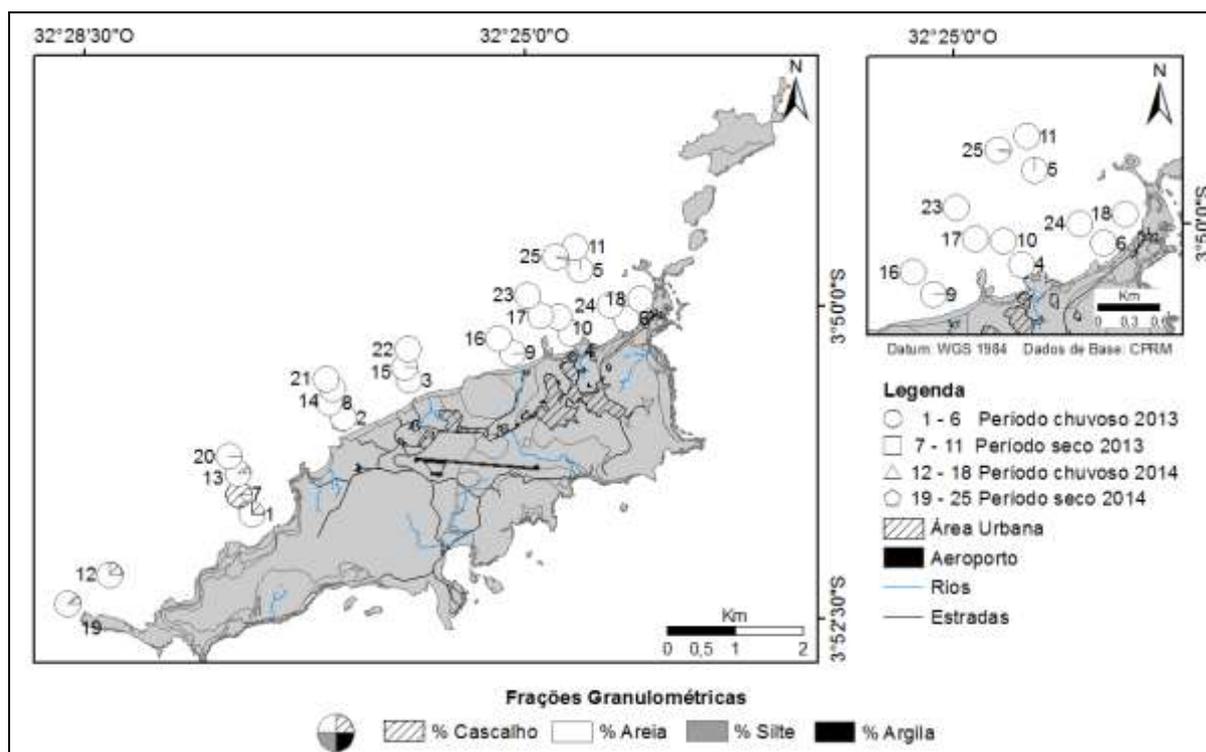
- Chuvoso 2013: Em 100% das amostras predominou o teor da fração areia sobre as demais frações granulométricas. De toda a malha amostral, apenas a estação 1 (SCH13C) apresentou uma fração de cascalho significativa (24,5% de cascalho). Os teores de silte estiveram presentes em todas as amostras, mas o valor máximo observado foi 2,0%;

- Seco 2013: A fração areia predominou em 80% das amostras, com teores acima de 97,0%. A fração cascalho predominou nas 20% das amostras restantes, com teor de 89,29%. As frações silte também foram observadas nas amostras, mas assim como o período sazonal anterior, o valor máximo observado foi abaixo de 2,3%;

- Chuvoso 2014: De forma semelhante ao período chuvoso de 2013, houve predomínio da fração areia em 100% das amostras coletadas. Os teores de cascalho compuseram a areia grossa, apresentando um valor médio de 18,1%. As frações de silte foram observadas em apenas 28,6% das amostras, com teores abaixo de 1,2%;

- Seco 2014: Houve predomínio de areia em 100% das amostras. Neste conjunto de sedimentos arenosos, os teores de cascalho estão abaixo de 12,4%. As frações de silte observadas estão abaixo dos 4,2%.

De modo análogo aos sedimentos avaliados na plataforma continental interna adjacente à Itamaracá, nenhuma das amostras de todos os períodos sazonais coletados na plataforma insular adjacente a Fernando de Noronha apresentou percentual de argila na composição, sendo a fração silte a mais fina.



**Figura 8.6** – Composição das frações granulométricas para as amostras coletadas na plataforma insular adjacente ao arquipélago de Fernando de Noronha. Os períodos estão divididos de acordo com a numeração (2013 chuvoso: 1 a 6; 2013 seco: 7 a 11; 2014 chuvoso: 12 a 18; 2014 seco: 19 a 25).

#### 8.4.2. Análise da fração arenosa e morfoscopia

As amostras selecionadas para realizar a morfoscopia e análise da fração arenosa, assim como seus resultados estão descritos na tabela 8.2 e discriminados nos APÊNDICES F e G. Para as análises da fração arenosa foram separados 200 grãos da composição total da amostra, e posteriormente foram separados 100 grãos siliciclásticos para a avaliação geral do grau de esfericidade e arredondamento.

As amostras foram selecionadas de modo a contemplar as 8 estações de coleta da plataforma adjacente ao arquipélago de Fernando de Noronha durante os períodos sazonais seco e chuvoso, independente do ano em específico.

**Tabela 8.2** – Período sazonal, identificação (ID) da amostra, coordenadas, índice de Biogênicos Marinhos (BM), esfericidade e arredondamento.

Período sazonal	ID Amostra	Latitude	Longitude	Índice BM		Morfoscopia	
				Fração 0,250mm	Fração 0,500 mm	Esfericidade	Arredondamento
Seco	GOL13S	-3,856467	-32,455083	0,36	0,46	Baixa	Subarredondado
	CNC13S	-3,840333	-32,417017	0,67	0,67	Baixa	Subarredondado
	PRT14S	-3,834417	-32,402194	0,69	0,45	Baixa	Subarredondado
	BDR14S	-3,842194	-32,430389	0,57	0,64	Baixa	Subarredondado
	CCB14S	-3,846167	-32,444111	0,45	0,84	Baixa	Subarredondado
	SCH14S	-3,858889	-32,452056	0,45	0,50	Baixa	Subarredondado
	SAP14S	-3,873056	-32,477389	0,62	0,56	Baixa	Subarredondado
	ADCP14S	-3,829083	-32,409278	0,53	0,61	Baixa	Subarredondado

Chuvoso	ADCP13C	-3,829533	-32,408883	0,53	0,45	Baixa	Subarredondado
	GOL14C	-3,855500	-32,456467	0,55	0,49	Baixa	Subarredondado
	CCB14C	-3,846950	-32,440717	0,58	0,43	Baixa	Subarredondado
	BDR14C	-3,841800	-32,432133	0,50	0,38	Baixa	Subarredondado
	CNC14C	-3,840333	-32,417017	0,65	0,66	Baixa	Subarredondado
	CCR14C	-3,838483	-32,411900	0,46	0,45	Baixa	Subarredondado
	SAP14C	-3,869216	-32,471767	0,71	0,65	Baixa	Subarredondado
	PRT14C	-3,834056	-32,401861	0,55	0,36	Baixa	Subarredondado

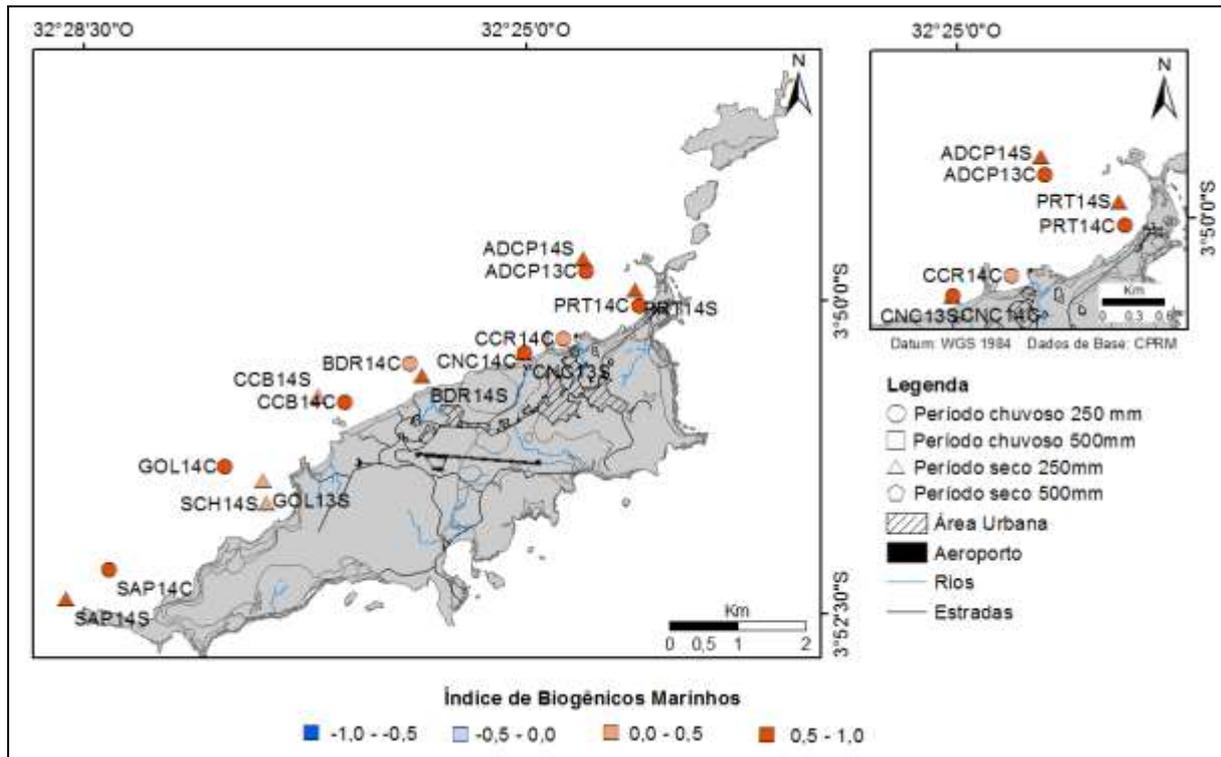
Com base na análise de morfoscopia, as amostras apresentaram grãos com baixa esfericidade e subarredondados, independente das frações avaliadas ou do período sazonal.

As distribuições do índice biogênico de acordo com a malha amostral selecionada e a variação sazonal estão dispostas nas figuras 8.7 as frações de 250mm para ambos períodos e 8.8 as frações de 500mm para ambos períodos também.

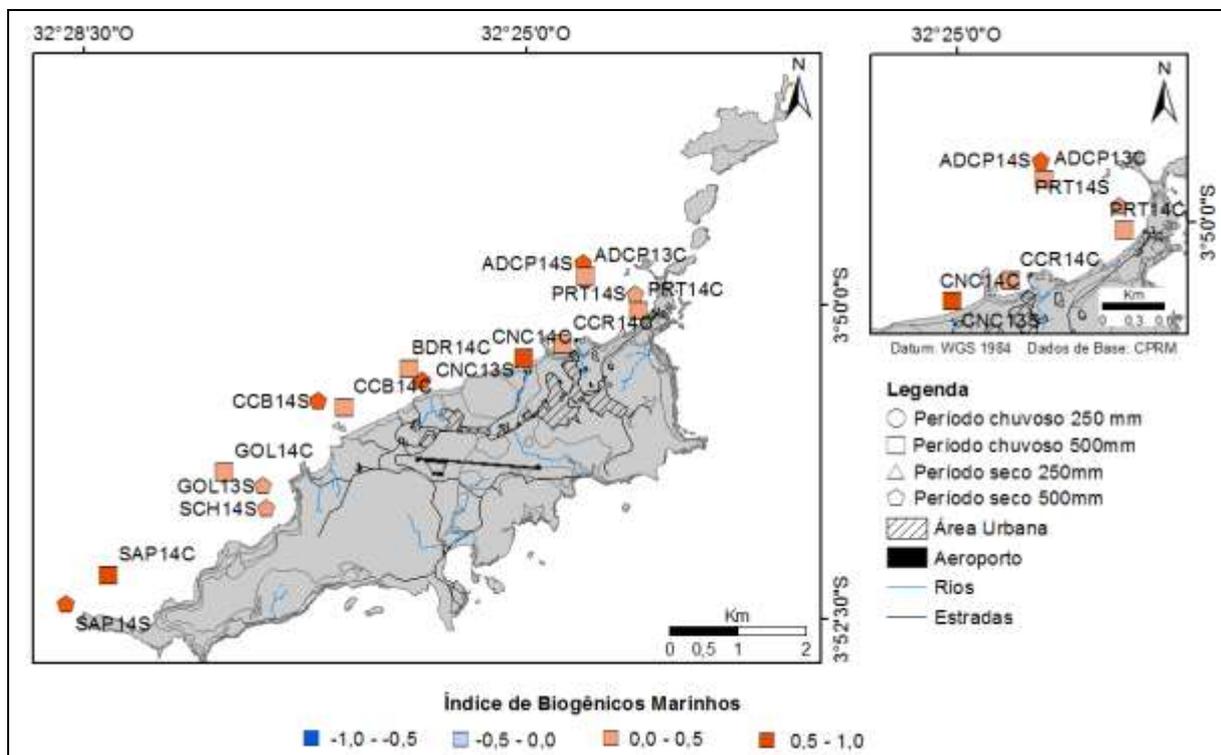
Para o período seco, na fração de 0,250 mm e de 0,500mm, todas as amostras analisadas possuem um índice biogênico maior que zero, ou seja, nessa fração dessas amostras, foi observada uma maior incidência de microrganismos (foraminíferas, tubos de verme), assim como os fragmentos (algas calcárias, coral, carapaças). Na fração de 0,500 mm apenas 25% tem uns índices biogênicos marinhos maiores que a fração de 0,250mm. Análogo ao seco, o período chuvoso apresentou índices positivos em todas as frações (0,250mm e 0,500mm) para as amostras analisadas, mas apenas 12,5% das amostras na fração de 0,500mm apresentaram um índice de biogênicos marinhos maior do que fração de 0,250mm.

Em ambas as frações o material terrígeno é composto por fragmentos de rocha e minerais pesados, pois não há quartzo em nos sedimentos de Fernando de Noronha (MANSO et al., 2010; SANTOS, 2002).

Os resultados das frações analisadas (0,500mm (1  $\phi$ ) e 0,250mm (2  $\phi$ )) foram interpretados de modo diferenciado ao que Pilkey et al. (1967, apud MAHIQUES et al., 1998) afirmam, pois segundo os autores, os fragmentos bioclásticos são mais comumente encontrados nas frações 0,500 mm (1  $\phi$ ) do que nas frações 0,250 mm (2  $\phi$ ), mas tal afirmativa opõe-se ao resultado encontrado na plataforma adjacente à Fernando de Noronha, visto que a fração de 0,250 mm possui um quantitativo de biogênicos maior (12,5% de amostras a mais em relação a fração de 0,500 mm). Resultado semelhante foi encontrado por Santos (2016) no estuário do Rio Formoso (PE), assim como nas amostras adjacentes às plataformas de Itamaracá e ao Porto do Recife estudadas nos capítulos anteriores do presente trabalho. Esse comportamento explica-se pela grande presença de foraminíferos nestas frações mais finas.



**Figura 8.7** – Distribuição do Índice de Biogênicos Marinhos de acordo com a classificação de Mahiques et al. (1998) na fração de 250mm em ambos períodos sazonais para as amostras coletadas na plataforma insular adjacente ao arquipélago de Fernando de Noronha.



**Figura 8.8** – Distribuição do Índice de Biogênicos Marinhos de acordo com a classificação de Mahiques et al. (1998) na fração de 500mm em ambos períodos sazonais para as amostras coletadas na plataforma insular adjacente ao arquipélago de Fernando de Noronha.

### 8.4.3. Análises Geoquímicas

Os resultados das análises geoquímicas de carbonato de cálcio, matéria orgânica total, composições elementares de C, N e P, razões isotópicas  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ , e as razões elementares (C/N e C/P) das 25 amostras coletadas nos períodos sazonais secos e chuvosos na plataforma adjacente a Fernando de Noronha, estão dispostos na tabela 8.3.

#### 8.4.3.1. Análise do carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e matéria orgânica total (MOT)

Ao observar toda a malha amostral (Fig. 8.9) coletada nos quatro períodos sazonais, tem-se uma uniformidade nos teores de carbonato. O valor mínimo observado foi 73,2% na amostra 13 (GOL14C) e o máximo foi de 98,1% na amostra 7 (GOL13S), ambas na região da Baía dos Golfinhos. De acordo com a classificação de Larssoneur et al. (1982), todas as amostras coletadas são biogênicas, pois apresentaram um teor de carbonato acima de 70%.

Análogo os teores de carbonato os teores de matéria orgânica total (Fig. 8.10) não apresentaram uma variação significativa entre os períodos sazonais e de um ano e outro, mantendo uma média global de 1,66% para todas as amostras. O valor mais baixo de matéria orgânica total observado nas amostras em geral foi 0,80%, na amostra 10 (CCB13S) – Cacimba do Padre, e o mais elevado foi na amostra 1 (SCH13C) – Sancho – que foi 2,87%.

#### 8.4.3.2. Carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT)

Para os teores de carbono orgânico total avaliado foram observados os seguintes comportamentos para os períodos sazonais:

- Chuvoso 2013: Não foram observadas variações significativas nos teores (máximo de 1,12% e mínimo de 0,66%), com uma média de 0,81%.

- Seco 2013: Em 80% das amostras coletadas, o valor médio foi de 0,7% (com um máximo de 1,1% e mínimo de 0,5%). O teor de 20% da malha amostral não foi obtido em virtude de um erro de análise;

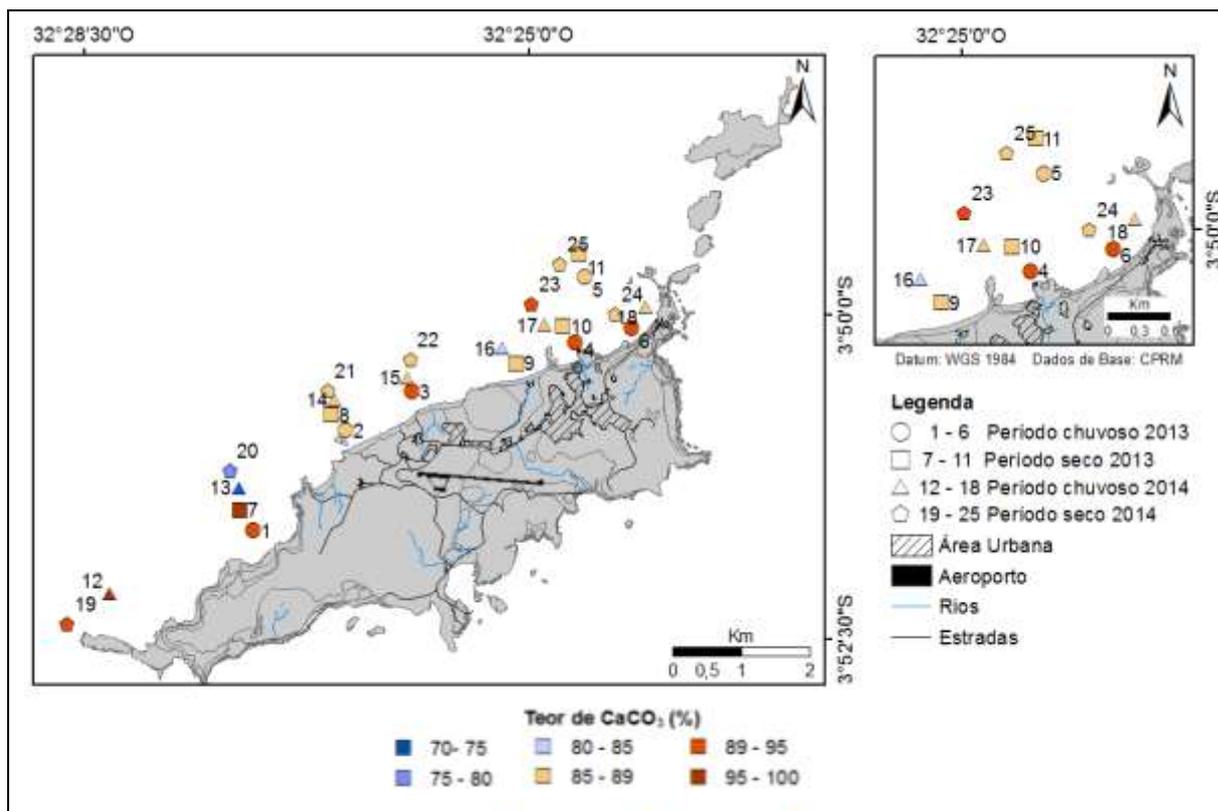
- Chuvoso 2014: Os teores de carbono orgânico total observados variaram de 0,67% à 3,44%, com média 1,44% para as amostras;

- Seco 2014: Os teores variaram de 0,84% à 4,29%. Dos valores mensurados para o período seco de 2014, 85,7% das amostras possuem uma média de 2,01%, e as demais 14,3% das amostras não tiveram seu teor obtido em virtude de erro de análise.

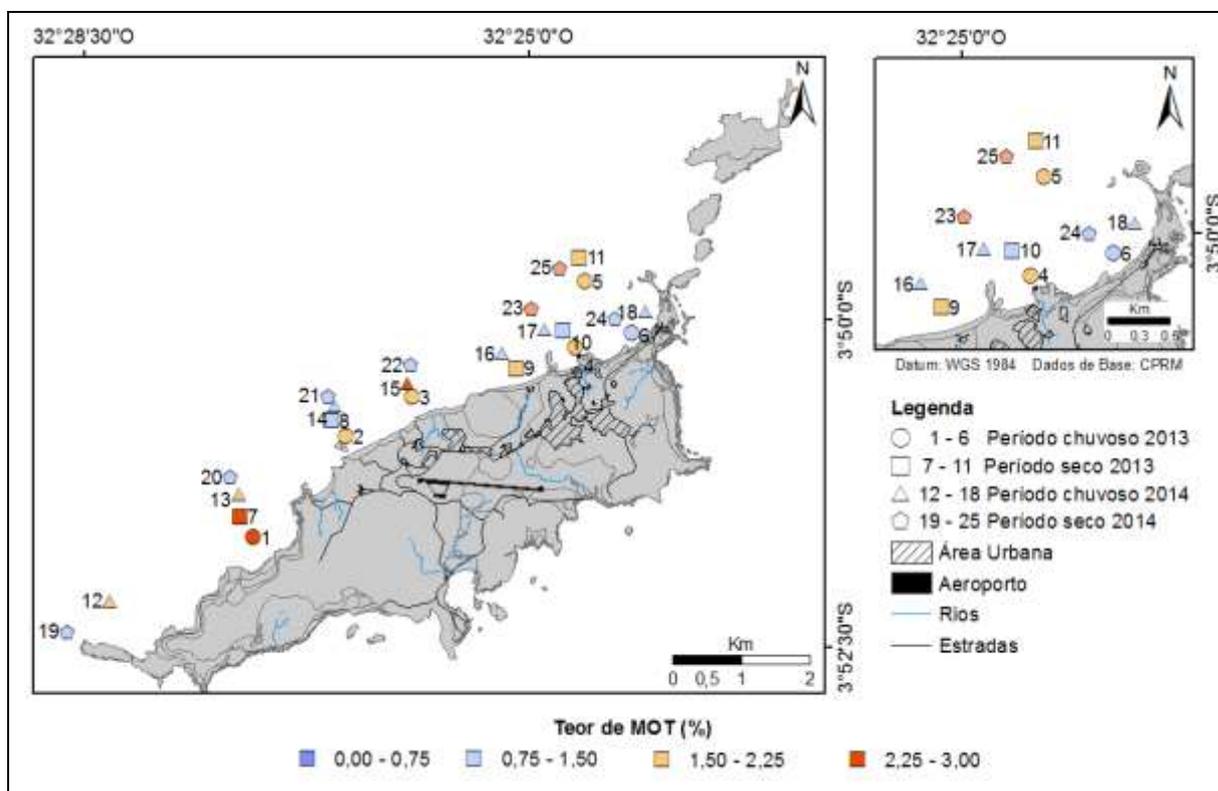
As distribuições espaciais dos teores encontram-se na figura 8.11.

**Tabela 8.3** – Período sazonal, número da amostra, coordenadas, carbonato, matéria orgânica total, composições elementares, razões isotópicas e as Razões C/N e C/P.

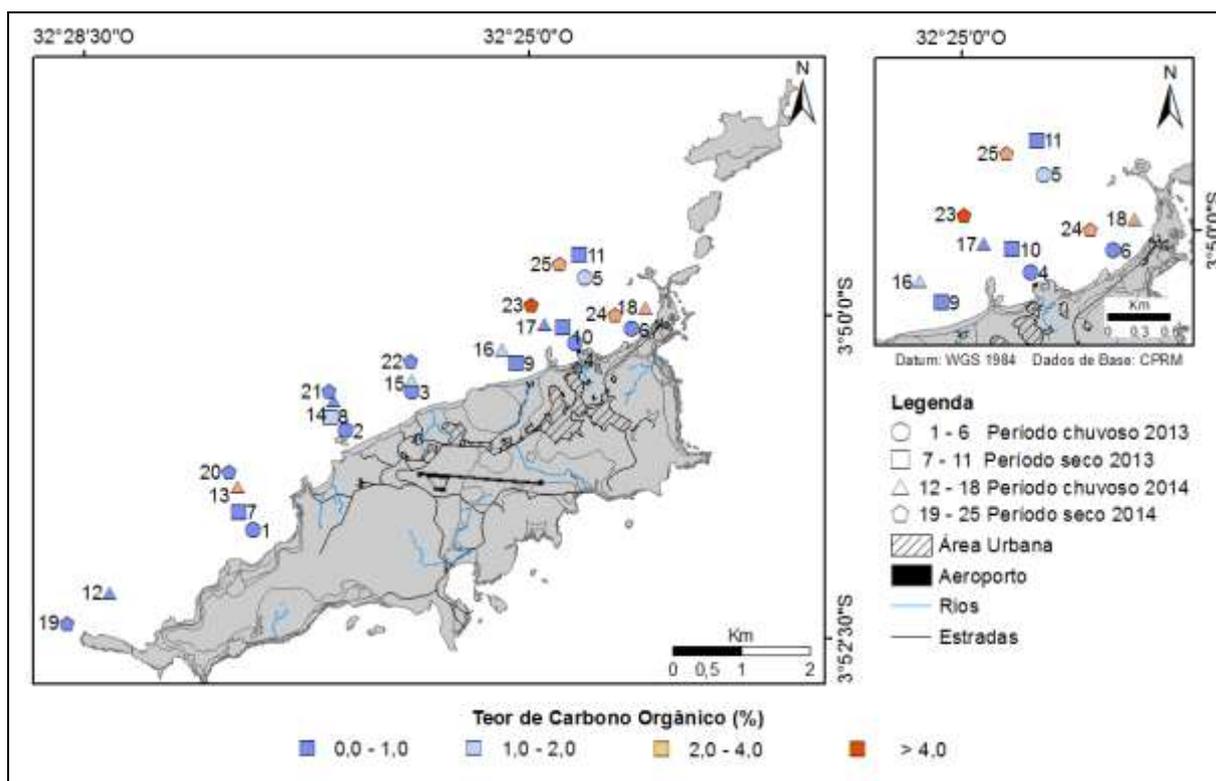
Período	Número	ID Amostra	Latitude	Longitude	Prof. (m)	Teor de CaCO <sub>3</sub> (%)	Teor de MOT (%)	N total (%)	COT (%)	P Total (μmol/g)	P Orgânico (μmol/g)	P Inorgânico (μmol/g)	Razão C/N	Razão C/P	δ <sup>15</sup> N	δ <sup>13</sup> C
Chuvoso 2013	1	SCH13C	-3,856467	-32,455083	25,0	93,37	2,87	-	0,80	0,20	0,12	0,08	-	6,48	-	-
	2	CCB13C	-3,84695	-32,44365	15,0	87,60	2,00	-	0,66	0,25	0,14	0,11	-	4,58	-	-
	3	BDR13C	-3,8433	-32,432133	9,1	90,70	2,00	-	0,70	0,22	0,12	0,10	-	5,79	-	-
	4	CCR13C	-3,838483	-32,411900	5,0	90,4	1,77	-	0,84	0,23	0,12	0,11	-	6,74	-	-
	5	ADCP13C	-3,829533	-32,408883	19,0	86	2,00	-	1,12	0,31	0,17	0,14	-	6,68	-	-
	6	PRT13C	-3,8349	-32,404783	3,8	93,17	1,43	-	0,74	0,23	0,13	0,10	-	5,82	-	-
Seco 2013	7	GOL13S	-3,856467	-32,455083	23,0	98,1	2,47	0,89	-	0,23	0,14	0,09	-	-	1,09	-
	8	CCB13S	-3,84695	-32,44365	15,0	90,9	0,80	-	1,11	0,26	0,14	0,13	-	8,17	-	-
	9	CNC13S	-3,839522	-32,417212	12,0	86,4	1,63	-	0,48	0,28	0,17	0,11	-	2,75	-	-
	10	CCR13S	-3,838483	-32,411900	10,0	90,1	0,93	-	0,72	0,22	0,14	0,09	-	5,32	-	-
	11	ADCP13S	-3,829533	-32,408883	18,0	87,8	2,07	-	0,49	0,26	0,18	0,08	-	2,76	-	-22,52
Chuvoso 2014	12	SAP14C	-3,869217	-32,471767	28,8	97,7	1,90	-	0,80	0,22	0,13	0,10	-	6,26	-	-21,05
	13	GOL14C	-3,8555	-32,456467	25,0	73,2	2,07	0,11	3,44	0,35	0,20	0,15	31,98	17,57	0,02	-
	14	CCB14C	-3,84695	-32,440717	15,0	85,6	1,50	-	0,51	0,22	0,13	0,09	-	4,02	-	-21,68
	15	BDR14C	-3,84180	-32,432133	9,0	87,7	2,50	-	1,52	0,23	0,14	0,09	-	10,65	-	-
	16	CNC14C	-3,84033	-32,417017	12,3	83,2	1,13	-	1,05	0,23	0,13	0,09	-	7,87	-	-
	17	CCR14C	-3,838483	-32,411900	5,0	89	1,27	-	0,67	0,27	0,16	0,11	-	4,25	-	-
Seco 2014	18	PRT14C	-3,834056	-32,401861	2,3	87,9	1,43	0,09	2,08	0,17	0,10	0,07	23,27	20,57	4,86	-18,80
	19	SAP14S	-3,873056	-32,477389	28,0	93,7	1,27	-	0,97	0,16	0,10	0,06	-	9,37	-	-21,03
	20	SCH14S	-3,858889	-32,452056	18,0	78,5	1,07	0,41	0,30	0,21	0,10	0,11	0,73	2,90	3,83	-19,41
	21	CCB14S	-3,846167	-32,444111	16,0	88,1	1,20	-	0,84	0,23	0,13	0,10	-	6,22	-	-19,41
	22	BDR14S	-3,842194	-32,430389	14,0	89,8	1,13	0,04	0,98	0,24	0,14	0,11	23,99	7,17	4,03	-20,69
	23	CCR14S	-3,834111	-32,414056	10,0	92,4	1,83	0,06	4,29	0,44	0,26	0,18	77,72	16,76	7,30	-22,64
	24	PRT14S	-3,834417	-32,402194	3,0	88,6	1,50	0,08	2,03	0,19	0,12	0,08	26,92	17,46	6,23	-20,27
	25	ADCP14S	-3,829083	-32,409278	18,0	89,2	1,67	0,06	2,94	0,21	0,13	0,09	52,78	23,05	5,58	-23,31



**Figura 8.9** – Distribuição dos teores de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) para as amostras coletadas na plataforma insular adjacente ao arquipélago de Fernando de Noronha.



**Figura 8.10** – Distribuição dos teores de matéria orgânica total (MOT) para as amostras coletadas na plataforma insular adjacente ao arquipélago de Fernando de Noronha.

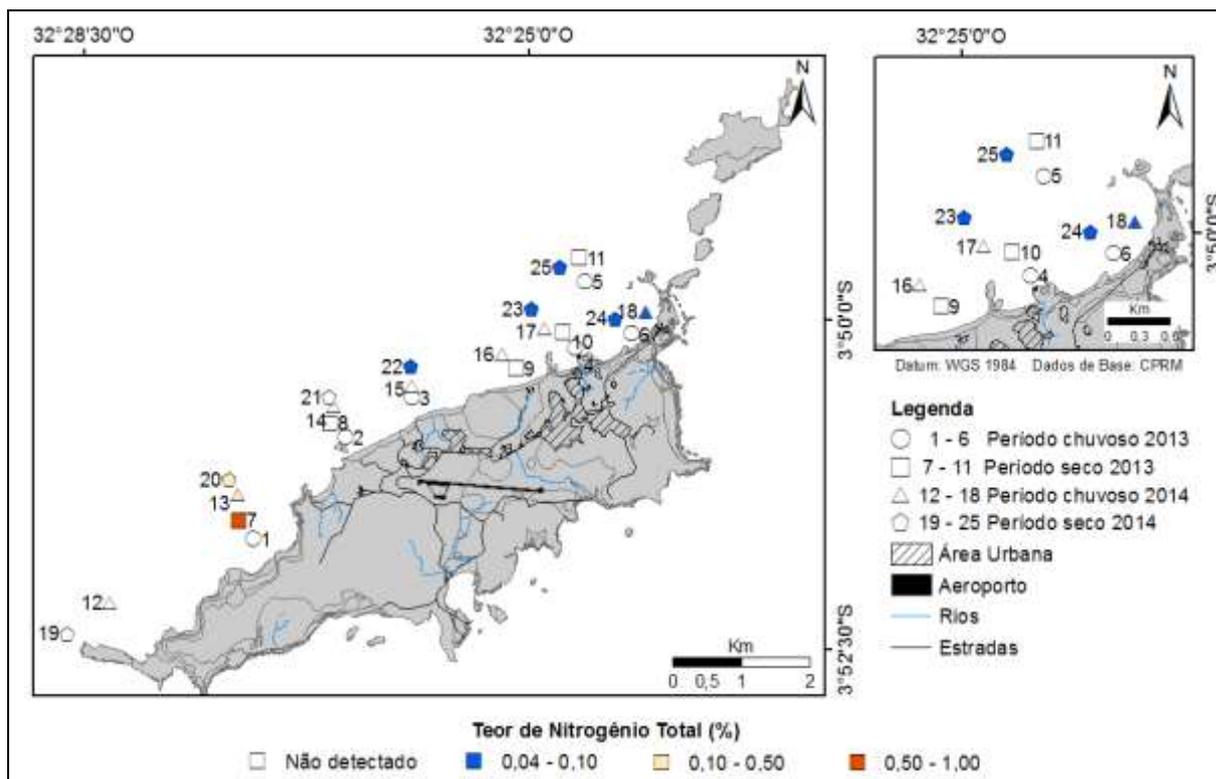


**Figura 8.11** – Distribuição dos teores de carbono orgânico para as amostras coletadas na plataforma insular adjacente ao arquipélago de Fernando de Noronha.

Para os teores de nitrogênio total avaliado obteve-se os seguintes comportamentos para os períodos sazonais:

- Chuvoso 2013: Não foi detectado nenhum valor para o teor de nitrogênio nas amostras avaliadas
- Seco 2013: De toda malha amostral coletada, apenas 20% teve um teor de nitrogênio total detectado, que foi de 0,89%
- Chuvoso 2014: Das amostras coletadas, apenas 28,6% tiveram o teor de nitrogênio detectado, o valores foram 0,09% e 0,11%
- Seco de 2014: Neste período sazonal houve uma detecção em 71,4% das amostras, onde os valores variaram de 0,04% até 0,41%.

As distribuições desses teores ao longo da plataforma estão na figura 8.12.



**Figura 8.12** – Distribuição dos teores de nitrogênio total para as amostras coletadas na plataforma insular adjacente ao arquipélago de Fernando de Noronha.

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

Os teores de  $\delta^{13}\text{C}$  para os períodos sazonais apresentam o seguinte comportamento:

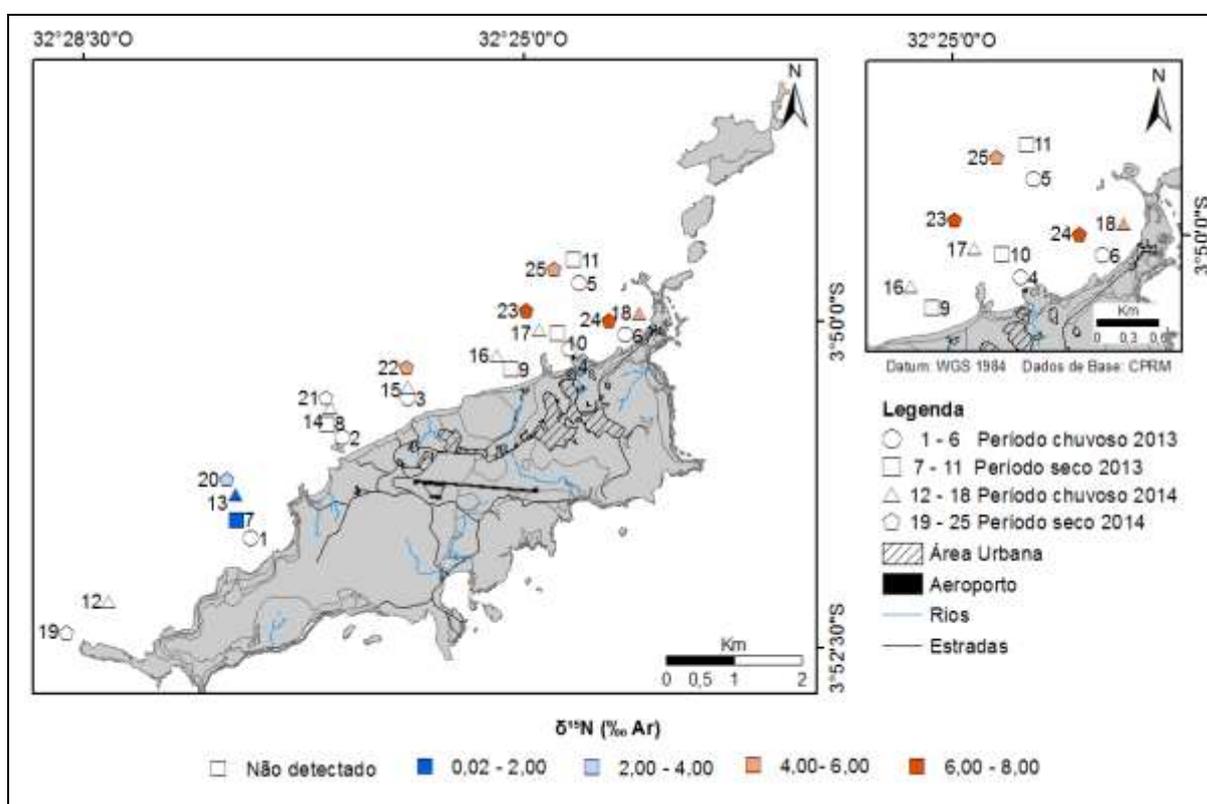
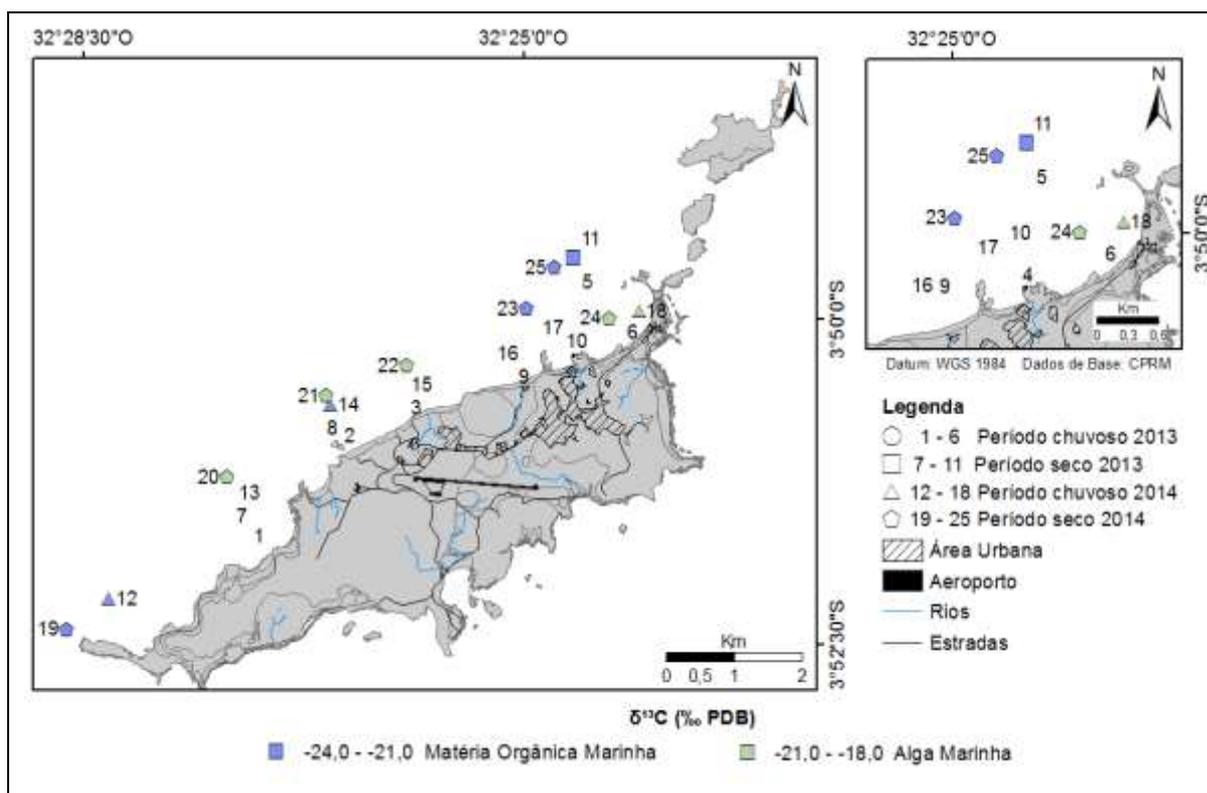
- Chuvoso 2013: não foram mensurados;
- Seco 2013: mensurado em apenas 20% das amostras, sendo de  $-22,52\%$  PDB;
- Chuvoso 2014: teores mensurados em 42,8% das amostras, variando entre  $-21,68\%$  PDB e  $-18,8\%$  PDB
- Seco de 2014: variaram de  $-20,69\%$  PDB a  $-19,09\%$  PDB

As distribuições desses parâmetros estão nas figuras 8.13.

Para os teores de  $\delta^{15}\text{N}$ , as proporções de amostras encontradas são as mesmas dos teores de nitrogênio total. Os valores encontrados foram:

- Chuvoso 2013: não foram encontrados valores;
- Seco 2013: o valor encontrado foi de  $1,09\%$  Ar;
- Chuvoso 2014: os valores encontrados foram de  $0,02\%$  Ar e  $4,86\%$  Ar;
- Seco 2014: os valores apresentaram uma variação entre  $3,83\%$  Ar a  $7,30\%$  Ar, com média  $5,39\%$  Ar.

As distribuições desses parâmetros estão nas figuras 8.14.



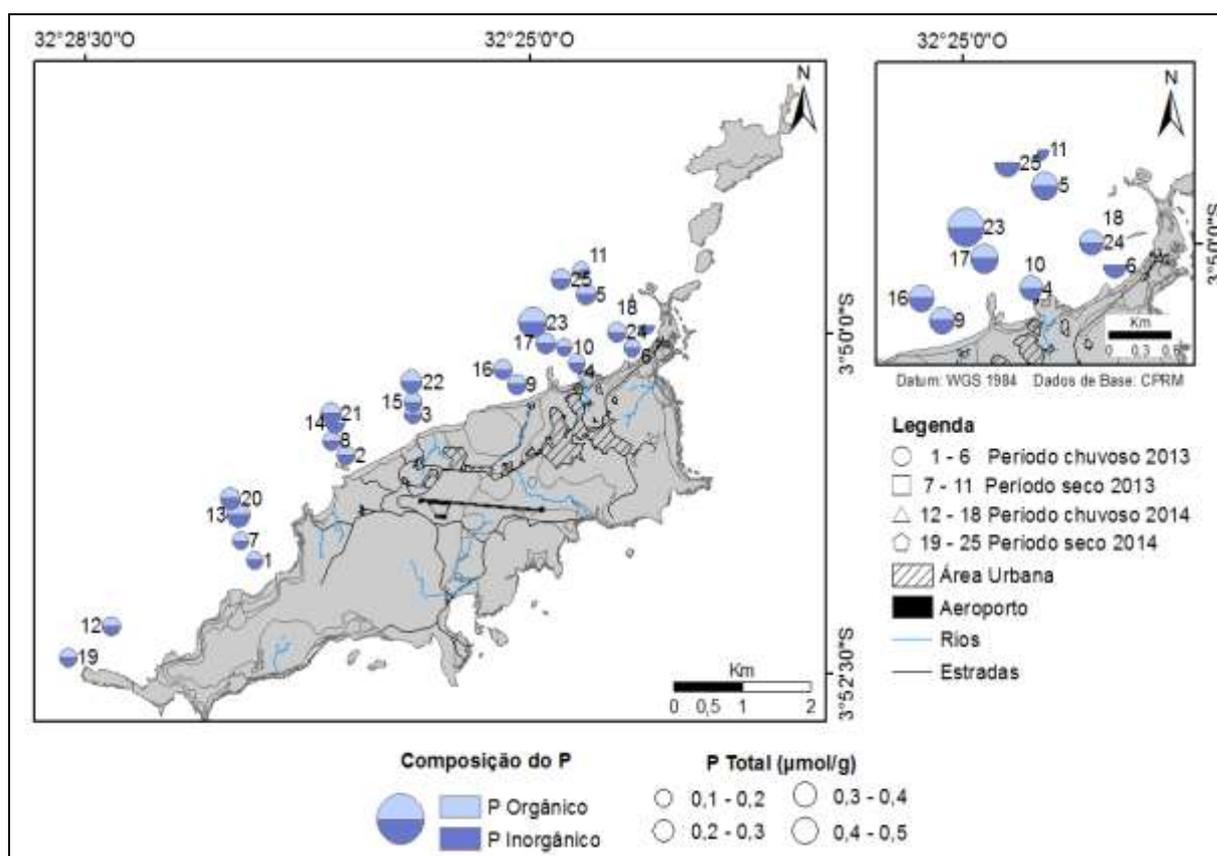
#### 8.4.3.4. Análise dos conteúdos de fósforo

Em todas as amostras, independente do período sazonal, a maior fração do fósforo total foi o fósforo orgânico. Os teores de fósforo total (PT) foram bem homogêneos nas amostras. O valor mais baixo encontrado foi de  $0,16\mu\text{mol/g}$  e o valor mais alto foi de  $0,44\mu\text{mol/g}$ , com média geral de  $0,24\mu\text{mol/g}$ . Das 25 amostras analisadas, 64% apresentam um valor abaixo da média.

Os teores de fósforo orgânico (PO) variam de  $0,01\mu\text{mol/g}$  até  $0,26\mu\text{mol/g}$ , com média geral de  $0,14\mu\text{mol/g}$ . Das 25 amostras coletadas, 68% apresentaram valores abaixo da média observada para o fósforo orgânico.

As frações de fósforo inorgânico (PI) compuseram a menor parte do fósforo total. Os teores variaram de  $0,06\mu\text{mol/g}$  à  $0,18\mu\text{mol/g}$ , com média de  $0,10\mu\text{mol/g}$ . Das 25 amostras, 65% estão com os valores de fósforo inorgânico abaixo da média encontrada.

A composição do fósforo total através das somas das frações e a distribuição do fósforo total ao longo da área de estudo estão nas figuras entre 8.15.



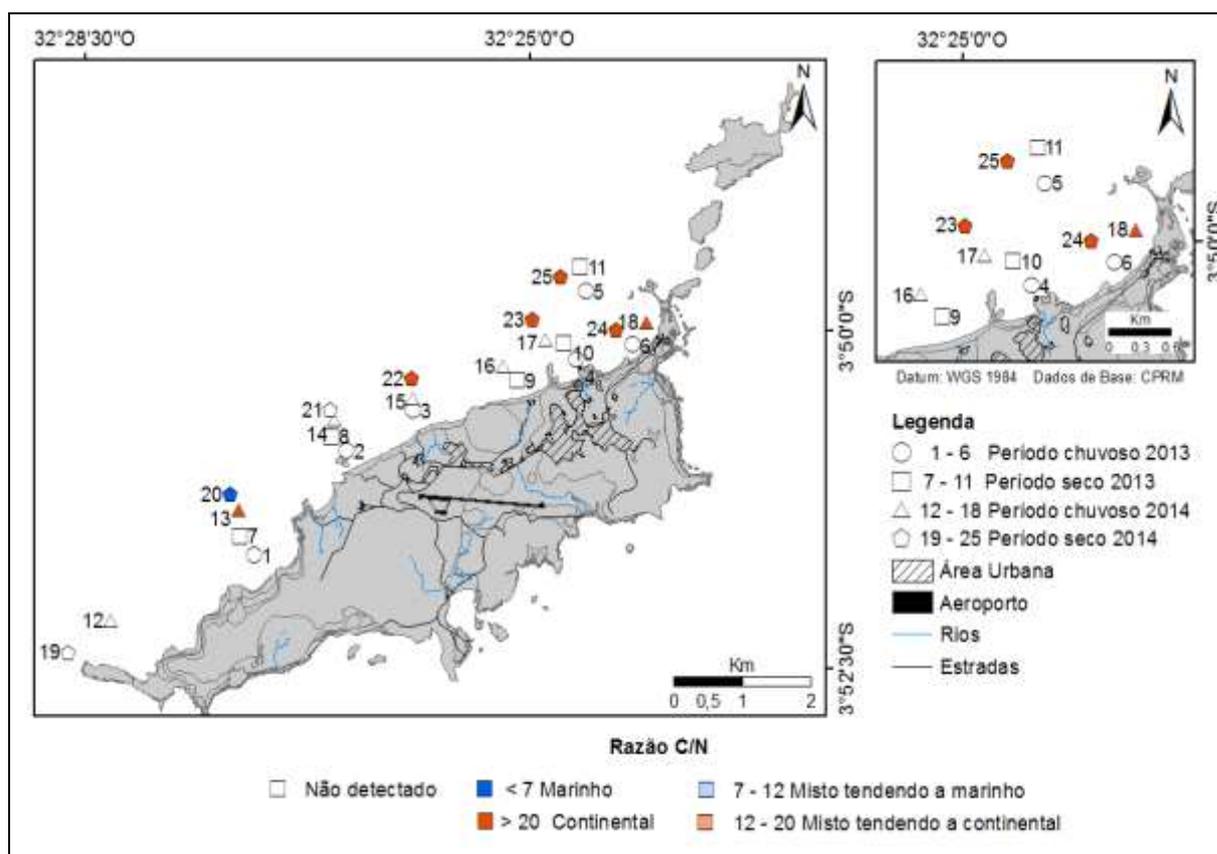
**Figura 8.15** – Composição dos teores de fósforo total como soma das frações para as amostras coletadas na plataforma insular adjacente ao arquipélago de Fernando de Noronha. Os períodos estão divididos de acordo com a numeração (2013 chuvoso: 1 a 6; 2013 seco: 7 a 11; 2014 chuvoso: 12 a 18; 2014 seco: 19 a 25).

#### 8.4.3.5. Razão C/N e C/P

Em virtude da ausência de dados de nitrogênio em diversas amostras, as razões C/N foram classificadas de acordo com Bordoviskiy (1965) e Meyers, (1997) e separadas da seguinte forma em concordância com os períodos sazonais:

- Chuvoso 2013: não houveram dados detectados para esse período;
- Seco 2013: mesmo tendo sido detectado valores de nitrogênio total, a razão não foi obtida devido a um erro de análise no teor de carbono orgânico;
- Chuvoso 2014: Os valores encontrados foram 23,27 e 26,92, classificando o material como oriundo de aporte continental;
- Seco 2014: foi o período com maior detecção de valores, sendo o valor mínimo 0,73 caracterizando-o como de origem marinha, e o máximo 77,72, caracterizando-o como de origem continental.

A distribuição da razão C/N nos pontos coletados encontra-se na figura 8.16.

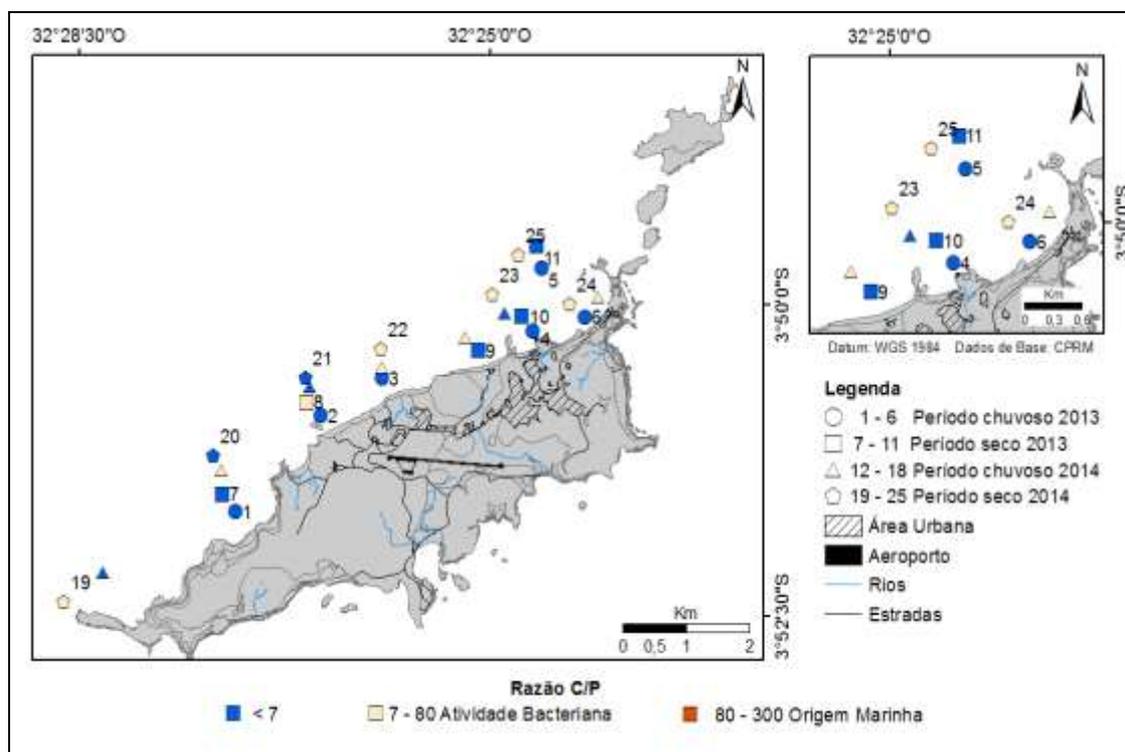


**Figura 8.16** – Distribuição da razão C/N de acordo com a classificação proposta por Bordoviskiy (1965) e Meyers, (1997) para a matéria orgânica sedimentar em ambientes marinhos para as amostras coletadas na plataforma insular adjacente ao arquipélago de Fernando de Noronha.

Os valores obtidos da razão C/P foram classificados de acordo com Ruttenger & Goñi (1997), no qual o valor mínimo C/P é 7 para indicar atividade bacteriana. A distribuição das amostras nas classificações da razão C/P foram a seguinte:

- Chuvoso 2013: todos os valores obtidos para a razão C/P estão abaixo do valor 7, que é o valor inicial para indicar atividade bacteriana;
- Seco 2013: das amostras coletadas, 20% não pôde ser mensurado por não ter o dado de carbono. Para as demais, 60% estão abaixo do valor 7 e os 20% restantes está classificado como atividade bacteriana;
- Chuvoso 2014: Os valores dividiram-se e apenas duas classes, onde 42,9% das amostras estão abaixo do valor 7, e as 57,1% amostras restantes foram classificadas como matéria orgânica oriunda de atividade bacteriana;
- Seco 2014: Houve predomínio de 71,4% das amostras classificadas como atividade bacteriana. Os valores abaixo de 7 e as amostras classificadas como matéria orgânica oriunda de atividade marinha ou mista englobam 14,3% das amostras cada.

As distribuições dos valores estão nas figuras 8.17.

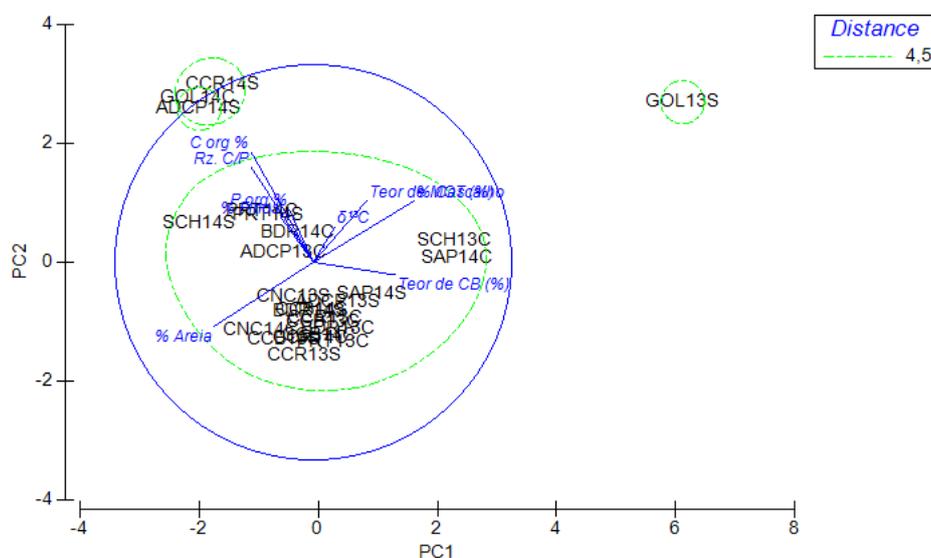


**Figura 8.17** – Distribuição da razão C/P de acordo classificação proposta Ruttenger & Goñi, (1997) para a matéria orgânica sedimentar em ambientes marinhos para as amostras coletadas na plataforma insular adjacente ao arquipélago de Fernando de Noronha.

#### 8.4.4. Análises estatísticas

##### 8.4.4.1. PCA

Os valores utilizados para a análise de componentes principais foram: teor de  $\text{CaCO}_3$  (%), teor de MOT (%), % cascalho, % areia, % finos (correspondente ao % de silte + % de argila), C orgânico, P orgânico, Razão C/P e  $\delta^{13}\text{C}$  para todas as amostras juntas (Fig. 8.18).



**Figura 8.18** – Análise dos componentes principais das amostras adjacentes a Fernando de Noronha.

Os dois principais autovetores detêm entre si 53,8% da informação total das variantes, onde o componente PC1 apresentou 31,2% e o PC2 complementou com 22,6%. Na Tabela 8.4 estão descritos os componentes principais calculados através do PCA.

**Tabelas 8.4** - Componentes principais calculados através do PCA para os sedimentos da plataforma continental adjacente a Fernando de Noronha

Variável	PC1	PC2
Teor de $\text{CaCO}_3$ (%)	0,415	-0,064
Teor de MOT (%)	0,259	0,310
% Cascalho	0,506	0,310
% Areia	-0,500	-0,324
% Finos	-0,164	0,230
C orgânico %	-0,314	0,560
P orgânico %	-0,121	0,266
Razão C/P	-0,312	0,480
$\delta^{13}\text{C}$	-0,108	0,179

No PC1 as cargas positivas foram regidas pelo percentil de cascalho, e pelos teores de carbonato de cálcio e matéria orgânica total, as cargas negativas foram regidas pelos demais componentes. No PC2 as cargas negativas foram regidas pelos teores de carbonato de cálcio e o percentil de areia, as positivas foram regidas pelos demais componentes. Com isso foi possível fazer agrupamento de 2 grupos e 2 amostras isoladas:

- Grupo 1 – Este grupo englobou 8% das amostras. No PC1 agrupam cargas que variam do -1 ao -2, já no PC2 ele agrega cargas que variam de -2 ao +3. O posicionamento entre no PC1 é evidenciado pela influência dos percentis de areia e o teor de carbono orgânico elevado – de acordo com a literatura – e, por conseguinte, uma razão C/P elevada. No PC2 o equilíbrio é mantido pelos percentis de cascalho e areia, associado aos teores de carbonato e carbono orgânico equilibrando as cargas;

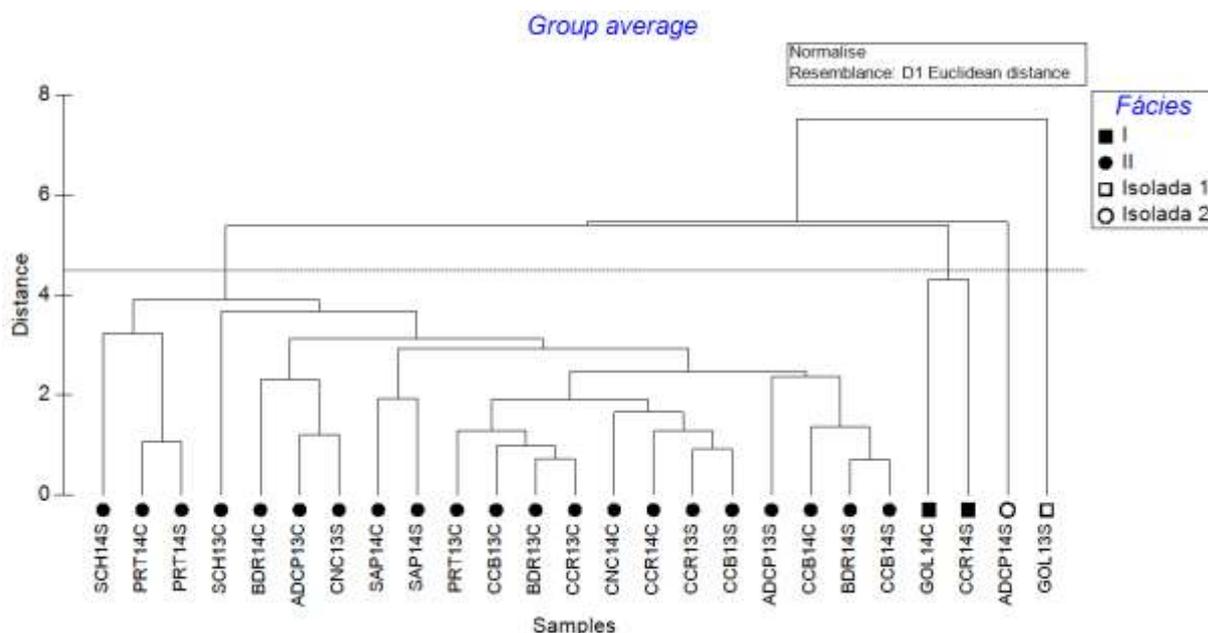
- Grupo 2 – Composto com 84% das amostras, agrupou cargas que variaram de -2 a +2 em ambos os vetores (PC1 e PC2). Em ambos os vetores as cargas foram regidas pelos teores de carbonato de cálcio, percentil de areia e a razão C/P baixas;

- Isolada 1 – Composto pela amostra isolada GOL13S (4% da malha amostral), engloba cargas positivas do PC1 (próximo a 6) e no PC2 situa-se próximo ao ponto 2,5. O posicionamento desta amostra no gráfico mostra que o teor de cascalho foi significativamente importante para o PC1 e PC2, seguido apenas dos teores de carbonato de cálcio, que equilibra o posicionamento no PC2, já que neste vetor a carga do carbonato é negativa;

- Isolada 2 – Composta pela amostra isolada ADCP14S (4% da malha amostral), situado no ponto -2 (PC1) e -2,5 (PC2). A amostra possui características semelhantes ao grupo 1, mas apresentou teores mais elevados de carbono orgânico e razão C/P (em relação aos demais grupos), associados aos teores de carbonato e principalmente foi regida pelo percentil de finos que foi o maior em toda a malha amostral (finos > 4,0%).

#### 8.4.4.2. Análise de agrupamento (Cluster)

Para realizar a análise de agrupamento foram utilizados os mesmos parâmetros da PCA, que são: teor de  $\text{CaCO}_3$  (%), teor de MOT (%), % cascalho, % areia, % finos (correspondente ao % de silte + % de argila), C orgânico, P orgânico, Razão C/P e  $\delta^{13}\text{C}$  para todas as amostras juntas (Fig. 6.19).



**Figura 8.19** – Dendrograma (Cluster) da análise de agrupamento para as amostras adjacentes a Fernando de Noronha.

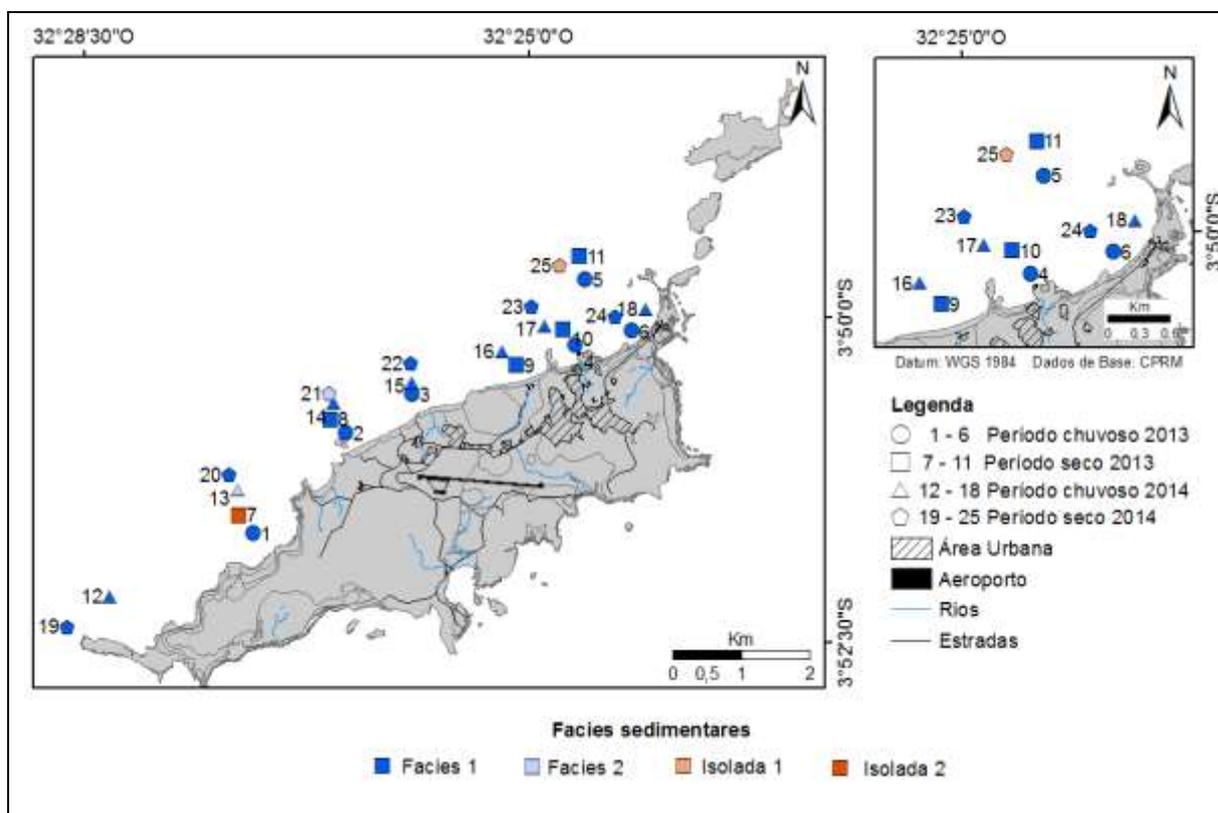
A faciologia de sedimentos na área de estudo, permitiu identificar um grande grupo e uma amostra isolada. Essa determinação foi feita com o corte transversal na distância euclidiana 5 na análise de agrupamento com base nas características das amostras. As características das facies identificadas estão na tabela 8.5.

**Tabela 8.5** – Características das classes sedimentares reconhecidas através da análise de agrupamento (Cluster) dos sedimentos no período das amostras adjacentes a Fernando de Noronha

Fácies	Teor de CB (%)	Teor de MOT (%)	% Cascalho	% Areia	% Finos	C org %	P org %	Razão C/P	$\delta^{13}C$
1	82,80	1,95	6,08	93,78	0,14	3,87	0,23	17,17	-23,39
2	88,87	1,59	3,24	96,41	0,34	1,02	0,13	8,12	-23,69
Isolada 1	98,10	2,47	89,29	10,57	0,14	-	0,14	-	-
Isolada 2	89,20	1,67	0,00	95,82	4,18	2,94	0,13	23,05	-23,31

- Na facies I os componentes atuantes na caracterização são os elevados percentis de areia com a presença de cascalho, uma razão C/P mediana, devido ao teor de carbono orgânico presente nas amostras;
- Na facies II o agrupamento foi gerida pelo elevado teor de areia e cascalho que foram maiores que a facies 1, assim como os teores de carbono e razão C/P que foram mais baixos que a facies 1;

- A amostra Isolada 1 apresenta teores de carbonato semelhantes ao facies 2 e teores de carbono orgânico e razão C /P semelhante aos facies 1, mas ficou isolada dos demais grupos em virtude do percentil de finos ser o mais elevado em relação as todas as amostras avaliadas;
- Amostra Isolada 2, teve como principal característica o elevado percentil de cascalho, seguido dos teores de carbonato e matéria orgânica total que foram maiores que as demais facies em geral; As distribuições das facies ao longo da plataforma estão dispostas na figura 8.20.



**Figura 8.20** – Facies sedimentares para as amostras adjacentes a Fernando de Noronha.

## 8.5. DISCUSSÃO INTEGRADA

Em todos os períodos sazonais a plataforma interna adjacente ao arquipélago de Fernando de Noronha apresenta fácies textural areia (SHEPARD, 1954). O diâmetro médio geral variou de grânulo a areia muito fina (FOLK & WARD, 1957), onde no período chuvoso há a presença de areia grossa à fina, com predomínio de areia fina. Nos períodos secos os teores variam de grânulos a areia muito fina, mas mantem-se o predomínio de areia fina. A composição das frações sedimentares evidenciou que não há presença de argila nas amostras, e que exceto as estações 7 (GOL13S, período seco) e 12 (SAP14C, período chuvoso), que apresentaram teores de cascalhos mais elevados (89.29%, e 24.44% de cascalho respectivamente), os teores de areia são em média 97.6%, caracterizando um ambiente homogêneo. Essa baixa variação sedimentar nos pontos estudados, indica que os ambientes encontram-se submetidos aos mesmos agentes geológicos – como a energia das ondas e marés – independentemente dos períodos sazonais, permitindo que ocorra a seleção uma população em uma determinada faixa granulométrica (SAHU, 1964). Observando a composição sedimentar, é possível evidenciar a presença de duas composições, as quais as amostras localizadas a sudoeste (1, 7, 12, 13, 19 e 20) são compostas por sedimentos mais grossos, diferindo das demais amostras localizadas a nordeste apresentam material mais fino.

O grau de seleção variou de pobremente selecionado a muito bem selecionado (FOLK & WARD, 1957), com predomínio de grãos bem selecionados, independente do período sazonal, evidenciando a homogeneidade sedimentar presente nas amostras independente do período sazonal, característica inerente as das áreas de plataformas abertas, sujeitas a elevada energia dinâmica das ondas (SAHU, 1964). Em um estudo sedimentar sazonal na praia e baía do Sueste, na região meridional (Mar de Fora) da ilha de Fernando de Noronha, Barcellos et al. (2011) e Barcellos (2012) observaram que em todos os períodos avaliados os grãos foram compostos por areia, com predominância de grãos bem selecionados em todos os períodos. Na região sudeste da área de estudo, apenas a amostra 7 foi bem selecionada, devido ao seu elevado teor de cascalho, compondo uma feição única, mas as demais amostras do agrupamento (1, 12, 13, 19, 20) que apresentaram as frações mais grossas de modo geral, são pobremente selecionadas.

Em todos os períodos sazonais houve predomínio nos teores de areia das amostras, exceto apenas na estação 7, onde a amostra foi composta majoritariamente por cascalho (89,3%). Assim como os demais parâmetros anteriores, as amostras com maiores teores de material cascalhoso em todos períodos sazonais localizam-se na região sudeste da área de

estudo. Comparando com o trabalho realizado por Barcellos et al (2011) e Barcellos (2012), as amostras da área de plataforma são similares, visto que foi evidenciada a presença de areia fina em todos os períodos, com a presença de areia média e grossa em alguns períodos, tanto na área submersa – a baía propriamente dita – quanto na área de praia, as amostras apresentaram grande similaridade.

As informações existentes sobre a dinâmica de circulação das ilhas oceânicas é embasada nas modelagens numéricas, mas ao avaliar a dinâmica costeira destas regiões, faz-se de extrema necessidade a incorporação fatores importantes, como as forçantes não lineares, a dissipação de energia ao longo de cada lado da ilha, os movimentos baroclínicos e o gradiente topográfico (SPALL, 2003). Ao associar o comportamento sedimentar espacial, associados com a estrutura geológica estudada por Assis et al. (2014) e o sistema de circulação de correntes de Stramma e Schott (1999) para região, é possível validar a circulação sedimentar proposta por Manso et. al (2011), no qual os sedimentos deslocam-se de NE para SW, onde a região da Cacimba do Padre (amostras 2, 8 e 23 – CCB13S, CCB14C e CCB14S respectivamente) possui uma maior mobilidade sedimentar, e que, após esta região os sedimentos deslocam-se para as áreas mais abertas da plataforma, deste modo, as regiões mais a sudeste da plataforma setentrional adjacente ao arquipélago de Fernando de Noronha apresentam uma composição sedimentar com teores de cascalhos de origem algálica mais elevados, o que ocorre nas amostras 1, 7, 12, 13, 19 e 20 (nas regiões do Sancho, Baía dos Golfinhos e Sapata, todas após a região da Cacimba do Padre) e as praias das região não possuem envelope sedimentar.

Com base na semelhança sedimentar entre as praias e a região submersa que ocorre no arquipélago de Fernando de Noronha, evidenciada por Barcellos et al. (2011) e Barcellos et al. (2016), e na afirmativa de que as praias são acumulações do material solto, que se encontra localizados nas áreas de limite da ação das ondas (KING, 1972) os resultados sedimentares observados foram comparados com o estudo desenvolvido por Manso et. al. (2011) nas praias adjacentes à região nordeste da costa setentrional (a região em estudo), os quais apresentaram seleção e diâmetro médio semelhantes, o que é possível inferir que há um constante ciclo entre os sedimentos da plataforma e das regiões de praia adjacentes.

Em ambos os períodos o índice de material biogênico marinho foram positivos em ambas as frações, sendo que os maiores valores foram predominantemente nas frações de 250mm. Em todas as amostras analisadas o material terrígeno é composto por fragmentos de rocha e minerais pesados, pois não há quartzo em nos sedimentos de Fernando de Noronha (MANSO et al., 2010; SANTOS, 2002). Os resultados das frações analisadas (0.500mm (1  $\phi$ ))

e 0.250mm (2  $\phi$ ) foram interpretados de modo diferenciado ao que Pilkey et al. (1967, apud MAHIQUES et al., 1998) afirma, pois segundo o autor, os fragmentos bioclásticos são mais comumente encontrados nas frações 0.500 mm (1  $\phi$ ) do que nas frações 0.250 mm (2  $\phi$ ). Esta composição bioclástica é semelhante à observada por Barcellos et al. (2011) e Barcellos et al. (2016) para a região costeira da baía do Sueste, onde os sedimentos da baía e da praia foram compostos por material carbonático em todos os períodos sazonais e os índices de biogênicos foram maiores nas frações de 0.250 mm (2  $\phi$ ). Para as praias da costa setentrional (adjacentes à região de plataforma estudada), Manso et al. (2011) e Valença et al. (2005) observaram composição sedimentar similar ao presente trabalho, com presença de fragmentos de algas coralíneas, corais, braquiópodes, foraminíferos e artrópodes, caracterizando um comportamento diferenciado a estas praias.

Para os períodos sazonais foram observados grãos com baixa esfericidade e subarredondados, semelhante aos observados por Manso et al. (2011). O grau de arredondamento indica que os grãos possuem uma maturidade considerável em relação ao transporte do material. A baixa esfericidade decorre em virtude do material, onde os constituídos por carbonatos minerais tendem a ser mais quebradiços, além dos demais grãos serem fragmentos das rochas presentes *in loco* (BARROS et al, 2007).

De acordo classificação proposta por Larssoneur et al. (1982) para os teores de carbonato de cálcio, todas as amostras coletadas, independente do período sazonal, foram classificadas como bioclásticos ( $\text{CaCO}_3 > 70\%$ ), já que o teor mais baixo observado nas amostras como um todo, foi de 73.2% de carbonato e a predominância é de valores entre 85-90%. Estes dados são corroborados pelos índices de biogênicos marinhos, que foram positivos em 100% das amostras do período seco e em 71.4% das amostras do período chuvoso para a fração de 0.250 mm (2  $\phi$ ), e foram positivos em 87.5% das amostras do período seco e em 71.4% das amostras do período chuvoso para a fração de 0.500 mm (1  $\phi$ ). Um fator considerável para tal a classificação bioclástica dos sedimentos é que além da composição elevada de carapaças, algas calcárias e fragmentos de coral, há a presença de rochas calcárias em Noronha (SANTOS, 2002). Os valores de carbonato de cálcio observados no presente estudo são semelhantes ao observados por Barcellos et al. (2011) e Barcellos et al. (2016) para a baía do Sueste.

Os teores de matéria orgânica total não apresentaram uma variação significativa em relação aos períodos sazonais, onde o valor mais baixo de matéria orgânica total observado

nas amostras em geral foi 0.80%, na amostra 4 (CCB13S) e o mais elevado foi na amostra 1 (SCH13C) que foi 2.87%, com uma média geral de 1.55% para todas as amostras. A matéria orgânica apresentou uma correlação positiva com os percentis de cascalho e silte ( $r_s=0.500$  e  $r_s=0.191$  respectivamente), o que correlaciona com a origem biogênica do sedimento. Travassos et al.(2016) evidenciou que na região da Baía dos Golfinhos, os teores de material orgânico presente na coluna d'água foram os mais elevados, decorrente das excreções de grandes grupos de golfinhos rotadores presentes no local, o que explica teores de matéria orgânica total observados nos sedimentos nas amostras 7 (GOL13S) e 13 (GOL14C) situadas na Baía dos Golfinhos e a amostra 1 (SCH13S) situada na região do Sancho, próximo a baía, já que mesmo com uma dinâmica de remoção sedimentar (MANSO et al., 2011) e presença de material mais grosso (areia grossa e cascalho) os teores foram elevados (entre 2,07% e 2,87%). Para as demais regiões os valores tiveram um comportamento semelhante ao observado por Barcellos et al. (2011) e Barcellos et al. (2016), estando associados as frações mais finas de sedimento. Tais valores observados de modo geral, assemelham-se com os dados de Barcellos et al. (2011) e Barcellos et al. (2016) para a baía e a praia do Sueste, onde os teores de matéria orgânica total permaneceram semelhantes durante os períodos sazonais, e semelhantes aos do presente trabalho (em torno dos 2.0%).

Os teores de carbono orgânico total, similar aos demais componentes sedimentares, apresentaram uma característica bastante homogênea entre os períodos sazonais, com teores entre 0.30% e 4.29%, e uma média de 1.40%. De todas as 19 amostras coletadas, os conteúdos de carbono orgânico de 52.6% estão abaixo dos 1.0% e os teores da amostra 1 (GOL13S) não foi obtido devido a um erro ocorrido durante a análise. Dos valores observados para todos os períodos sazonais do presente trabalho, 79% coincidem com os observados por estudo análogo realizado por Barcellos (2012) e Barcellos et al. (2011) para a matéria orgânica, as demais amostras apresentaram valores acima de 2.0%. De acordo com Travassos et al. (2016) os valores de carbono orgânico particulado na região da Baía dos Golfinhos observados pelos autores (3.69%) são de fontes naturais, já que a região é um local de abrigo para golfinhos rotadores (*Stenella longirostris* - Delphinidae), onde grandes grupos com mais de 500 indivíduos se acasalam, amamentam, defecam regurgitam, representando uma fonte de material autóctone. Na região adjacente à Praia do Cachorro está condizente com os valores observados por Travassos et al. (2016) para a região próxima a Biboca, já que no local é realizado o aporte dos efluentes da estação de tratamento presente do arquipélago, e infere-se que há o deslocamento e deposição desse material nas regiões adjacentes.

Os teores de nitrogênio total foram detectados em apenas 8 amostras, sendo 1 do período seco de 2013; 2 do período chuvoso e 5 do período seco de 2014. De modo geral os teores variaram de 0.04% a 0.89%, similares aos observados por Barcellos (2012) no sedimento da praia e baía do Sueste, e por Travassos et al. (2016) para coluna d'água da costa setentrional. O teor mais elevado foi observado na região da Baía dos Golfinhos (amostra GOL13S), e a tal comportamento infere-se a presença dos golfinhos rotadores na região, que realizam suas excreções no local. Um comportamento diferenciado no presente trabalho, foi a correlação positiva entre o teor de nitrogênio total com a fração de cascalho ( $r_s=0.864$ ), o que diferiu dos resultados observados por Barcellos (2012) e Barcellos et al.(2011) para a baía do Sueste, e por Reidhaar et al.(2016) para o mangue salino da baía de Saint Croix, nos quais os teores de nitrogênio são mais elevados nas frações mais finas, corroborando o aporte por meio das emissões dos golfinhos rotadores.

Os teores de fósforo total foram bem homogêneos nas amostras, variando de  $0.16\mu\text{mol/g}$  à  $0.44\mu\text{mol/g}$ , com média geral de  $0.24\mu\text{mol/g}$ . A maior fração do fósforo total é composta pelos teores de fósforo orgânico (PO), que variam de  $0.01\mu\text{mol/g}$  até  $0.26\mu\text{mol/g}$ , com média geral de  $0.14\mu\text{mol/g}$ , e as frações de fósforo inorgânico (PI), compuseram a menor parte do fósforo total variando de  $0.06\mu\text{mol/g}$  à  $0.18\mu\text{mol/g}$ . Os valores de fósforo total mensurados no presente trabalho encontram-se abaixo da média observada Reidhaar et al.(2016) para o mangue salino da baía de Saint Croix (média de  $1,92\mu\text{mol/g}$ ), abaixo dos valores observados por Ennis et al. (2016) para a zona de baixo impacto antrópico da região coralínea a Ilha St. Thomas ( $2,0\mu\text{mol/g}$ ), e próximo aos valores mínimos para o Golfo de Guacanayabo, o Golfo de Batabanó e o arquipélago Sabana Camagüey, situados na plataforma marinha de Cuba (Montalvo, et al., 2010). Os teores de fósforo observados são oriundos da lixiviação do próprio solo do arquipélago, pois apresentam tores extremamente elevados de fósforo disponível (NASCIMENTO, 2002), oriundos principalmente pela origem vulcânica da ilha, que possibilitou a presença de material com teores naturalmente rico em fósforo (ROCHA et al., 2004). Embora estejam abaixo de áreas insulares com influência antrópica, os teores observados são elevados, visto que os sedimentos carbonáticos das zonas tropicais possuem a capacidade de adsorver e armazenar fósforo (Corredor et al., 1999; Frankowski et al., 2002)

Os teores de  $\delta^{13}\text{C}$  nas amostras variaram no total de  $-23.31\text{‰ PDB}$  a  $-18.80\text{‰ PDB}$ , mas os teores foram obtidos apenas para 11 amostras. Com base nas classificações propostas por Bordovskiy (1965), Chester & Riley (1978), Ruttemberg e Goñi (1997), Stein (1991),

Meyer (1997), Lamb et al. (2006) para a matéria orgânica sedimentar em ambientes marinhos, 54.5% das amostras são classificadas como matéria orgânica marinha e os demais 45.5% são classificados como composição algálica marinha, o que corrobora com a natureza do ambiente. Comparando com os resultados observados por Barcellos (2012) e Barcellos et al. (2011) das amostras são semelhantes com os valores para as áreas submersas da baía do Sueste. A classificação coincide com a mensurada Reidhaar et al. (2016) para a região da baía de Saint Croix.

Os teores de  $\delta^{15}\text{N}$  apresentaram valores similares entre os períodos sazonais avaliados, onde os valores variaram de 0,02‰Ar a 7,30‰Ar, de forma análoga aos teores observados por Barcellos (2012) e Barcellos et al. (2011). De acordo com Reidhaar et al. (2016) os valores coincidem com a região da baía de Saint Croix, assim como são análogos aos Ennis et al. (2016) para a zona de baixo impacto antrópico da região coralínea a Ilha St. Thomas. Embora Yamamuro et al. (2003) e Yamamuro & Kamiya (2013) classifiquem tais teores oriundos das algas presentes nas plataformas, afirmam que tal teor não pode configurar como único parâmetro para classificação da matéria orgânica, devido as sobreposições de assinaturas que um sedimento pode ter de acordo com as interações do entorno.

A razão C/N classificou o material como oriundo de aportes continentais, mas devido aos valores de nitrogênio terem sido baixos, proporcionando uma elevada razão C/N. Na praia e baía do Sueste, os valores foram mais baixos, indicando material de origem marinha. Com relação a razão C/P (Fig. 9) 47% dos valores apresentaram-se abaixo do valor 7, que é o valor base na literatura para indicar os processos oriundos de metabolismos bacterianos, os demais 53% são classificados como atividades bacterianas (RUTTENBERG & GOÑI, 1997). Tais valores estão baixos do esperado para classificação como matéria orgânica de origem marinha (80-300), deste modo infere-se que tal comportamento decorre do elevado teor de fósforo nas amostras. A composição das frações elementares, foram observadas também por Assunção et al. (2016), visto que os autores observaram valores semelhantes para aparte mais profunda da coluna d'água – próxima ao substrato. O comportamento decorre da especialização da biota, ao qual promove a ciclagem do material nitrogenado oriundo principalmente dos insumos emitidos da estação de tratamento de esgoto e pelo grande quantitativo de golfinhos rotadores, enquanto o material fosfórico é lixiviado da ilha durante o período chuvoso pelos diversos córregos. Assunção et al. (2016) observaram também que a biota apresenta uma característica diferenciada, visto que não há assimilação do silicato presente no local, o que promove um

aumento da concentração dos teores de silicato a medida que a profundidade cresce enquanto as vazas calcárias são a composição sedimentar predominante (MANSO et al., 2011).

A análise estatística foi fundamental para evidenciar a não existência de uma variação sazonal, visto que os grupos formados assemelham-se entre si, divergindo apenas pelos teores de carbono orgânico das amostras. As amostras isoladas GOL13S e ADCP14S apresentam semelhança com os demais grupos, mas foram diferenciadas em virtude dos teores de cascalho, finos, e matéria orgânica ligeiramente mais alta, respectivamente. Deste modo a única variação apresentada é referente à distribuição sedimentar, que apresentou duas características distintas, na qual a porção Nordeste localizada até a região da Cacimba do Padre é um ambiente de troca sedimentar entre a plataforma e as praias, após tal região, a porção Sudeste, os sedimentos são dispersos em virtude da circulação oceânica e da batimetria do local.

## 8.6. CONCLUSÕES

- Independente do período sazonal, a plataforma insular adjacente à costa abrigada do arquipélago de Fernando de Noronha apresenta uma cobertura sedimentar arenosa, com predominância de areia fina, grãos bem selecionados. O material é composto por sedimentos bioclásticos, com baixos teores de matéria orgânica de origem marinha;

- A distribuição sedimentar apresentou dois padrões, onde a região a sudeste concentra um material com diâmetro médio mais grosso e mal selecionado, diferindo da porção nordeste que concentra um material mais fino e selecionado, refletindo uma distribuição regida pelas correntes, ventos e topografia da região. Na região nordeste o material sedimentar locado na plataforma realiza um fluxo com a região costeira;

- Os dados do presente trabalho possibilitaram inferir que não há variação sazonal na distribuição sedimentar, mas há em alguns períodos variação do aporte da matéria orgânica, e que embora seja uma ilha oceânica isolada de aportes continentais, também lida com os impactos das ações antrópicas decorrentes dos aportes de esgoto e atividades portuárias;

- O teor de fósforo decorre da lixiviação da ilha durante o período chuvoso e os teores de nitrogênio estão amplamente correlacionados com os emissários naturais e as ressurgências.

- A composição das frações arenosas e dos sedimentos, associada à cobertura algálica da plataforma evidenciaram um ambiente propício a para ciclagem e sequestro do carbono na região costeira como as demais plataformas estudadas.

## **9. PAPEL DAS DIFERENTES ÁREAS DE ESTUDO NO SEQUESTRO DE CARBONO.**

### **9.1. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS DISTINTAS ÁREAS DE ESTUDO**

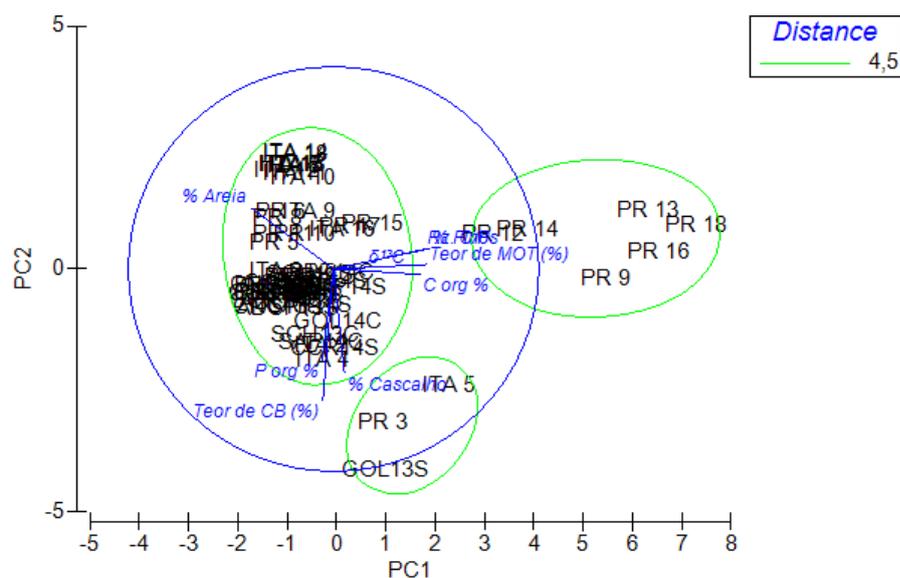
Com o objetivo de comparar as 61 amostras das diferentes áreas de estudo com base em suas características geoquímica-sedimentares, foram realizadas as análises de componentes principais (PCA) e agrupamentos (cluster).

A análise de componentes principais nos fornece informações sobre quais parâmetros são mais atuantes em um determinado conjunto de amostras, permitindo-se a formação de grupos em virtude a tais similaridades. A análise de agrupamento, ou cluster, é uma análise de caráter aglomerativo, que forma um conjunto linear de grupos, onde as características semelhantes vão sendo acrescidas e agrupando o material estudado de modo que cada amostra componha um grupo com outras semelhantes dentre si. Corroborando os dados de ambas análises, é possível visualizar as similaridades entre as características sedimentares das áreas estudadas.

De modo a comparar todas as áreas de maneira semelhante, para as análises de PCA e agrupamento do presente capítulo, foram utilizados os mesmos parâmetros para as análises referidas, nos capítulos de cada área de estudo: teor de  $\text{CaCO}_3$  (%), teor de MOT (%), % cascalho, % areia, % finos (correspondente ao % de silte + % de argila), C orgânico, P orgânico, Razão C/P e  $\delta^{13}\text{C}$ .

#### **9.1.1. PCA**

Com base na análise de PCA, fora elaborado o seguinte gráfico (Fig. 9.1):



**Figura 9.1** – Análise dos componentes principais nas distintas áreas de estudo.

Os dois principais autovetores acumularam 62,9% da informação total das variantes utilizadas para o cálculo, sendo que, 43,5% são englobadas pelo PC1 e os 19,4% restantes pelo PC2. Os componentes principais e as cargas atribuídas a eles em virtude aos vetores estão dispostas na tabela 9.1:

**Tabela 9.1** - Componentes principais calculados através do PCA para os sedimentos das distintas áreas de estudo.

Variável	PC1	PC2
Teor de CaCO <sub>3</sub> (%)	-0,052	-0,649
Teor de MOT (%)	0,455	0,022
% Cascalho	0,053	-0,515
% Areia	-0,403	0,302
% Finos	0,468	0,101
C orgânico %	0,424	-0,027
P orgânico %	-0,055	-0,449
Razão C/P	0,446	0,098
δ <sup>13</sup> C	0,155	0,003

Com base nos dados dispostos na tabela, é possível visualizar que no PC1 as cargas negativas são apenas o teor de carbonato de cálcio, percentil de areia e o teor de fósforo orgânico, sendo as demais positivas. No PC2 as cargas negativas são regidas pelo teor de carbonato de cálcio, o percentual de cascalho e os teores de carbono e fósforo orgânico, os demais parâmetros englobam cargas positivas. Com base nos cálculos estabelecidos por meio da PCA, há a construção de dois grupos e a presença de uma amostra isolada.

- Grupo 1 – tal grupo abrangeu 9,84% das amostras, que estão localizadas entre os valores 3 a 8 no PC1, e no PC2 se localizam entre os valores -1 à +1. Tal colocação dá-se principalmente pelos teores de finos e matéria orgânica total presente nas amostras deste grupo, associado aos teores de carbono orgânico e uma razão C/P mediana (em relação aos demais grupos);
- Grupo 2 – que está localizada entre 0 a 2 no PC1 e entre -2 a -4 no PC2. O posicionamento é regido majoritariamente pelos percentis de cascalho elevados, associado a um teor de carbonato, e fósforo orgânico;
- Grupo 3 – tal grupo abrangeu a maior alíquota de amostras, 85,2% do total. O grupo como um todo está alocado entre os valores +2,5 à -2,5 em ambos os componentes principais. O posicionamento deste grupo é oriundo dos teores de areia (associado aos de cascalho).

### 9.1.2. Análise de agrupamento (Cluster)

Por meio da análise de agrupamento foi obtido o seguinte gráfico (Fig. 9.2).

Os resultados obtidos foram semelhantes aos dados da PCA, onde foram estabelecidos a presença de três grupos. O grupo 1 englobou 9,84% das amostras; o grupo 2 abrangeu grupo 3 englobou 85,2% das amostras; e a amostra isolada GOL13S. Com base nos dados das amostras, o corte na distância transversal euclidiana foi definido em 4,5.

As características de cada grupo (em médias) estão descritas na tabela 9.2.

**Tabela 9.2** – Características dos grupos para os sedimentos das distintas áreas de estudo.

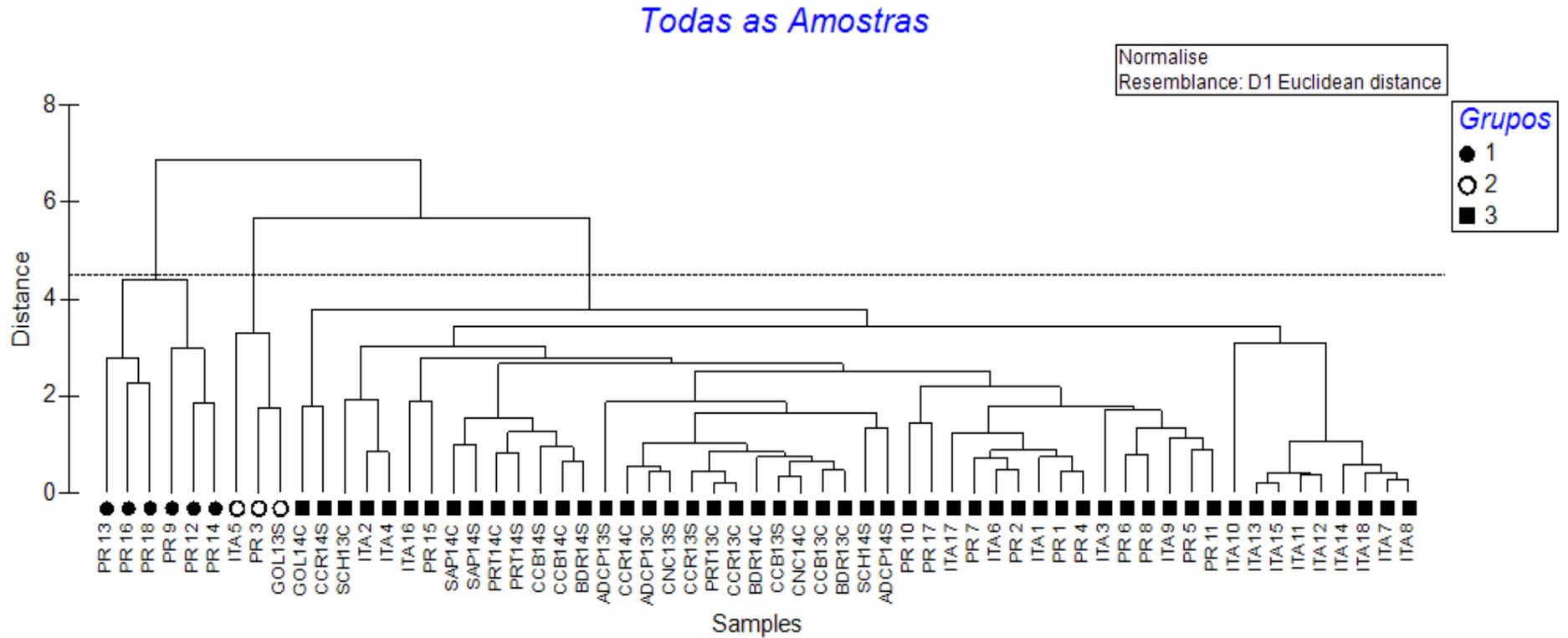
Grupos	Teor de CaCO <sub>3</sub> (%)	Teor de MOT (%)	% Cascalho	% Areia	% Finos	C org %	P org %	Razão C/P	δ <sup>13</sup> C
I	53,16	7,94	2,07	33,09	64,84	5,33	0,08	80,00	-22,43
II	94,90	3,02	79,84	19,65	0,51	2,21	0,09	11,54	-21,69
III	70,47	1,77	5,82	93,77	0,41	0,94	0,09	7,43	-23,56

No grupo 1, há a presença de um elevado percentual de finos, seguido da codominância dos percentis de areia, e um elevado teor de matéria orgânica. Os teores de carbono orgânico e a razão C/P apresentaram valores elevados em relação aos demais grupos. Espacialmente, as amostras deste grupo são todas as amostras que estão na área situada entre a entrada do porto do Recife e o quebra-mar presente no local. Tais amostras, como foram dissertadas no capítulo 7, apresentaram características distintas da plataforma, após o quebra-mar, evidenciando que a estrutura portuária (canal, quebra-mar) interfere nas condições deposicionais, acarretando numa retenção do aporte do sistema estuarino do Capibaribe. De

acordo com a classificação realizada por Alves (2016) para o  $\delta^{13}\text{C}$ , a matéria orgânica é de origem mista tendendo a marinha.

O grupo 2 abrangeu 4,9% das amostras, apresentando como característica os elevados percentis de cascalho, elevados teores de carbonato e com valores medianos de matéria orgânica e de carbono orgânico. A principal característica desse grupo é que foram de amostras que apresentaram facies isoladas nas áreas de estudos correspondentes, pois diferindo das demais amostras possuem um teor elevado de cascalho. De acordo com a classificação realizada por Alves (2016) para o  $\delta^{13}\text{C}$  as amostras são de origem marinha, ou seja, o cascalho é algálico calcário.

O grupo 3 abrangeu a maior quantidade de amostras (85,2%). Regido primordialmente pelos percentis de areia, associados as demais frações e baixos teores de matéria orgânica total e carbono orgânico. De acordo com a classificação realizada por Alves (2016) para o  $\delta^{13}\text{C}$ , a matéria orgânica é de origem mista tendendo a marinha.



**Figura 9.2** – Dendograma (cluster) da análise de agrupamento para as amostras nas distintas áreas de estudo.

## 9.2. CONCLUSÃO GERAL

- Com base nos dados obtidos, é possível inferir que há uma ampla similaridade entre as plataformas (tanto continentais como insular) estudadas, visto que são regidas por grandes teores de areia e com a presença de elevados teores de carbonato;
- Dentre todas as plataformas avaliadas, a fisiografia e atividades antrópicas foram relevantes na plataforma adjacente ao Porto do Recife, onde a estrutura portuária possibilitou uma retenção do material aportado pelo sistema estuarino do Capibaribe, ocasionando dois ambientes deposicionais do conteúdo orgânico, com características em distintas em sua composição;
- Os teores elevados de cascalho permitiram a criação de um agrupamento de amostras isoladas, o que valida uma característica arenosa das plataformas estudadas;
- As plataformas em linhas gerais são arenosas, com matéria orgânica de origem mista e marinha, com amostras isoladas de cascalho e com grandes percentis de carbonato de cálcio;
- As plataformas apresentaram em todas as instâncias a presença de material carbonático oriundo da absorção do carbono pelas algas e demais estruturas calcárias dos organismos componentes da biota, que de acordo com a literatura, representam um sumidouro de carbono, permitindo assim um balanço na interface oceano-atmosfera-litosfera.

## 10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

• Os dados das razões isotópicas de nitrogênio embora sejam sumariamente importantes não podem ser utilizados como parâmetro único para classificação sobre o aporte da matéria orgânica, já que suas diversas fontes se sobrepõem, sendo assim um mesmo resultado pode ser de aporte diverso, em relação ao meio em estudo;

• Uma das grandes dificuldades para a comparação dos dados obtidos nesta pesquisa foi a ausência de estudos sedimentares tanto na plataforma insular de Fernando de Noronha, quanto na plataforma continental interna centro-norte de Pernambuco. Assim, os dados do presente trabalho servirão de base para estudos futuros, sendo sumariamente importante a expansão de estudos, principalmente em relação às razões elementares da matéria orgânica (P, C, N) nas plataformas e demais sistemas adjacentes;

• Devido à ausência de dados nas plataformas, será elaborado um banco de dados extenso a partir desta dissertação auxiliará de sobremaneira em estudos atuais e futuros das plataformas rasas estudadas, dada a escassez atual em estudos de sedimentologia e geoquímica marinha nessa porção da margem continental brasileira.

• A partir do banco de dados gerados serão elaborados artigos científicos com as seguintes temáticas:

- Sedimentologia e características da matéria orgânica sedimentar nas áreas estudadas;
- Sedimentologia e geoquímica sazonal na plataforma insular norte de Fernando de Noronha;
- Sazonalidade nos processos sedimentares do Porto do Recife com dados complementares não tratados no presente estudo.

## REFERÊNCIAS

- ACHARYA, S. S., PANIGRAHI, M. K., KURIAN, J., GUPTA, A. K., & TRIPATHY, S. (2016). **Speciation of phosphorus in the continental shelf sediments in the Eastern Arabian Sea**. *Continental Shelf Research*, 115, 65-75.
- ALLEN, G. (1980). **Primary structure of the calcium ion-transporting adenosine triphosphatase of rabbit skeletal sarcoplasmic reticulum. Soluble peptides from the  $\alpha$ -chymotryptic digest of the carboxymethylated protein**. *Biochemical Journal*, 187(3), 565-575.
- ALMEIDA, F.F.M.DE 1955. **Geologia e petrologia do arquipélago de Fernando de Noronha**. Departamento Nacional de Produção Mineral-DNPM. Rio de Janeiro: Serviço Gráfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 181 p. (Monografia 13).
- ALMEIDA, F. F. M. 2000. **Arquipélago de Fernando de Noronha**. In: Schobbenhaus, C.; Campos, D. A.; Queiroz, E. T.; Winge, M.; Berbert-Born, M. (Eds.) **Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil**. Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos-SIGEP/Departamento Nacional de Produção Mineral-DNPM/Serviço Geológico do Brasil-CPRM, Brasília, p. 361-368.
- ALMEIDA, F. F. M. D. (2006). **Ilhas oceânicas brasileiras e suas relações com a tectônica atlântica**. *Terræ Didactica*, 2(1), 3-18.
- ALMEIDA, T. L. M. 2011. **Sedimentologia e batimetria da plataforma interna adjacente a ilha de Itamaracá-PE**. *Dissertação de Mestrado*. PPGeo-UFPE.
- ALMEIDA, T. L. M., & MANSO, V. D. A. V. (2011). **SEDIMENTOLOGIA DA PLATAFORMA INTERNA ADJACENTE A ILHA DE ITAMARACÁ-PE**. *Estudos Geológicos*, 21, 1.
- ALVES, R. J. V. (2006) – **Terrestrial vascular floras of Brazil's oceanic archipelagos**. In: ALVES, R. J. V. & CASTRO, J. W. de A. (orgs.). **Ilhas oceânicas brasileiras: da pesquisa ao manejo**, p. 83-104, MMA Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Brasília, DF, Brasil. ISBN: 8587166913
- ALVES, C. S. (2016) **Sedimentação atual e comportamento da matéria orgânica no sistema estuarino do rio goiana (PE-PB)**. *Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco*. CTG. Programa de Pós-Graduação Geociências, 2016.
- AMANCIO, C. E. (2007). **Precipitação de CaCO<sub>3</sub> em algas marinhas calcárias e balanço de CO<sub>2</sub> atmosférico: os depósitos calcários marinhos podem atuar como reservas planetárias de carbono?** (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- AMARAL, F. D., HUDSON, M. M., SILVEIRA, F. L., MIGOTTO, A. E., PINTO, S. M. & LONGO, L. (2000) **Cnidarians of Saint Peter and St. Paul Archipelago, Northeast Brazil**.

Proceedings of the 9th International Coral Reef Symposium, Vol. 1, p. 567-571, Bali, Indonesia

ANDERTON, R. (1976). **Tidal-shelf sedimentation: an example from the Scottish Dalradian**. *Sedimentology*, 23(4), 429-458.

ANDRADE, C.D.P.; BARBOZA, E.G.; SANTOS, G.; MANSO, V.A.V. **Áreas com potencial de granulados marinhos siliciclásticos para utilização na recuperação artificial de praias no porto do Recife, litoral de Pernambuco, Brasil**. Artigo de qualificação. In ANDRADE, C. D. P. de. **Áreas potenciais à exploração de granulados marinhos siliciclásticos para a recuperação artificial de praias na plataforma continental interna adjacente ao Porto do Recife-PE**. 2013. 71 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

ANJOS, D. L. **Inter-relação pluviométrica com a biomassa fitoplanctônicas dos estuários de Pernambuco (Brasil), 2007**. 103f. Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

ARAVENA, R.; EVANS, M. L.; CHERRY, J. A. **Stable isotopes of oxygen and nitrogen in source identification of nitrate from septic systems**. *Ground water*, v.31, n.2, p. 180-186. 1993.

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.

ASSIS, H. M. B. (Coord.) et al. (2014). **Modelo digital de terreno da Plataforma Insular do Arquipélago de Fernando de Noronha**. Recife: CPRM. 1 mapa color., 97,00 x 75,75 cm, Escala: 1:18.000 (Programa Mar, Zona Costeira e Antártica )

ASSUNÇÃO, R. V., SILVA, A. C., MARTINS, J., & FLORES MONTES, M. (2016). **Spatial-Temporal Variability of the Thermohaline Properties in the Coastal Region of Fernando de Noronha Archipelago, Brazil**. *Journal of Coastal Research*, 75(sp1), 512-516.

ÁVILA, V. B. (2005). **Relação entre o uso e manejo do solo em uma bacia rural e a contribuição de Nitrogênio, Fósforo e Sedimentos a corpos hídricos** (Doctoral dissertation, Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH. DM-088/05, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 114p).

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.

BARBOSA, A.C.G. 2010. Caracterização geoquímica marinha e avaliação do impacto das atividades antrópicas e de exploração de petróleo sobre os sedimentos da plataforma continental do estado de Sergipe e Sul do estado de Alagoas. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Sergipe.

BAO, H.; WU, Y.; TIAN, L.; ZHANG, J.; ZHANG, G. **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.

BARCELLOS, R. L.; FURTADO, V. V. 1999. **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. **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. 2005. **Distribuição da matéria orgânica sedimentar e o processo sedimentar atual no Sistema Estuarino-Lagunar de Cananéia-Iguape (SP).** Instituto Oceanográfico. São Paulo, Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado 2v.

BARCELLOS, R. L.; COELHO JR., C.; LINS, S. R.; SILVA, M.S.; CAMARGO, P. B.; TRAVASSOS, P. E. 2011. **Island beaches morphological and sedimentary short term variations the case of SE Fernando de Noronha Island, South Atlantic, Brazil.** Revista da Gestão Costeira Integrada , v. 11 (4): p. 471-478.

BARCELLOS, R. L. (2012). **Monitoramento morfológico e sedimentar sazonal do sistema praiado do Sueste e ambientes sedimentares associados (Manguezal, Laguna, Duna e Baía Costeira).** RELATÓRIO FINAL DE PESQUISA, PROJETO CNPq: 577369/2008-3 (Edital nº44/2008).

BARCELLOS, R. L.; MONTES, M. J. F. ; ALVES, T. M. F. ; CAMARGO, P. B. . **Modern sedimentary processes and seasonal variatios of organic matter in a urban tropical estuary, Jaboatão River (PE) Brazil..** Journal of Coastal Research, v. 75, p. 38-42, 2016

BARRETO, H.T E SUMMERHAYES, C.P., 1975. **Oceanography and Suspended Matter of Northeastern Brazil.** Journal of Sedimentary Petrology, 45 (4) : 822-833.

BARROS, L. C., VALENÇA, L. M. M., MANSO, V. D. A. V., MADRUGA FILHO, J. D., & OLIVEIRA, J. A. R. (2007). **Textura, composição e arredondamento dos sedimentos da plataforma continental interna adjacente às desembocaduras sul do canal de Santa Cruz e do Rio Timbó, norte do Estado de Pernambuco.** Estudos Geológicos, 17(1), 58-70.

BATISTELLA, M. (1993). **Cartografia ecológica do Arquipélago de Fernando de Noronha.** Cartografia Ecológica do Arquipélago de Fernando de Noronha. Beurlen, 1967

- BERBEL, G. B. B. (2008). **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).
- BERNER, R. A.; RAO, J. L.; (1994) **Geochim. Cosmochim. Acta** 1994, 58, 2333.
- BEURLIN, K. (1967). **Estratigrafia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, 16(1), 43-53.
- BEVILACQUA, J. E., SILVA, I. S. D., LICHTIG, J., & MASINI, J. C. (2009). **Extração seletiva de metais pesados em sedimentos de fundo do rio Tietê, São Paulo. Química Nova**, 32(1), 26-33.
- BIANCHI, T. S.; CANUEL, E. A. **Chemical Biomarkers in Aquatic Ecosystems**. Princeton University Press, 2011.
- BITOUN, J., MIRANDA, L., DE ALMEIDA SOUZA, M. A., & DE BRITTO LYRA, M. R. S. (2012). **Região Metropolitana do Recife no contexto de Pernambuco no Censo 2010**. Observatório das Metrôpoles. Recife.
- BJÖRK, M., MOHAMMED, S.M., BJÖRKLUND, M. & SEMESI, A. (1995). **Coralline algae: important coral-reef builders threatened by pollution**. *Ambio* 24: 502–505.
- BLUNDEN, G., CAMPBELL, S.A., SMITH, J.R., GUIRY, M.D., HESSION, C.C. & GRIFFIN, R.L. (1997). **Chemical and physical characterization of calcified red algal deposits known as maërl**. *J. Appl. Phycol.* 9: 11-17.
- BOATMAN, C. D., & MURRAY, J. W. (1982). **Modeling exchangeable NH<sup>4+</sup> adsorption in marine sediments: Process and controls of adsorption**. *Limnology and Oceanography*, 27(1), 99-110.
- BONIFAY, D., & GIRESSE, P. (1992). **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.
- BORDOVISIY, O. K. 1965. **Accumulation of organic matter in bottom sediments**. *Marine Geology*, 3:33-82
- BOUILLON, S., MCLEOD, E., CHMURA, G. L., SALM, R., BJÖRK, M., DUARTE, C. M., & SILLIMAN, B. R. (2011). **A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO<sub>2</sub>**. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(10), 552-560.
- BREPHOL, D.C. (2000) - **Fósforo: intercâmbio entre a água e o sedimento de uma enseada rasa estuarina com aporte antrópico no estuário da Lagoa dos Patos (RS-Brasil)**. 120 p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Rio Grande, RG, Brasil.

BROWN J.; COOLING, A.; PARK, D.; PHILLIPS, J.; ROTHERY, D.; WRIGHT, J. (1989). **Ocean Circulation**. Oxford: The Open University and Pergamon Press, 238p.

BURDIGE, D. J. (2007). **Preservation of organic matter in marine sediments: controls, mechanisms, and an imbalance in sediment organic carbon budgets?**. *Chemical reviews*, 107(2), 467-485.

BURRUS, D.; THOMAS, R.L.; DOMINIK, J.; VERNET, J.P. (1990). **Seasonal delivery of the particulate forms of phosphorus to Lake Geneva from the upper Rhone river**. *Aquatic sciences*, 52(3), 221-235.

CALDASSO, A.I.S.; ENNBS, E.R.; GRAZIA, CA. 1981. **Geologia da região do sudeste do estado do Piauí - Projeto Sudeste do Piauí**. I: relatório final de geologia. Brasília, DNPM (Série Geologia 21. Seção Geologia Básica 15).

CATACOSINOS, P. A. (1965). **Tables for the determination of sphericity and shape of rock particles**. *Journal of Sedimentary Research*, 35(2), 354-365.

CARVER R. E. **Settling analysis. Procedures in sedimentary petrology**. New York: Wiley-Interscience. p. 427-452. 1971.

CAVALCANTI, L. B., & KEMPF, M. (1970). **Estudo da plataforma continental na área do Recife (Brasil): II Meteorologia e Hidrologia**. *Trab Oceanogr Univ Fed PE*, 9, 149-158.

CHESTER, R. & RILEY, J. P. *Chemical Oceanography*. London: Academic Press Inc. Ltd., 1978. 508 p

CIDIN, R. D. C. P. J., & SILVA, R. S. (2004). **Pegada ecológica: instrumento de avaliação dos impactos antrópicos no meio natural**. *Estudos Geográficos*, Rio Claro, 2(1), 113-13.

CORREDOR, J. E., HOWARTH, R. W., TWILLEY, R. R., & MORELL, J. M. (1999). **Nitrogen cycling and anthropogenic impact in the tropical interamerican seas**. *Biogeochemistry*, 46(1-3), 163-178.

COSTA, B.V.M.; YOGUI, G.T.Y. 2013. Procedimentos para análises de Espectrometria de Massas de Razão Isotópica. Procedimento Operacional Padrão OrganoMAR-2013-01, Revisão nº 1. Laboratório de Compostos Orgânicos em Ecossistemas Costeiros e Marinhos, Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, 28p.

CORDANI, U. G. (1970). **Idade do vulcanismo no oceano Atlântico Sul**. *Boletim IGA*, 1, 09-75.

CÓRDOBA, V. C., JARDIM DE SÁ, E. F., SOUSA, D., ANTUNES, A. F., & CRUZ, L. R. (2007). **Bacia de Pernambuco-Paraíba**. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 15, 391-403.

CORREDOR, J. E., HOWARTH, R. W., TWILLEY, R. R., & MORELL, J. M. (1999). **Nitrogen cycling and anthropogenic impact in the tropical interamerican seas.** *Biogeochemistry*, 46(1-3), 163-178.

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 ET al., 1994. **Coastal Quaternary of Pernambuco, Brazil.** 14Th. International Sedimentological Congress, Recife, Abstracts, D-31.

COUTINHO, P.N. 1995-2000. **Levantamento do estado da arte da pesquisa dos recursos vivos marinhos do Brasil. Programa REIZEE.** Oceanografia Geológica.

CPRH, 2001. Diagnóstico sócio-ambiental do Litoral Sul de Pernambuco. Disponível em: < [http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/2diagnostico\\_ambiental.pdf](http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/2diagnostico_ambiental.pdf)>. Acesso em: 04 julho de 2016.

CPRM, 2003. Sistema de Informações Geoambientais da Região metropolitana do Recife. Disponível em: < [http://www.cprm.gov.br/publique/media/relat\\_sist\\_geob.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/relat_sist_geob.pdf) >. Acesso em: 15 julho de 2016.

CROSSLAND, C. J., KREMER, H. H., LINDEBOOM, H., CROSSLAND, J. I. M., & LE TISSIER, M. D. (EDS.). (2005). **Coastal fluxes in the Anthropocene: the land-ocean interactions in the coastal zone project of the International Geosphere-Biosphere Programme.** Springer Science & Business Media.

DAWSON, T. E.; BROOKS, P. D. 2001. **Fundamentals of stable isotope chemistry and measurement.** In:Unkovich M. et al. (Ed.). **Stable isotope techniques in the study of biological processes and functioning of ecosystems.** Dordrecht: Kluwer Academic Publisher. cap. I, p. 1-18.

DELANEY, M. L. (1998). **Phosphorus accumulation in marine sediments and the oceanic phosphorus cycle.** *Global Biogeochemical Cycles*, 12(4), 563-572.

DIAS, J.C.& LIMA, W.N. 2004. **Comparação de Métodos para a Determinação de Matéria Orgânica em Amostras Ambientais.** Revista científica da UFPA, vol.4,abril, 2004.

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.

EDWARDS, A., LUBBOCK, R. (1983) Marine zoogeography of St Paul's Rocks. *Journal of Biogeography*, 10:65-72.

ELSER, J. J., BRACKEN, M. E., CLELAND, E. E., GRUNER, D. S., HARPOLE, W. S., HILLEBRAND, H., & SMITH, J. E. (2007). **Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems.** *Ecology letters*, 10(12), 1135-1142.

EMERSON, A & HEDGES, I L (1988). **Processes controlling the carbon content of open ocean sediments.** *Paleoceanography*, 3:621-634.

EMERY, K. O.; WIGLEY, R. L.; BARTLOTT, A. S.; RUBIN, M.; BARGHOORN, E. S. **Fresh water peat on the continental shelf.** *Science*, v. 158, p. 130-137, 1967.

ENNIS, R. S., BRANDT, M. E., GRIMES, K. R. W., & SMITH, T. B. (2016). **Coral reef health response to chronic and acute changes in water quality in St. Thomas, United States Virgin Islands.** *Marine Pollution Bulletin*, 111(1), 418-427.

ESTON, V. R. D., MIGOTTO, A. E., OLIVEIRA FILHO, E. C. D., RODRIGUES, S. D. A., & FREITAS, J. C. D. (1986). **Vertical distribution of benthic marine organisms on rocky coasts of the Fernando de Noronha Archipelago (Brazil).** *Boletim do Instituto Oceanográfico*, 34, 37-53.

FAGANELI, J; PEDZIC, J.; OGORELEC, B.; MISIC, M. & NAJDEK, M. **The Origin of Sedimentary Organic Matter in the Adriatic.** *Continental Shelf Research* v. 14, p. 365-384, 1994.

FEITOSA, F. A. N., NASCIMENTO, F. C. R., COSTA, K. M. P. **Distribuição espacial e temporal da biomassa fitoplanctônica relacionada com parâmetros hidrológicos na Bacia do Pina, Recife-PE.** *Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco*, v. 27, n. 2, p. 1-13, 1999.

FEITOSA, F. A. N., NASCIMENTO, F. C. R., COSTA, K. M. P. **Distribuição espacial e temporal da biomassa fitoplanctônica relacionada com parâmetros hidrológicos na Bacia do Pina, Recife-PE.** *Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco*, v. 27, n. 2, p. 1-13, 1999.

FELLER, C., & BEARE, M. H. (1997). **Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics.** *Geoderma*, 79(1-4), 69-116.

FERNANDES, M. B.; SICRE, M. A.; CARDOSO, J. N.; MACÊDO, S. J.. **Sedimentary 4-desmethyl sterols and n-alkanols in an eutrophic urban estuary, Capibaribe River, Brazil.** *Science of the Total Environment*, v. 231, p. 1-16 1999.

FILIPPELLI, G. M. (1997). **Controls on phosphorus concentration and accumulation in oceanic sediments.** *Marine Geology*, 139(1), 231-240.

FLEMMING, B. W. (1980). **Sand transport and bedform patterns on the continental shelf between Durban and Port Elizabeth (southeast African continental margin).** *Sedimentary Geology*, 26(1), 179-205.

FLEMMING, B. W. (1981). **Factors controlling shelf sediment dispersal along the southeast African continental margin.** *Marine Geology*, 42(1-4), 259-277.

FLOETER, S. R., GUIMARÃES, R. Z. P., ROCHA, L. A., FERREIRA, C. E. L., RANGEL, C. A. & GASPARINI, J. L. (2001) **Geographic variation in reef fish assemblages along the Brazilian coast.** *Global Ecology and Biogeography*, 10(4): 423-433 ( <http://dx.doi.org/10.1046/j.1466-822X.2001.00245.x>).

FLORES MONTES, M. D. J., MACÊDO, S. J., KOENING, M. L., & CORREIA, I. L. (1998). **Variação nictemeral do fitoplâncton e elementos nutrientes do Canal de Santa Cruz, Itamaracá-PE-Brasil.** *Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco*, 26, 13-26.

FLORES MONTES, M. J. (2003) **Fatores que influenciam na produtividade dos oceanos: a importância do fluxo de difusão dos nutrientes para a biomassa do fitoplâncton na região oceânica do nordeste brasileiro.** Universidade Federal de Pernambuco, Tese de Doutorado (Recife, Brasil), 179p.

FOLK, R. L. & W. C. WARD. 1957. **Brazos River Bar: Study of the Significance of Grain Size Parameters.** *Journal of Sedimentary Petrology*, 27 : 3-27.

FRANCOEUR, S. N. (2001). **Meta-analysis of lotic nutrient amendment experiments: detecting and quantifying subtle responses.** *Meta*, 20(3), 358-368.

FRANKOWSKI, L., BOLAŁEK, J., & SZOSTEK, A. (2002). **Phosphorus in bottom sediments of pomeranian bay (Southern Baltic—Poland).** *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 54(6), 1027-1038

FREIRE, G. S. S., GOMES, D. F., LIMA, S. F., MAIA, L. P., & LACERDA, L. D. (2004). **Geochemistry of continental shelf sediments of the Ceará Coast, North-Eastern Brazil. In Environmental geochemistry in tropical and subtropical environments (pp. 365-377).** Springer Berlin Heidelberg.

FROELICH, P. N.; BENDER, M. L.:(1982) **Luedtke, N. A.; Heath, G. H.; Devries, T.; Am. J. Sci. 1982, 282, 474.**

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. **Fundamentos de oceanografia.** Cengage Learning, 2010.

GASPAR, F. L. (2009). **Análise da concentração de fósforo em sedimentos dos rios Botafogo e Carrapicho, no Sistema estuarino do Canal de Santa Cruz, Itamaracá, PE.** Dissertação de mestrado. UFPE

GASPARINI, J. L.; MACIEIRA, R. M. **Nossas Ilha Oceanicas. 3ª parte: Coleção Explorando o Ensino - O mar no espaço geográfico brasileiro**, pag. 65-135. 2005.

GUENTHER, M., ARAÚJO, M., FLORES-MONTES, M., GONZALEZ-RODRIGUEZ, E., & NEUMANN-LEITÃO, S. (2015). **Eutrophication effects on phytoplankton size-fractionated biomass and production at a tropical estuary**. *Marine pollution bulletin*, 91(2), 537-547.

GOEDERT, W.J., SOUSA, D. M. G.DE, LOBATO, E. (1986) **“Fósforo”**. In: **Goedert, W.J. (ed) Solos dos Cerrados: Tecnologias e Estratégias de Manejo**. São Paulo: Nobel; Brasília: Embrapa, Cento de Pesquisa Agropecuária, 129-166.

GOMES, R. S., COSTA, P. M. S., MONTEIRO, J. C., COELHO, A. C. S. & SALGADO, N. C. (2006) **Moluscos das ilhas oceânicas brasileiras**. In: ALVES, R. J. V. & CASTRO, J. W. A. (orgs.). *Ilhas oceânicas brasileiras: da pesquisa ao manejo*, p. 179-198, MMA Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Brasília, DF, Brasil. ISBN: 8587166913

GOREAU, T.F. (1963). **Calcium carbonate deposition by coralline algae and corals in relation to their roles as reef-builders**. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 109: 127-167.

GRASSHOFF, K. EHRHARDT, M. & KREMELING, K. 1983. **Methods of seawater analysis. 2º, ed.. Weinhein, Verlag Chemie. 419p.**

GROBBELAAR, J. U., & HOUSE, W. A. (1995). **Phosphorus as a limiting resource in inland waters; interactions with nitrogen**. SCOPE-SCIENTIFIC COMMITTEE ON PROBLEMS OF THE ENVIRONMENT INTERNATIONAL COUNCIL OF SCIENTIFIC UNIONS, 54, 255-274.

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.

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. AND KEIL, R. G. **Organic geochemical perspectives on estuarine processes: Sorption reactions and consequences**. *Mar. Chem.*, v. 65, p. 55-65. 1999.

HEDGES, J. I., & STERN, J. H. (1984). Carbon and nitrogen determinations of carbonate-containing solids. *Limnology and Oceanography*, 29(3), 657-663.

HEINEN, E. A., & MCMANUS, J. (2004). **Carbon and nutrient cycling at the sediment-water boundary in western Lake Superior**. *Journal of Great Lakes Research*, 30, 113-132.

HILLIS-COLINVAUX, L. (1986). **Deep water populations of Halimeda in the economy of an atoll**. *Bull. Mar. Sci.* 38: 155-169.

- HOEFS, J. **Stable Isotope in Geochemistry**. 5th ed. Germany: Springer-Verlag, 2004.
- HÖFLICH, O. (1984). **Climate of the South Atlantic ocean**. World survey of climatology, edited by: van Loon, H., Elsevier, Oxford, 195.
- HOWARTH, R. W., JENSEN, H. S., MARINO, R., & POSTMA, H. (1995). **Transport to and processing of P in near-shore and oceanic waters**. *Scope*.
- HU, L.; GUO, Z.; FENG, J.; YANG, Z.; FANG, M. **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, 2009.
- HUBERT, L. F., & WHITNEY, L. F. (1971). **Wind estimation from geostationary satellite pictures**. *MWR*, 99, 665-672.
- HYLAND, J.; BALTHIS, L.; KARAKASSIS, I.; MAGNI, P.; PETROV, A.; SHINE, J.; VESTERGAARD, O. & WARWICK, R. **Organic carbon content of sediments as an indicator of stress in the marine benthos**. *Marine Ecology Progress Series*, v. 295, p. 91-103, 2005
- IBGE, 2010. Censo Demográfico 2010 - Resultados do Universo - Características da População e dos Domicílios. 2010. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/cd/cd2010universo.asp>>. Acesso em: 20 mai. 2016.
- IPCC, 2007: **Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA., XXX pp. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4\\_wg3\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4_wg3_full_report.pdf) Acessado em 19/05/2016.
- INGRAM, R. L. (1971) - Sieve analysis. In: Carver, R.E. (ed.), *Procedures in Sedimentary Petrology*, pp.49-69, Wiley Interscience, New York, NY, U.S.A. ISBN: 9780471138556
- 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.
- JOYE, S. B., & HOLLIBAUGH, J. T. (1995). **Influence of sulfide inhibition of nitrification on nitrogen regeneration in sediments**. *Science*, 270(5236), 623.
- KING, C.A.M. (1972) - **Beaches and coasts**. 570p., Edward Arnold Ed., London, U.K.. ISBN: 0312070357.

KILLOPS, S. D.; KILLOPS, V. J. **Introduction to Organic Geochemistry**. 2nd ed. Malden, MA, EUA: Logman Scientific & Technical, 2005.

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.; VAN DER PLICHT, J.; REICHART, G. J. **Microbial bioavailability regulates organic matter preservation in marine sediments**. *Biogeosciences*, v. 10, p. 1131-1141, 2013.

KNOPPERS, B., CARMOUZE, J. P., & MOREIRA-TURCQ, P. F. (1999). **Nutrient dynamics, metabolism and eutrophication of lagoons along the east Fluminense coast, state of Rio de Janeiro, Brazil.** & ABRÃO, JJ (Eds.). *Environmental geochemistry of coastal lagoons systems of Rio de Janeiro, Brasil. Niterói: UFF/Programa de Geoquímica Ambiental*, 123-154.

Koppers, W. R., Gleeson, M. A., Lourenco, J., Weeding, T. L., Los, J., & Kleyn, A. W. (1999). Dissociative scattering of fluorocarbon ions from a liquid surface at hyperthermal incident energies. *Journal of Chemical Physics*, 110(5), 2588-2596.

KRISHNA, S. A.; NAIDU, S. A.; SUBBIAIAH, C. V.; et al. **Sources, Distribution and Preservation of Organic Matter in a Tropical Estuary (Godavari, India)**. *Estuaries and Coasts*, v. 38, p. 1032–1047, 2015.

LAMB, A. L.; GRAHAM, P.W. & LENG, M. J. **A review of coastal palaeoclimate and relative sea-level reconstructions using  $\delta^{13}\text{C}$  and C/N ratios in organic matter**. *Earth-Science Reviews*, v. 75, p. 29-57, 2006.

LARSSONEUR, C.; BOUYASSE, P. & AUFRET, J. P. **The surficial sediments of the English Channel and its western approaches**. *Sedimentology*, v. 29, n. 6, p. 851-864, 1982.

LITTLER, M.M. & LITTLER, D.S. (1995). **Impact of CLOD pathogen on Pacific coral reefs**. *Science* 267: 1356–1360.

LIRA, L. 1975. **Geologia do Canal de Santa Cruz e praia submarina adjacente a Ilha de Itamaracá – PE**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, UFRGS. 102p.

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. & ALHEIROS, M.M. 1988. **Origem da Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco/Paraíba**. *Revista Brasileira de Geociências*, 18: 476-482.

- MACLANE, M. 1995. **Sedimentology**. Oxford University Press, New York, 423p.
- MACMANUS, D. A. (1975). **MODERN VERSUS RELICT SEDIMENT ON THE CONTINENTAL SHELF**. *GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA BULLETIN*, 86(8), 1154-1160.
- MAHIQUES, M. M. DE. **Considerações sobre os Sedimentos de Superfície de Fundo da Baía da Ilha Grande, Estado do Rio de Janeiro**. Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico - USP, São Paulo, 139 p, 1987.
- MAHIQUES, M. M. DE; M. G. TESSLER; V. V. FURTADO. **Characterization of Energy Gradient in Enclosed Bays of Ubatuba Region, South-Eastern Brazil**. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 47, 431-446. Academic Press, 1998.
- MANSO, V.A.V., KIMA FILHO, M.F., OLIVEIRA, A.T. 1992. **Macrozoneamento costeiro do Litoral de Pernambuco - Folha Itamaracá - SB.25-Y-C-VII. Relatório técnico**. Recife. Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha - LGGM. Departamento de Engenharia de Minas - DEMINAS - UFPE/CPRH.
- MANSO, V. A. V., COUTINHO, P. N., LIMA, A. T. O., MEDEIROS, A. B., ALMEIDA, L. E. S. B., BORBA, A. L. S., & IVO, P. S. (1995). Estudos da erosão marinha na praia da Boa Viagem. Recife.
- MANSO, V. D. A. V., CORREA, I. C. S., & GUERRA, N. C. (2003). **Morfologia e sedimentologia da Plataforma Continental Interna entre as Praias Porto de Galinhas e Campos-Litoral Sul de Pernambuco, Brasil**. *Pesquisas em Geociências. Porto Alegre, RS. Vol. 30, n. 2 (2003), p. 17-25*.
- MANSO, V. 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*. A. In: MUEHE, D. (Orgs.). *Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro: Pernambuco*. Brasília:Ministério do Meio Ambiente, p. 179-196. 2006.
- MANSO, V.A.V.; MENOR, E.A.; VALENÇA, L.M.M.; NEUMANN, V.H.M.L.; PEREIRA, N.S; JUNIOR, C.F.A.S. & SILVA, E.R.M. 2011. **Morfodinâmica de praias setentrionais da Ilha de Fernando de Noronha**. *Revista da Gestão Costeira Integrada*:11(3):327-339.
- MACK, G. H., & LEEDER, M. R. (1999). **Climatic and tectonic controls on alluvial-fan and axial-fluvial sedimentation in the Plio-Pleistocene Palomas half graben, southern Rio Grande Rift**. *Journal of Sedimentary Research*, 69(3).
- MARTINELLI, L. P.; OMETTO, J. P. H. B.; FERRAZ, E. S.; VICTORIA, R. L.; CAMARGO, P. B.; MOREIRA, M. Z. **Desvendando Questões Ambientais com Isótopos Estáveis**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 144 p.
- MARTINS, S.E.M. 2016. **INTERAÇÕES MORFO-DEPOSICIONAIS E GEOQUÍMICAS EM SISTEMAS COSTEIROS: UM ESTUDO COMPARATIVO DE**

**EVOLUÇÃO DEPOSICIONAL NOS ESTUÁRIOS DOS RIOS CAPIBARIBE E FORMOSO, PERNAMBUCO. TEXTO DE QUALIFICAÇÃO. PPGeo-UFPE.**

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.

MARTINS, A. M. P., HEIJNEN, J. J., & VAN LOOSDRECHT, M. C. M. (2003). Effect of dissolved oxygen concentration on sludge settleability. *Applied microbiology and biotechnology*, 62(5-6), 586-593.

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.

MENDES, L. D. F. (2006). História natural dos amorés e peixes-macaco (Actinopterygii, Blennioidei, Gobioidae) do Parque Nacional Marinho do Arquipélago de Fernando de Noronha, sob um enfoque comportamental. *Revista Brasileira de Zoologia*, 23(3).

MELACK, J. M. (1995). **Transport and transformations of P, fluvial and lacustrine ecosystems.** *SCOPE-SCIENTIFIC COMMITTEE ON PROBLEMS OF THE ENVIRONMENT INTERNATIONAL COUNCIL OF SCIENTIFIC UNIONS*, 54, 245-254.

MELLO, F. DE A. F. DE, BRASIL SOBRINHO, M. DE O. C. DO, ARZOLLA, S., SILVEIRA, R. I., COBRA NETTO, A., KIEHL, J. DE C. (1989) **Fertilidade do Solo. Nobel, São Paulo (SP). 400p.**

MEYERS, P. A. 1997. **Organic Geochemical Proxies of Paleoceanography, Paleolimnologic and Paleoclimatic Processes.** *Organic Geochemistry* 27, 213-250.

MIGOTTO, A. E., MARQUES, A. C., MORANDINI, A. C. & SILVEIRA, F. L. (2002) **Checklist of the Cnidaria Medusozoa of Brazil.** *Biota Neotropica*, 2(1): 1-31. (<http://www.biotaneotropica.org.br/v2n1/pt/fullpaper?bn01102012002+en>).

MILLERO, F. J., GRAHAM, T. B., HUANG, F., BUSTOS-SERRANO, H., & PIERROT, D. (2006). **Dissociation constants of carbonic acid in seawater as a function of salinity and temperature.** *Marine Chemistry*, 100(1), 80-94.

MILLIMAN, J.D. & AMARAL, C.A.B. (1974). **Economic potential of Brazilian continental margin sediments.** *Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia*: 335-344.

MONTALVO, J.F., PERIGÓ ARNAUD, E., MARTÍNEZ, M., GARCÍA, I., ESPONDA, S.C., CESAR, M.E., GARCÍA, R., LÓPEZ, D., GARCÍA, N., BLANCO, M. (2010). **Compuestos de nitrógeno y fósforo en las aguas superficiales de tres zonas de la plataforma marina cubana.** *Serie Oceanológica*, (7). p. 27-36.

MORAES, F., VENTURA, M., KLAUTAU, M., HAJDU, E. & MURICY, G. (2006) **Biodiversidade de esponjas das ilhas oceânicas brasileiras**. In: ALVES, R. J. V. & CASTRO, J. W. DE A. (orgs.). *Ilhas oceânicas brasileiras: da pesquisa ao manejo*, MMA Secretaria de Biodiversidade e Florestas, p. 147-177, Brasília, DF, Brasil. ISBN: 8587166913

MUEHE, D. C. E. H. (2006). **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Ministério do Meio Ambiente.(no prelo).

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. Productivity, Sedimentation Rate, and Sedimentary Organic Matter in the Oceans. I. - Organic Matter Preservation. **Deep- Sea Research**, v. 36, p. 191-209, 1979.

NASCIMENTO, C. W. A. (2002). **Fertilidade dos solos da Ilha de Fernando de Noronha**. Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas-FERTBIO, 25.

NASCIMENTO, F. C. R.; MUNIZ, K.; FEITOSA, F. A. N.; ARAÚJO, J. P.; SILVA, R. M. S.; SILVA, G. S.; FLORES MONTES, M. J. (2003). **Disponibilidade nutricional da Bacia do Pina e rio Tejipió (Recife- PE- Brasil) em relação aos nutrientes e biomassa primária (setembro/2000)**. *Trop. Oceanogr.*, v. 31, n. 2, p. 149-169.

NERY, P. P. C.F.; LEITÃO, S. N.; FERNANDES, M. L. B.; SILVA, A.K.P.; CHAVES, A.C. 2008. **RECRUTAMENTO E SUCESSÃO ECOLÓGICA DA MACROFAUNA INCRUSTANTE EM SUBSTRATOS NO PORTO DO RECIFE - PE, BRASIL**. *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*. Volume 3, número 1 - janeiro de 2008

NOBRE, P. 2008. **AQUECIMENTO GLOBAL, OCEANOS & SOCIEDADE**. ©INTERFACEHS – Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente - v.3, n.1, Artigo 1, jan./ abril 2008. [www.interfacehs.sp.senac.br](http://www.interfacehs.sp.senac.br)

NÓBREGA, V. A., & ALHEIROS, M. M. (1991). **Petrografia do arenito Beberibe, Bacia Pernambuco-Paraíba**. *SBG XIV Simp. Geol. Nord. Atas*, 75-77.

NORIEGA, C. (2010). **Estado trófico e balanço biogeoquímico dos nutrientes não conservativos (N e P), na Região Metropolitana do Recife-Brasil**. *Universidade Federal de Pernambuco, Recife*.

OBSERVATÓRIO DAS METRÓPOLES. Metrodata. Rio de Janeiro: Observatório das Metrópoles, 2011. (Disponível em <http://www.observatorioidasmetropoles.net/>)

OGRINC, N.; FONTOLAN, G.; FAGANELI, J. & COVELLI, S. **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, 2005.

OLIVEIRA, T. S. 2014. **Processo sedimentar atual e distribuição da matéria orgânica no sistema estuarino dos rios Capibaribe, Beberibe e bacia do Pina, Recife – PE.** **Dissertação de mestrado. Pós-graduação em Oceanografia. Universidade Federal de Pernambuco – PE, 112 p.**

OLIVEIRA, T. S. et al. 2014. **Processo sedimentar atual e distribuição da matéria orgânica no sistema estuarino dos rios Capibaribe, Beberibe e bacia do Pina, Recife – PE.** *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 14 (3):399-411.

OSORIO, V. K. L.; OLIVEIRA, W.; *Quim. Nova* 2001, 24, 700

OTTMANN & COUTINHO, 1963. Etudes sédimentologiques dans le port de Recife (Brésil). *Cahiers Oceanographiques*, 15, 161-169.

PARDO, L. H., KENDALL, C., PETT-RIDGE, J., & CHANG, C. C. (2004). **Evaluating the source of streamwater nitrate using  $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  in nitrate in two watersheds in New Hampshire, USA.** *Hydrological Processes*, 18(14), 2699-2712.

PAROPKARI, A. L.; IYER, S. D.; CHAUHAN, O. S. & BABU, C. P. 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. 1991.

PASSAVANTE, J. Z. O. **Produção fitoplanctônica do estuário do Rio Capibaribe (Recife, Pernambuco, Brasil).** In. CONGRESSO NORDESTINO DE ECOLOGIA, 10., 2003, Recife. Anais... Recife, 2003. p. 1- 2. CD-ROM.

PCR - PREFEITURA DA CIDADE DO RECIFE, 2000. **Atlas Ambiental da Cidade do Recife.** Recife: 2000.

PEREIRA, A. L. Isótopos estáveis em estudos ecológicos: métodos, aplicações e perspectivas. **Revista Biociências**, Taubaté, v.13, n.1-2, p. 16-27. 2007.

PEREIRA, A. L., & BENEDITO, E. (2007). **Isótopos estáveis em estudos ecológicos: métodos, aplicações e perspectivas.** *Revista Biociências*. Taubaté, v.13, n.1-2, p.16-27, jan/jun. 2007.

PETERSON, B. J., & FRY, B. (1987). **Stable isotopes in ecosystem studies.** *Annual review of ecology and systematics*, 293-320.

PILKEY, O. H., MORTON, R. W., & LUTERNAUER, J. (1967). **The carbonate fraction of beach and dune sands.** *Sedimentology*, 8(4), 311-327.

PILSON, M. E. Q. (1998). **Major constituents of seawater.** *An Introduction to the Chemistry of the Sea*, 58-65.

PINHEIRO, H. T. & GASPARINI, J. L. (2009). **Peixes recifais do complexo insular oceânico Trindade e Martin Vaz: novas ocorrências, atividades de pesca, mortandade natural e conservação.** In: MOHR, L. V., CASTRO, J. W. A., COSTA, P. M. S. & ALVES, R. J. V. (orgs.). *Ilhas oceânicas brasileiras: da pesquisa ao manejo*. Vol. II, p. 135-153, MMA Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Brasília, DF, Brasil. ISBN: 9788577380763.

PHILANDER, S. G. (1990) **El Niño, La Niña and Southern oscillation.** International Geophysics Series, New York: Academic. 293 pages. Volume 46.

PONZI, V. R. A. (2004). **Sedimentação marinha.** In BAPTISTA NETO, JA, PONZI, VR A., SICHEL, SE *Introdução à Geologia Marinha*. Rio de Janeiro: Interciência, 219-241.

PROJETO MAI. 2009. **PROJETO MONITORAMENTO AMBIENTAL INTEGRADO – Avaliação dos Processos de Erosão Costeira nos Municípios de Paulista, Olinda, Recife e Jaboatão dos Guararapes.** Relatório Final. Volume I. Convênio N° 01.05.0935.00.

PYÖKÄRI, M. (1999). **Beach sediments of Crete: texture, composition, roundness, source and transport.** *Journal of coastal research*, 537-553.

RATISBONA, L. R. (1976). **The climate of Brazil.** *Climates of Central and South America*, 12, 219-293.

RAYMONT, J. E. (1963). **Plankton and Productivity in the Oceans.**

REBOUÇAS, A. D. C., BRAGA, B. P. F., & TUNDISI, J. G. (2002). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** Escrituras.

REBOUÇAS, R.C. 2010. **SEDIMENTAÇÃO HOLOCÊNICA DA PLATAFORMA CONTINENTAL DE SALVADOR – BA.** Tese de doutorado. Pós graduação em Geologia, Universidade Federal da Bahia.

REDFIELD, A. C. (1963). The influence of organisms on the composition of sea-water. *The sea*, 26-77.

REGAZZI, A.J. Análise multivariada, notas de aula INF 766, Departamento de Informática da Universidade Federal de Viçosa, v.2, 2000.

REIDHAAR, P. E., LANE, C. S., BENITEZ-NELSON, C. R., & GAMBLE, D. W. (2016). **Spatial and Temporal Variations in Pyrodinium bahamense Cyst Concentrations in the Sediments of Bioluminescent Mangrove Lagoon, St. Croix, USVI.** *Estuaries and Coasts*, 39(3), 682-694.

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.

- REZENDE, C. E.; PFEIFFER, W. C.; MARTINELLI, L. A. **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, 2010.
- 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.
- ROCHA, A. T. D., DUDA, G. P., NASCIMENTO, C. W., & RIBEIRO, M. R. (2005). **Phosphorus fractionation and evaluation of available-P extractors in soils of Fernando de Noronha Island.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9(2), 178-184.
- ROMANKEVICH, E.A., 1984. **Geochemistry of Organic Matter in the Ocean.** Springer, Heidelberg, 344 pp.
- ROMESBURG, C., & MARSHALL, K. (1984). **CLUSTER/CLUSTID-Computer Programs for Hierarchical Cluster Analysis.**
- 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.
- RUIZ-FERNÁNDEZ, A. C.; HILAIRE-MARCEL, C.; GHALEB, B. & SOTO-JIMÉNEZ, M. **Recent sedimentary history of antropogenic impacts on the Culiacan River Estuary, NW Mexico: geochemical evidence from organic matter and nutrients.** *Environmental pollution*, v. 118, p. 365-377, 2002.
- RYSGAARD, S., THASTUM, P., DALSGAARD, T., CHRISTENSEN, P. B., & SLOTH, N. P. (1999). Effects of salinity on NH<sub>4</sub><sup>+</sup> adsorption capacity, nitrification, and denitrification in Danish estuarine sediments. *Estuaries*, 22(1), 21-30.
- RUTTENBERG, K.C. (1992) **Development of a sequential extraction for different forms of phosphorus in marine sediments.** *Limnology and Oceanography*, v. 37, p. 1460-1482.
- RUTTENBERG, K. C. & M. A GOÑI. 1997. **Phosphorus Distribution, C:N:P Ratios, and δ<sup>13</sup>C in Arctic, Temperate and Tropical Coastal Sediments: Tools for Characterizing Bulk Sedimentary Organic Matter.** *Marine Geology*, vol. 139, -1/4. P. 123-145.
- SABINE, C. L. DICKSON, A. G., DICKSON, A. G., & CHRISTIAN, J. R. (2007). **Guide to best practices for ocean CO<sub>2</sub> measurements.**
- 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).
- SAMPAIO, C. L. S., CARVALHO-FILHO, A., FEITOZA, B. M., FERREIRA, C. E. L., FLOETER, S. R., GASPARINI, J. L., ROCHA, L. A. & SAZIMA, I. (2006) – **Peixes recifais**

**endêmicos e ameaçados das ilhas oceânicas brasileiras e do complexo recifal dos Abrolhos.** In: Alves, R. J. V. & Castro, J. W. de A. (orgs.). *Ilhas oceânicas brasileiras: da pesquisa ao manejo*, p. 215-234, MMA Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 298 p., Brasília, DF, Brasil. ISBN: 8587166913

SANTORO, A. E. (2010). **Microbial nitrogen cycling at the saltwater–freshwater interface.** *Hydrogeology Journal*, 18(1), 187-202.

SANTOS, C. A. R. R. D. (2002). **Eolianitos de Fernando de Noronha: processos deposicionais e pós-deposicionais.**

SANTOS, M.L.S., MUNIZ, K.; NETO, B.B.; FEITOSA, F.A.N. (2007) **Estudo das diferentes formas de fósforo nas águas da Plataforma Continental do Amazonas-** *Química Nova*, 30(3):569-573. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422007000300012>.

SANTOS, T. G.; BEZERRA-JUNIOR, J.L.; COSTA, K.M.P. E FEITOSA, F.A.N. **Dinâmica da biomassa fitoplanctônica e variáveis ambientais em um estuário tropical (Bacia do Pina, Recife, PE).** *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*, v. 4, n. 1, p. 95-109, 2009.

SANTOS, R. H. DE A. **Avaliação dos Níveis de Hidrocarbonetos na Água e Sedimentos do Canal de Santa Cruz-PE.** Universidade Federal de Pernambuco, 2015.

SANTOS, L.D. 2016. **Dinâmica sedimentar e o comportamento sazonal da matéria orgânica no estuário do Rio Formoso – PE.** *Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco.* CTG. Programa de Pós-Graduação Geociências, 2016.

SERAFINI, T.Z.; FRANÇA, G. B.; ANDRIGUETTO-FILHO, J.M. 2010. **Ilhas oceânicas brasileiras: biodiversidade conhecida e sua relação com o histórico de uso e ocupação humana.** *Revista da Gestão Costeira Integrada*, v.10, n.3, p.281-301.

SHEPARD, F. P. 1954. **Nomenclature based on sand-silt-clay ratios.** *J. sedim. Petrology*, 24(3): 151-158.

SHEPARD, F. P., & MOORE, D. G. (1954). **Sedimentary environments differentiated by coarse-fraction studies.** *AAPG Bulletin*, 38(8), 1792-1802.

SILVA, L.A. 2004. **SEDIMENTOLOGIA DO CANAL DE SANTA CRUZ – ILHA DE ITAMARACÁ – PE.** *Dissertação de Mestrado.* PPGEU-UFPE.

SILVA, F.A.N. 2012. **ANÁLISE DO COMPORTAMENTO SEDIMENTOLÓGICO E HIDRODINÂMICO DA DESEMBOCADURA NORTE DO CANAL DE SANTA CRUZ – PE.** *Dissertação de mestrado em Geologia.* PPGEU-UFPE.

SIQUEIRA, G. W.; LIMA, W. N. de; MENDES, A. S.; APRILE, F. M.; BRAGA, E. de S. & MAHIQUES, M. M. de. **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, 2004

- SMITH, D. M. **Water relations in sugarcane and response to water deficits.** Field Crops Research, Amsterdam, v. 92, p. 185–202, 2005.
- 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.
- SPALL, M. A. (2003) **Islands in Zonal Flow** *Journal of Physical Oceanography*. Islands in Zonal Flow Journal of Physical Oceanography. Volume 33; issue 12; Pages 2689-2701.
- 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.
- STRAMMA, L., ENGLAND, M. (1999) **On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean.** *Journal of Geophysical Research*, 104(C9):20863-20883.
- STRIDE, A.H. 1963. Current -swept floors near the southern half of Great Britain. *Q.J. geol. Soc. Lond.*, **119**: 175-199.
- SUDENE, 1978. Inventário Hidrogeológico básico do Nordeste: Folha nº21, Recife- NO. Recife, 183p.
- SUGUIO, K. Introdução à sedimentologia. São Paulo: Edgard Blücher, 1973. 317 p.
- SUGUIO, K. (2003). **Geologia sedimentar.** Edgard Blücher.
- SUHAYDA, J. N. et al. 1997. Documentations and analisys of coastal processes northesast coast of Brasil. Lousiana State University. Technicak report. N. 238. 98p.
- SWEERTS, J. P. R., LOUIS, V. S., & CAPPENBERG, T. E. (1989). Oxygen concentration profiles and exchange in sediment cores with circulated overlying water. *Freshwater Biology*, 21(3), 401-409.
- SWIFT, D. J. (1974). Continental shelf sedimentation. In *The geology of continental margins* (pp. 117-135). Springer Berlin Heidelberg.
- SUMMERHAYES, C. P., COUTINHO, P. N., FRANÇA, A. M. C., & ELLIS, J. P. (1975). Salvador to Fortaleza, North-eastern Brazil. *Contributions to Sedimentology*, 4, 44-77.
- TAUHATA, L., SALATI, I., DI PRINZIO, R., & DI PRINZIO, A. R. (2003). Radioproteção e dosimetria. CEP, 22783, 127.

TEIXEIRA, W.; CORDANI, U.G.; MENOR, E.A.; TEIXEIRA, M.G & LINSKER, R. 2003. **Arquipélago de Fernando de Noronha o paraíso do vulcão**. Terra Virgem Editora, São Paulo, Brasil, 167p

THURMAN, H. V., & BURTON, E. A. (1997). **Introductory oceanography**. New Jersey: Prentice Hall

TRAVASSOS, P. E. P. F. **Hidrologia e Biomassa primária do fitoplâncton no estuário do Rio Capibaribe, Recife, Pernambuco**. 1991. 288 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1991.

TRAVASSOS, P. E. P. F.; MACEDO, S. J.; KOENING, M. L. **Aspectos hidrológicos do estuário do rio Capibaribe (Recife- PE- Brasil)**. Trabalhos Oceanográficos, Recife, v. 22, p. 9-38, 1991/93.

TRAVASSOS, R. K., MONTES, M. J. F., DA COSTA, B. V. M., & DA SILVA JUNIOR, J. M. (2016). The Influence of Urban Effluents on the Elemental C/N Ratio in a Tropical Coastal Area of Northeastern Brazil. *Journal of Coastal Research*, 168-172.

TYSON, R. V. **Sedimentary Organic Matter**. London: Chapman & Hall, 1995. 589 p.

VALENÇA, L. M. M., NEUMANN, V. H., MENOR, E. A., & SANTOS, C. E. R. R. (2005). **Eolianitos de Fernando de Noronha: Uma análise integrada de estudos petrográficos e geoquímicos**. In 10º Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário-ABEQUA (pp. 37-39).

VAN RAIJ, B. (1991) **Fertilidade do Solo e Adubação**. Ceres, Potafos, São Paulo, Piracicaba (SP), 343 p.

VARELA, G. J. A. C., **Influência dos recifes na evolução da linha de costa na Ilha de Itamaracá- PE**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Recife, p. 125. 2010.

VEIGA JÚNIOR, J. P. [CD ROM] **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. São Luís NE/SE. Folha SA.23-X e SA.23-Z. Estados do Maranhão e Piauí. Escala 1:500.000**. Geologia. CPRM. Brasília: CPRM, 2000. Disponível em 1 CD.

VILLAÇA, R., PEDRINI, A. G., PEREIRA, S. M. B. & FIGUEIREDO, M. A. O. (2006) **Flora marinha bentônica das ilhas oceânicas brasileiras**. In: ALVES, R. J. V. & CASTRO, J. W. A. (orgs.). *Ilhas oceânicas brasileiras: da pesquisa ao manejo*, p. 105-146, MMA Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Brasília, DF, Brasil. ISBN: 8587166913

VINAGRADOV, M. (1981) **Ecosystems of equatorial upwelling**. Longhurst, A.R. ed. *Analysis of marine ecosystems*. New York: Academic.

WEI, T. C., & MCGUINNESS, J. L. (1973). **Reciprocal Distance Squared Method, A computer technique for estimating areal precipitation**. *ARS-NC*.

WILDNER, W; FERREIRA, R.V.(2011). **PROJETO GEOPARQUES FERNANDO DE NORONHA – PE (Proposta). SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM.** Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/Gestao-territorial/geoparques/noronha1/index.php?GEOPARQUE=1>

WILLIAMS, J. D. H., MURPHY, T. P., & MAYER, T. (1976). **Rates of accumulation of phosphorus forms in Lake Erie sediments.** Journal of the Fisheries Board of Canada, 33(3), 430-439.

WILSON, J. L. (2012). **Carbonate facies in geologic history.** Springer Science & Business Media.

YAMAMURO M, KAYANNE H, YAMANO H (2003)  **$\delta^{15}\text{N}$  of seagrass leaves for monitoring anthropogenic nutrient increases in coral reef ecosystems.** Mar Pollut Bull 46:452–458

YAMAMURO, M., & KAMIYA, H. (2014). **Elemental (C, N, P) and isotopic ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ) signature of primary producers and their contribution to the organic matter in coastal lagoon sediment.** Landscape and ecological engineering, 10(1), 65-75.

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.

**APÊNDICES**

Apêndice A – Correlação e Spearman (*rs*) para as amostras de plataforma continental adjacente a Ilha de Itamaracá

	Teor de CaCO <sub>3</sub> (%)	Teor de MOT (%)	Phi Médio	G. Seleção	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila	N tot %	C org %	P tot %	P org %	P Inor %
Teor de CaCO <sub>3</sub> (%)	1,000												
Teor de MOT (%)	0,563	1,000											
Phi Médio	-0,530	-0,158	1,000										
G. Seleção	0,266	0,220	-0,401	1,000									
% Cascalho	0,619	0,513	-0,750	0,399	1,000								
% Areia	-0,618	-0,522	0,743	-0,396	-1,000	1,000							
% Silte	0,201	0,694	0,100	0,048	0,416	-0,431	1,000						
% Argila	-	-	-	-	-	-	-	-					
N tot %	0,102	0,104	0,073	0,247	-0,075	0,075	0,031	-	1,000				
C org %	0,380	0,384	-0,102	0,146	0,034	-0,035	0,080	-	0,655	1,000			
P tot %	0,969	0,507	-0,553	0,265	0,622	-0,620	0,168	-	-0,021	0,231	1,000		
P org %	0,957	0,457	-0,521	0,288	0,602	-0,600	0,148	-	-0,035	0,224	0,978	1,000	
P Inor %	0,920	0,538	-0,557	0,216	0,606	-0,604	0,184	-	-0,001	0,225	0,962	0,884	1,000
Rz. C/N	0,358	0,740	0,079	0,141	0,136	-0,142	0,401	-	0,342	0,619	0,290	0,276	0,289
Rz. C/P	0,347	0,356	-0,069	0,153	0,004	-0,004	0,058	-	0,721	0,996	0,196	0,188	0,194
δ <sup>15</sup> N	0,928	0,944	-0,683	0,105	0,715	-0,717	0,773	-	-0,711	0,268	0,989	0,976	0,998
δ <sup>13</sup> C	0,054	0,252	-0,104	-0,080	-0,009	0,007	0,131	-	0,146	0,732	-0,045	-0,030	-0,062

## Apêndice B – Análise da fração arenosa para as amostras de plataforma continental adjacente a Ilha de Itamaracá

Amostra	ITA 2		ITA 3		ITA 4		ITA 5		ITA 6		ITA 8		ITA 11		ITA 14		ITA 16		ITA 17		ITA 18	
Fração	250	500	250	500	250	500	250	500	250	500	250	500	250	500	250	500	250	500	250	500	250	500
Quartzo	36,7	22,5	30,9	31,1	31,3	45,5	3,5	11,8	19,8	23,5	91,0	90,0	92,0	87,0	97,0	76,4	33,1	35,0	16,0	20,0	89,0	92,0
Quartzo limonitizado	32,1	39,2	10,3	9,8	14,5	15,2	10,5	47,1	29,2	10,1	0,00	0,00	5,0	9,0	0,00	3,6	0,00	0,00	16,0	20,0	0,00	0,00
Mica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Minerais pesado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,0	2,0	1,0	0,00	0,00	0,00	0,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fragmentos de rocha	0,00	1,0	0,00	13,1	7,2	8,3	3,5	0,00	22,9	2,5	0,00	4,0	1,0	2,0	0,00	10,0	18,5	23,8	3,6	6,0	8,0	4,0
Fragmentos vegetal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Outros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total terrígenos (%)	68,8	62,7	41,2	54,1	53,0	68,9	17,5	58,8	71,9	44,5	98,0	96,0	99,0	98,0	97,0	90,9	52,3	58,7	35,6	46,0	97,0	96,0
Gastrópoda	0,00	4,9	0,00	0,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,8	0,00	1,0	0,00	0,00	0,00	5,5	0,7	0,7	0,00	0,00	0,00	0,00
Bivalve	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,9	0,00	1,4	0,00	0,00	0,00	0,00
Equinoderma	0,00	0,00	0,00	0,00	1,2	3,0	0,00	11,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Briozoário	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,8	17,6	9,4	4,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Foraminífera	21,1	0,00	27,8	36,9	34,9	16,7	42,1	5,9	11,5	27,7	0,00	0,00	1,0	0,00	0,00	0,00	2,6	6,3	13,2	27,5	2,0	1,0
Poliqueta	3,7	21,6	10,3	0,8	0,00	2,3	17,5	5,9	5,2	3,4	0,00	1,0	0,00	0,00	1,0	0,00	4,0	2,8	3,6	1,5	0,00	0,00
Cirripédio	0,00	0,00	0,00	0,00	2,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,0	2,0	0,00	0,00	1,0	0,00	0,00	0,00	12,4	0,00	0,00	0,00
Crustáceo	0,00	2,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Espinha de peixe	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vértebra de peixe	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,1	0,00	0,00	0,00	0,00	1,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ostracodes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fragmento de coral	0,00	2,0	20,6	7,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Quitina	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Brachiura	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Esponja	5,5	5,9	0,00	0,00	8,4	9,1	0,00	0,00	0,00	4,2	0,00	0,00	0,00	0,00	1,0	2,7	0,00	0,7	0,00	0,00	0,00	0,00
Diatomáceas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Não identificado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Escafópoda	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Outros	0,9	1,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,4	29,4	35,2	25,0	1,0	3,0
Total biogênico (%)	31,2	37,3	58,8	45,9	47,0	31,1	82,5	41,2	28,1	55,5	2,0	4,0	1,0	2,0	3,0	9,1	47,7	41,3	64,4	54,0	3,0	4,0
Índice BM	-0,38	-0,25	0,18	-0,08	-0,06	-0,38	0,65	-0,18	-0,44	0,11	-0,96	-0,92	-0,96	-0,92	-0,94	-0,82	-0,05	-0,17	0,29	0,08	-0,94	-0,92
Esfericidade	Baixa		baixa		baixa		baixa		baixa		média		baixa		baixa		baixa		baixa		baixa	
Arredondamento	sub anguloso		anguloso		sub anguloso		sub anguloso		sub anguloso		sub anguloso		sub anguloso		anguloso		anguloso		anguloso		anguloso	

Apêndice C - Correlação e Spearman (*rs*) para as as amostras de plataforma continental adjacentes ao Porto do Recife

	Teor de CaCO <sub>3</sub> (%)	Teor de MOT (%)	Phi Médio	G. Seleção	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila	N tot %	C org %	P tot %	P org %	P Inor %	Rz. C/N	Rz. C/P	δ <sup>15</sup> N	δ <sup>13</sup> C
Teor de CaCO <sub>3</sub> (%)	1,000																
Teor de MOT (%)	-0,406	1,000															
Phi Médio	-0,567	0,794	1,000														
G. Seleção	-0,545	0,536	0,590	1,000													
% Cascalho	0,476	-0,222	-0,534	-0,345	1,000												
% Areia	0,232	-0,696	-0,671	-0,445	-0,223	1,000											
% Silte	-0,469	0,798	0,934	0,623	-0,307	-0,858	1,000										
% Argila	-0,492	0,750	0,896	0,535	-0,275	-0,832	0,943	1,000									
N tot %	-0,564	0,600	0,713	0,745	-0,248	-0,640	0,763	0,665	1,000								
C org %	-0,572	0,642	0,740	0,759	-0,249	-0,667	0,789	0,698	0,997	1,000							
P tot %	-0,299	0,807	0,655	0,309	-0,174	-0,500	0,575	0,574	0,263	0,315	1,000						
P org %	-0,303	0,788	0,614	0,309	-0,128	-0,500	0,548	0,578	0,204	0,264	0,977	1,000					
P Inor %	-0,262	0,758	0,659	0,279	-0,231	-0,450	0,563	0,512	0,333	0,368	0,939	0,846	1,000				
Rz. C/N	-0,503	0,690	0,707	0,603	-0,292	-0,556	0,693	0,681	0,827	0,841	0,512	0,458	0,549	1,000			
Rz. C/P	-0,517	0,509	0,630	0,746	-0,208	-0,588	0,695	0,573	0,974	0,964	0,148	0,078	0,246	0,758	1,000		
δ <sup>15</sup> N	0,394	0,445	0,531	-0,545	-0,523	-0,355	0,386	0,446	-0,222	-0,192	0,608	0,502	0,656	0,252	-0,376	1,000	
δ <sup>13</sup> C	-0,131	0,335	0,442	0,348	0,000	-0,388	0,390	0,290	0,504	0,515	0,318	0,241	0,412	0,323	0,515	-0,001	1,000

## Apêndice D – Análise da fração arenosa para as amostras de plataforma continental adjacente ao Porto do Recife.

Amostra	PR 1		PR2		PR 4		PR 5		PR 6		PR 7		PR 12		PR 13		PR 14		PR 15		PR 16		
Fração	250	500	250	500	250	500	250	500	250	500	250	500	250	500	250	500	250	500	250	500	250	500	
Quartzo	71,9	47,9	90,7	87,0	78,4	70,7	80,8	88,2	81,5	83,9	49,7	49,2		81,5	51,3	54,6	72,5	91,3	65,1	55,7	33,1	41,3	
Quartzo limonitizado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,2	17,5
Mica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Minerais pesado	0,00	0,00	0,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,8	0,00	0,6	0,00	2,4	
Fragmentos de rocha	0,00	24,0	0,9	0,00	1,6	4,5	2,5	2,7	2,5	5,4	2,1	2,1	33,3	13,4	0,00	0,00	3,8	0,8	2,0	3,6	0,00	0,00	
Fragmento vegetal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Outros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Total terrígenos (%)	71,9	71,9	92,6	87,0	80,0	75,2	83,3	90,9	84,0	89,3	52,9	51,3	33,3	95,0	51,3	54,6	76,3	92,9	67,1	59,9	46,3	61,1	
Gastrópoda	1,4	0,00	0,00	0,00	4,8	1,5	2,5	0,00	1,7	3,6	2,6	1,5	0,00	0,00	1,5	1,6	0,00	1,5	0,7	2,4	0,00	0,00	
Bivalve	0,00	0,00	0,00	0,00	1,6	1,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,0	0,00	0,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,8	0,00	0,00	
Equinoderma	2,2	0,00	0,00	0,00	2,4	2,3	0,00	0,00	0,8	0,00	0,5	0,00	0,00	0,00	1,5	0,00	3,8	0,00	1,3	0,00	0,00	0,00	
Briozoário	3,6	0,00	0,00	0,00	0,00	6,0	2,5	0,00	2,5	0,9	3,2	1,0	0,00	0,00	1,5	0,00	0,00	0,00	2,7	0,00	0,00	0,00	
Foraminífera	0,1	19,2	0,00	0,00	3,2	9,0	8,3	4,5	10,9	6,3	23,8	12,8	33,3	2,5	15,9	14,2	4,6	3,1	14,8	5,4	46,3	28,6	
Poliqueta	7,2	2,7	0,00	0,00	0,00	4,5	0,8	0,00	0,00	0,00	7,9	0,5	30,3	0,00	17,9	1,1	0,00	0,00	8,7	0,00	7,4	0,8	
Cirripédio	0,00	2,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Crustáceo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,7	0,00	0,00	0,00	
Espinha de peixe	0,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Vértebra de peixe	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,8	
Ostracodes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,1	0,5	0,00	0,8	0,00	1,1	0,00	0,00	2,0	0,6	0,00	0,00	
Fragmento de coral	3,6	0,00	7,4	13,0	0,00	0,00	2,5	4,5	0,00	0,00	7,9	30,8	0,00	0,00	10,3	27,3	15,3	0,8	0,00	29,9	0,00	0,00	
Quitina	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Brachiura	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Espanja	0,00	0,7	0,00	0,00	8,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,3	
Diatomáceas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Não identificado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Escafópoda	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Outros	2,2	3,4											1,5	0,8								2,4	
Total biogênico (%)	20,9	28,1	7,4	13,0	20,0	24,8	16,7	9,1	16,0	10,7	47,1	48,7	66,7	5,0	48,7	45,4	23,7	5,3	32,9	40,1	53,7	38,9	
Índice BM	-0,44	-0,44	-0,85	0,74	-0,60	-0,50	-0,67	-0,82	-0,68	-0,79	-0,06	-0,03	0,33	-0,90	-0,03	-0,09	-0,53	-0,87	-0,34	-0,20	0,07	-0,22	
Esfericidade	média		baixa		boa		baixa		baixa		moderada		baixa		baixa		média		boa		boa		
Arredondamento	sub arredondada		sub angulosa		sub angulosa		angulosa		sub angulosa		sub angulosa		sub arredondada		sub angulosa		sub arredondada		arredondada		arredondada		

Apêndice E - Correlação e Spearman (*rs*) para as amostras de Fernando de Noronha

	Teor de CaCO <sub>3</sub> (%)	Teor de MOT (%)	Phi Médio	G. Seleção	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila	N tot %	C org %	P tot %	P org %	P Inor %	Rz. C/N	Rz. C/P	δ <sup>15</sup> N	δ <sup>13</sup> C
Teor de CaCO <sub>3</sub> (%)	1,000																
Teor de MOT (%)	0,175	1,000															
Phi Médio	-0,275	-0,325	1,000														
G. Seleção	-0,138	-0,138	-0,527	1,000													
% Cascalho	0,421	0,454	-0,829	0,160	1,000												
% Areia	-0,419	-0,464	0,812	-0,157	-0,999	1,000											
% Silte	-0,086	0,138	0,418	-0,069	-0,142	0,090	1,000										
% Argila	-	-	-	-	-	-	-	-									
N tot %	0,107	0,201	-0,658	-0,008	0,834	-0,835	-0,082	-	1,000								
C org %	0,148	0,221	-0,662	-0,005	0,845	-0,846	-0,070	-	0,995	1,000							
P tot %	-0,229	0,142	0,101	0,171	-0,102	0,100	0,048	-	-0,056	-0,023	1,000						
P org %	-0,289	0,002	0,090	0,182	-0,137	0,138	0,002	-	-0,025	0,002	0,929	1,000					
P Inor %	-0,289	0,002	0,090	0,182	-0,137	0,138	0,002	-	-0,025	0,002	0,929	0,778	1,000				
Rz. C/N	-0,082	0,055	-0,221	0,169	0,226	-0,239	0,216	-	0,482	0,472	0,419	0,386	0,407	1,000			
Rz. C/P	0,093	0,163	-0,646	0,023	0,793	-0,794	-0,074	-	0,988	0,989	-0,095	-0,128	-0,041	0,452	1,000		
δ <sup>15</sup> N	0,364	-0,468	0,681	-0,263	-0,588	0,580	0,256	-	-0,534	-0,492	0,027	0,059	-0,018	0,403	-0,472	1,000	
δ <sup>13</sup> C	0,385	0,084	-0,508	-0,121	0,678	-0,676	-0,126	-	0,643	0,617	-0,170	-0,086	-0,254	0,361	0,568	-0,259	1,000





