

## CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTAR E ASSEMBLEIAS DE FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS DA PLATAFORMA EXTERNA EQUATORIAL, ADJACENTE AO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL

*SEDIMENTARY CHARACTERIZATION AND BENTHIC FORAMINIFERAL ASSEMBLAGES OF THE EQUATORIAL OUTER SHELF, ADJACENT TO THE STATE OF RIO GRANDE DO NORTE, BRAZIL*

Allany de Paula Uchôa ANDRADE<sup>1</sup>, Patrícia Pinheiro Beck EICHLER<sup>1,2</sup>, Moab Praxedes GOMES<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Campus Universitário, Caixa Postal 1596. Natal – RN, Brasil. E-mail: allany.uchoa@gmail.com, gomesmp@geologia.ufrn.br

<sup>2</sup>EcoLogicProject.com. Highway 9, Boulder Creek, California, USA.  
E-mail: patriciaeichler@gmail.com

Introdução  
Materiais e Métodos  
Coleta de Dados  
Processamento do Material Biológico  
Processamento do Material Abiótico  
Análise Granulométrica  
Análise do Teor de Carbonato de Cálcio CaCO<sub>3</sub>  
Análise do Teor de Matéria Orgânica  
Métodos Estatísticos  
Resultados  
Dados Abióticos  
Dados Bióticos Através de Dados Estatísticos  
Análises Univariadas  
Análises multivariadas  
MDS  
Cluster  
PCA  
Best  
Distribuição Dos Foraminíferos  
Discussões  
Conclusões  
Agradecimentos  
Referências

**RESUMO** - Em estudos na plataforma continental brasileira com sedimentação mista carbonática e siliciclástica tem se utilizado de foraminíferos como bioindicadores de produtividade carbonática, correntes marinhas, entradas de nutrientes, e saúde ambiental. O presente trabalho tem como objetivo investigar a cobertura sedimentar recente da plataforma externa equatorial do Rio Grande do Norte, entre os vales incisos Apodi-Mossoró e Piranhas-Açu, para compreender a distribuição de nutrientes e produção carbonática através de assembleias de foraminíferos. Foram utilizados métodos estatísticos para os dados bióticos, em valores quantitativos e qualitativos. Análises granulométricas, de teores de CaCO<sub>3</sub> e de matéria orgânica permitiram o reconhecimento de seis fácies sedimentares. A presença de *Globigerina rubra*, *Quinqueloculina patagonica*, e *Peneroplis pertussus* está relacionada à intrusão de correntes oceânicas sobre a quebra da plataforma. Além disso, a presença de *Buccella peruviana*, se correlaciona aos altos teores de CaCO<sub>3</sub> e matéria orgânica. As espécies de foraminíferos supracitadas podem indicar ocorrência de fenômenos oceânicos como giro tropical e ressurgência. A diversidade de organismos simbiotes e sua correlação aos abióticos se relacionam à produção carbonática e ao ambiente plataformal pristino.

**Palavras-chave:** Plataforma Externa, Fácies Sedimentares, Diversidade, Dominância, Foraminífero, Giro Tropical e Ressurgência.

**ABSTRACT** - Studies on mixed carbonatic and siliciclastic sedimentation on the Brazilian continental shelf have been used Foraminifera as bioindicators of carbonate productivity, marine currents, nutrient intakes, and environmental health. This work aim to investigate the recent sedimentary coverage and the Foraminifera assemblages of the equatorial outer shelf of Rio Grande do Norte State, between the Apodi-Mossoró and Piranhas-Açu incised valleys to understand the nutrient distribution and carbonate production. Statistical methods were used for the biotic data, in quantitative and qualitative values. granulometric analysis, CaCO<sub>3</sub>, and organic matter contents allowed to identify six sedimentary facies. The presence of *Globigerina rubra*, *Quinqueloculina patagonica*, and *Peneroplis pertussus* is related to the intrusion of ocean currents over the shelf break. The presence of *Buccella peruviana* is correlated with high CaCO<sub>3</sub> and organic matter contents. The species of foraminifera mentioned above may indicate occurrence of oceanic phenomena such as tropical Gyre and upwelling. Diversity of symbiotic organisms and their correlation to abiotic are related to carbonate production and the pristine shelf environment.

**Keywords:** Outer Shelf, Sedimentary Facies, Diversity, Dominance, Foraminifera, Tropical Gyre, Upwelling.

## INTRODUÇÃO

A cobertura sedimentar atual da plataforma continental reflete a natureza predominante de sua composição, siliciclástica ou carbonática, proveniência, a ação de transporte e retrabalhamento, promovida por ondas, marés e correntes (Ponzi, 2004). A ausência ou um baixo aporte siliciclástico favorece a produção carbonática em regiões equatoriais (Bahamas, Caribe, Yucatán, Golfo Árábico, Austrália Ocidental, Indonésia, Nordeste brasileiro) (Langer et al, 1997; Langer & Hottinger, 2000; Langer, 2008).

A Plataforma Equatorial Brasileira, adjacente ao Estado do Rio Grande do Norte (RN), apresenta dois setores: *i*) Setor Leste, no qual compõe o Rio Sagi, onde se localiza na divisa dos estados RN e PB, até o Alto de Touros, e; *ii*) Setor Norte, a partir do Alto de Touros até Tibau, entre a divisa RN-CE (Vital et al., 2010). A plataforma continental adjacente ao RN possui sedimentação mista, siliciclástica e carbonática, sendo a parte externa composta por uma cobertura de sedimentos essencialmente carbonáticos. Esta plataforma é considerada relativamente rasa, com largura média de 40 km na qual sua quebra ocorre em profundidades médias de 75 m (Gomes et al., 2016). Sujeita às ações da corrente marinha sul equatorial, ventos fortes e variações de marés, representa um ambiente bastante dinâmico.

Segundo a distribuição sedimentar e geomorfológica, a plataforma norte do RN pode ser dividida em três segmentos (Vital et al, 2008, Gomes et al., 2015): 1) Plataforma interna, essencialmente siliciclástica, com 24 km de largura, em profundidades de 0 a 15 m; 2) Plataforma média, de sedimentação mista, com 10 km, de 15 a 25 m de profundidade, e 3) Plataforma externa, predominantemente carbonática, possuindo em torno de 8 km, em profundidades variando de 25 m até a quebra da plataforma. As profundidades variam, principalmente nas porções média e externa, onde ocorrem as escavações mais profundas

feitas pelos vales incisivos dos rios Apodi-Mossoró e Piranhas-Açu (Figura 1), as quais servem de barreiras para o transporte e distribuição dos sedimentos ao longo da plataforma (Gomes et al., 2016).

Características geomorfológicas e ambientais de uma região oceânica podem ser sintetizadas por indicadores ambientais como os foraminíferos (Scott et al., 2007). Esses organismos unicelulares possuem ampla distribuição geográfica e batimétrica, reagem rapidamente às alterações do meio ambiente e seus diversos tipos de carapaças, porcelanosas, hialinas ou aglutinantes, são sensíveis – e adaptáveis – ao meio onde vivem, e quando mortos, são depositados e se somam ao substrato marinho para a produção de carbonato de cálcio (Ribeiro-Hessel, 1982; Vilela, 2000), indicando também interação entre correntes marinhas e fenômenos oceânicos (Schmiedl, et al., 1997, Eberwein & Mackensen, 2006).

Nossa pesquisa pretende usar os foraminíferos como indicadores de características como: hidrodinâmica costeira, distribuição sedimentar, produção carbonática, salinidade, temperatura, qualidade das águas e do ecossistema na plataforma externa do RN, entre os vales incisivos Piranhas-Açu e Apodi-Mossoró (Figura 1). Através do estudo das fácies sedimentares e dinâmica populacional bentônica e planctônica dos foraminíferos pretende-se, portanto, verificar as possíveis correlações na produção carbonática e distribuição de nutrientes marinhos em campos de recifes submersos entre os vales incisivos dos rios Açu e Apodi. As análises granulométricas, os teores de carbonato de cálcio, de matéria orgânica, e as assembleias de foraminíferos simbiotes (dinoflagelados associados) ou não, possibilitaram o mapeamento de regiões potenciais para produção de carbonato de cálcio evidenciando possíveis fenômenos oceânicos como giro tropical e ressurgência, fornecendo dados para avaliação da qualidade ambiental e da dinâmica sedimentar na plataforma.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Coleta de Dados

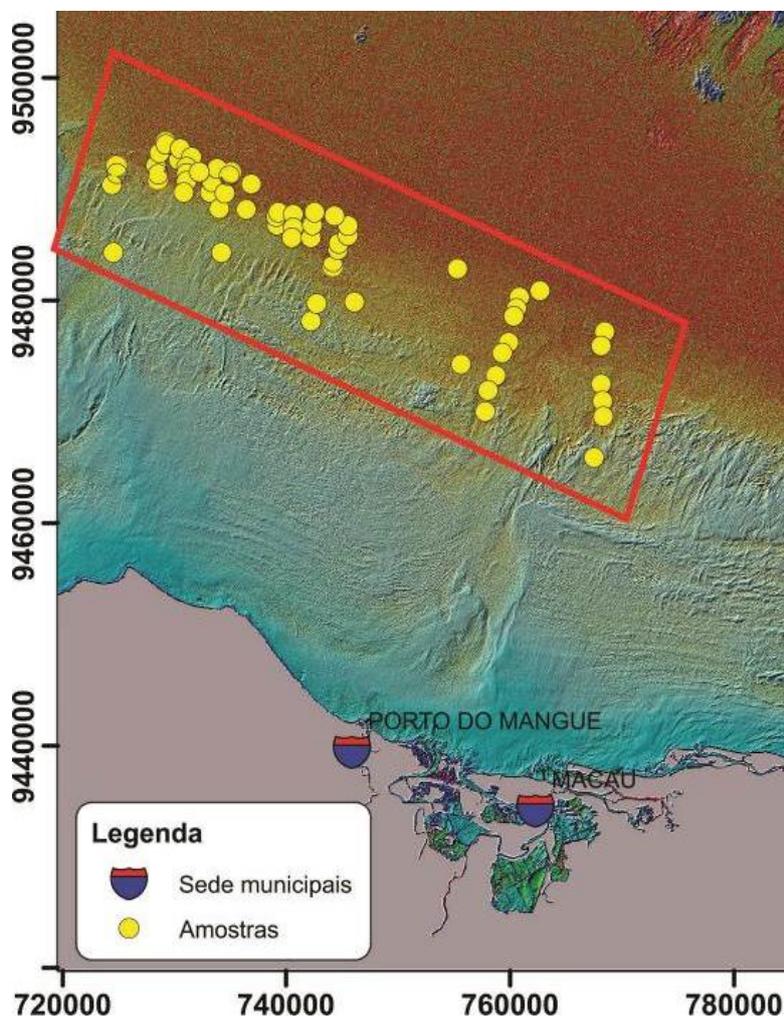
As estações de coleta (Figura 1) para o material sedimentológico e bentônico localizam-se na porção externa da plataforma entre as isóbatas de 16 m e 68 m, região na qual se encontra entre os

vales incisivos do Rio Piranhas-Açu e do Rio Apodi-Mossoró, e uma larga ocorrência recifal, os Recifes do Açu (Nascimento Silva et al., 2018). Os dados de sedimentares foram coletados a bordo do navio Capitão Manhães, da Marinha do Brasil, em

transectos perpendiculares a quebra da plataforma totalizando 61 amostras.

As amostras sedimentares superficiais de fundo plataformal foram coletadas utilizando uma draga do tipo Van Veen e um guincho elétrico para a operação de coleta. A draga coletou os primeiros centímetros da camada superior do fundo. Com uma espátula foi retirado os 2 primeiros centímetros de substrato e transferidos para recipientes com Rosa de Bengala diluído em

álcool. O Rosa de Bengala diluído em álcool é utilizado para a coloração dos espécimes vivos e álcool para evitar o ataque bacteriano (Eichler et al., 2007). Outra parte do material sedimentar foi separada e acondicionada em sacos plásticos para análise granulométrica. Juntamente com as amostras sedimentares foram coletados dados de temperatura, salinidade, velocidade do som na água e profundidade utilizando um CTD (*Conductivity, Temperature and Depth*).



**Figura 1** – Localização da área do presente estudo na plataforma norte do RN, entre os vales incisivos do Rio Açú e Apodi. Em amarelo, as amostras de sedimentos coletadas para o presente estudo. Modificado de Ferreira, 2012.

### Processamento do Material Biológico

Cada amostra coletada foi acondicionada com aproximadamente 50 cm<sup>3</sup> de sedimento para análise de foraminíferos, seguidamente lavadas e peneiradas em via úmida utilizando-se uma peneira de 0,062 mm, e a fração retida nesta peneira foi colocada em filtros de papel e levadas para uma estufa para secagem a uma temperatura de 60°C. Em seguida realizou-se o quartejamento, em que as amostras foram divididas em frações menores. Depois de finalizado esse procedimento, foi realizada a etapa de triagem dos foraminíferos do

material sedimentar, e através de um pincel para coloca-los em lâminas de fundo preto para identificação das espécies, através de uma lupa estereoscópica com zoom de até 8x, e em paralelo, algumas fotografias serão obtidas através do MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura).

As classificações dos foraminíferos, que nas etapas seguintes foram reconhecidos, são baseadas nos trabalhos de Boltovskoy et al. (1980), Cushman (1950) e Loeblich & Tappan (1988). Após seu reconhecimento, foram geradas tabelas de abundância absoluta no que se refere ao número

de indivíduos em um volume de 50 cm<sup>3</sup> de sedimento e de abundância relativa expressa por valores em porcentagem.

### **Processamento do Material Abiótico**

A análise granulométrica baseou-se no método descrito por Suguio (1973), no qual se define a granulometria com base nas classes granulométricas de Wentworth (1922). O teor de carbonato de cálcio e o teor de matéria orgânica é o valor que resulta da diferença entre o peso inicial e o peso final da amostra.

O processamento sedimentológico desenvolvido no Laboratório de Sedimentologia da UFRN, e as análises dos teores de CaCO<sub>3</sub> e matéria orgânica no Laboratório de Geoquímica da mesma universidade, pode ser separado em quatro etapas: 1) Lavagem e separação das alíquotas; 2) Análise granulométrica; 3) Análise do Teor de Carbonato; e 4) Análise do teor de matéria orgânica.

A primeira etapa consistiu na lavagem das amostras para a retirada de sais, e por esse motivo são realizadas três vezes o processo, em seguida as amostras foram secadas em estufa a 50°C e por fim foram homogeneizadas, quarteadas e separadas as alíquotas para as três etapas subsequentes, sendo 10 g para a análise do teor de matéria orgânica, 10 g para o teor de carbonato e 100g para a granulometria.

### **Análise granulométrica**

A análise granulométrica foi desenvolvida no Laboratório de Sedimentologia da UFRN, na qual a amostra foi colocada em uma sequência com as peneiras de 8,0 mm, 4,00 mm, 2,00 mm, 1,00 mm, 0,500 mm, 0,250 mm, 0,125 mm, 0,0063 mm e a PAN no agitador de peneiras por 15 minutos em seguida foram pesadas e inseridas no banco de dados.

### **Análise do teor de carbonato de cálcio CaCO<sub>3</sub>**

O teor de carbonato, também foi feito no Laboratório de Sedimentologia da UFRN, pela adição de Ácido Clorídrico a 10% em Becker contendo a amostra e em seguida filtrado e colocado para secagem na estufa a 50°C, por fim foram novamente pesadas e inseridas no banco de dados.

### **Análise do teor de matéria orgânica**

A análise de matéria orgânica foi desenvolvida no laboratório de Geoquímica da UFRN. Inicialmente foram pesados os cadinhos vazios e depois novamente pesados com a amostra colocada então na estufa a 100°C por um período de 24 horas, com a finalidade de retirar a umidade delas, depois de retiradas foi deixada no dissecador para

resfriar e depois foram pesadas e colocadas na mufla por 6 horas (inicialmente a 300°C por 15 minutos e depois a 600°C), após retirá-las foi posta novamente no dissecador e em seguida foi pesada e inseridas no banco de dados. Os dados foram tratados estatisticamente no programa de Sistema de Análise Granulométrica (SAG), desenvolvido por Gilberto T. M. Dias e Clarisse B. Ferraz que forneceu os cálculos estatísticos e classificações quanto à média, de acordo com Folk (1968) e Larsonneur (1977).

Adicionalmente foi utilizado o ArcGis para geração de mapas da distribuição de sedimentos e das espécies de foraminíferos, por meio do método de interpolação IDW (*Inverse Distance Weighting*).

### **Métodos Estatísticos**

As análises estatísticas univariada e multivariada foram aplicadas aos dados biológicos, a fim de avaliar a estrutura da comunidade associada às variáveis ambientais, que forneceram dados a serem utilizados na comparação regional de associações de foraminíferos.

A estatística univariada gerou índices de dominância, equitatividade e diversidade, que são efetivos quando utilizados em conjunto para avaliar mudanças na estrutura da comunidade.

O índice de diversidade de Shannon Wiener na base 10 (Newman, 1995), o índice de dominância de Simpson (Zar, 1984) e o índice de equitatividade de Pielou na base 10 (Zar, 1984) serão calculados utilizando-se o programa PRIMER, desenvolvido na Universidade de Plymouth (Clarke & Warwick, 1994).

A técnica estatística multivariada permite considerar as alterações relacionadas a várias propriedades simultaneamente como profundidade, pressão, teor de CaCO<sub>3</sub>, temperatura, salinidade e distribuição do tamanho de partículas dentro do sedimento. Neste procedimento serão aplicadas análises descritivas de PCA (*Principal Component Analysis*), Cluster, MDS (*Multi Dimensional Scaling*) e BEST também através do programa PRIMER da Universidade de Plymouth, descritos em Clarke & Warwick (1994).

Com a análise de PCA foi possível agrupar graficamente as estações de acordo com os principais componentes abióticos que as caracterizam.

A análise de Cluster levou em consideração o grau de similaridade entre as espécies ou entre as estações resultando em dendogramas de similaridade.

A análise MDS, produz um "mapa" de amostras em que a posição das amostras reflete a similaridade das suas comunidades biológicas e padrões ambientais, ao invés de sua localização geográfica simples (Eichler *et. al.*, 2012).

Porém para obter melhor visualização da distribuição dos foraminíferos além dos teores abióticos, mapas foram gerados através do *Software ArcGis 10.3*, no qual será melhor

descrito a seguir. O método de análise BEST (Clarke & Ainsworth, 1993) foi implantado usando o programa PRIMER v6 (*Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research* PRIMER-E Ltd., Plymouth). Este procedimento permitiu combinar um conjunto de dados a fim de encontrar a melhor combinação entre os parâmetros multivariados das assembleias de foraminíferos.

## RESULTADOS

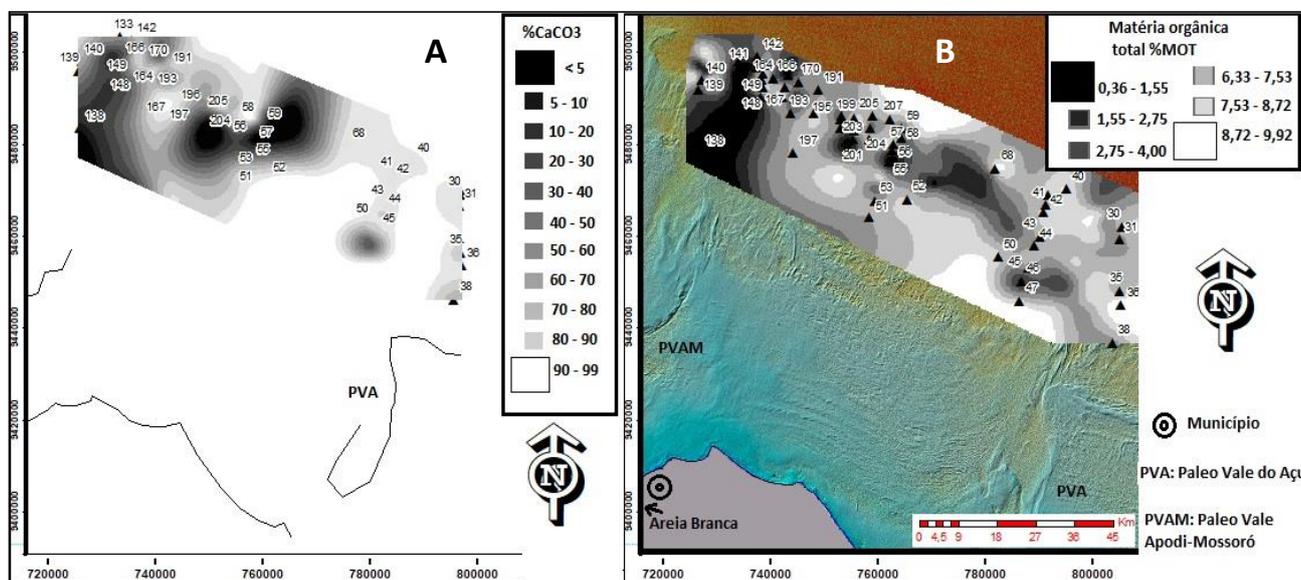
Os dados abióticos e os bióticos foram coletados em profundidades que variam de 16 a 68 m, ao longo da porção externa da plataforma, adjacente ao Estado do Rio Grande do Norte.

Os dados hidrográficos coletados em paralelo, tais como temperatura (em torno de aproximadamente 28°C) e salinidade (entre 35 e 36 UPS) foram constantes.

### Dados Abióticos

Os resultados das análises sedimentológicas

revelaram que o Teor de Matéria Orgânica Total (MOT) varia de < 1% a 9,48% (o valor máximo é de 10%). Já os teores de CaCO<sub>3</sub> que alcançaram valores próximos aos 100% correlacionam-se às granulometrias variando de frações areia média a cascalho (definindo assim as fácies carbonáticas, e subfácies carbonáticas médias, grossas a cascalhosas, nos quais será discutido a seguir). As figuras 2A e 2B desses teores mostram o padrão similar de distribuição.



**Figuras 2** – A) Mapa da distribuição de teores de CaCO<sub>3</sub>; B) mapa de matéria orgânica.

Os dados granulométricos, com as percentagens dos sedimentos finos a cascalhosos associados aos teores de carbonato de cálcio permitiram uma classificação baseada (Folk, 1968), Dias (1996) e Freire *et al* (1997), modificada por Vital *et al* (2005). Seguindo essa classificação, a figura 3 mostra que foram reconhecidas fácies de sedimentos carbonáticos, siliciclásticos e mistos (carbonáticos e siliciclásticos), distribuídas em 6 fácies sedimentares principais (Figura 4A), com 10 subfácies associadas (Figura 4B). As fácies mais abundantes e agrupadas, tanto possuem maiores teores de carbonato de cálcio (portanto

quantidades significativas de sedimentos bioclásticos), como também menores teores (areias quartzosas predominantes). As fácies ricas em carbonato de cálcio mais abundantes são representadas pelas fácies Cascalho Bioclástico, seguidamente pelas fácies Areia Bioclástica. Tais fácies e subfácies sedimentares foram definidas, principalmente pela granulometria e teor de carbonatos (Figura 4A), e está distribuído como mostra o mapa da Figura 5B, ao longo da área de estudo. Os carbonatos se distribuem variando em sua proporção, envolvendo fácies arenosas com a presença de siliciclásticas (Figura 4B).

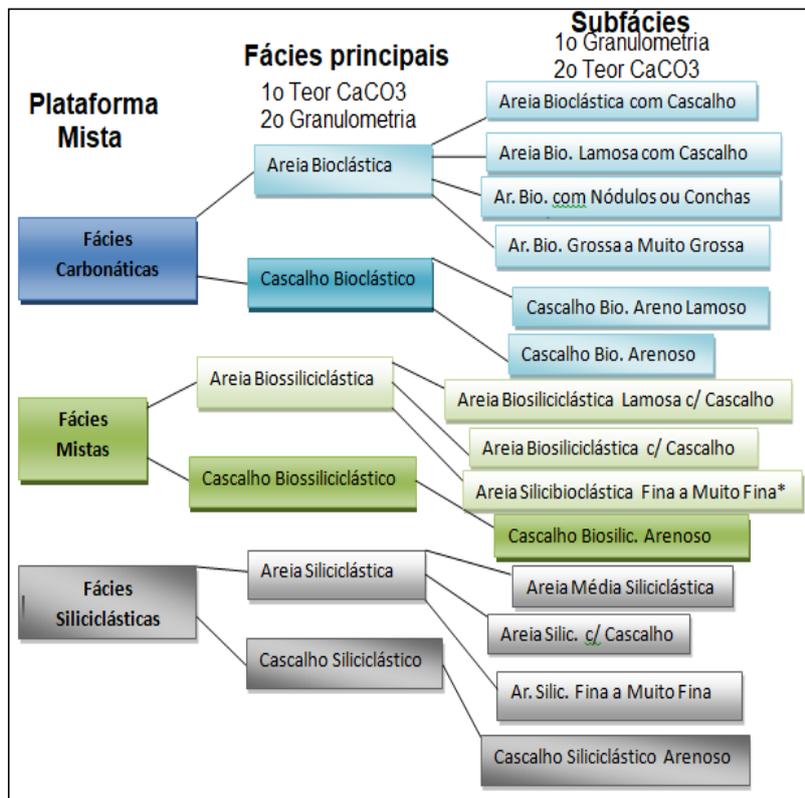


Figura 3 – Resumo das principais fácies e subfácies reconhecidas.

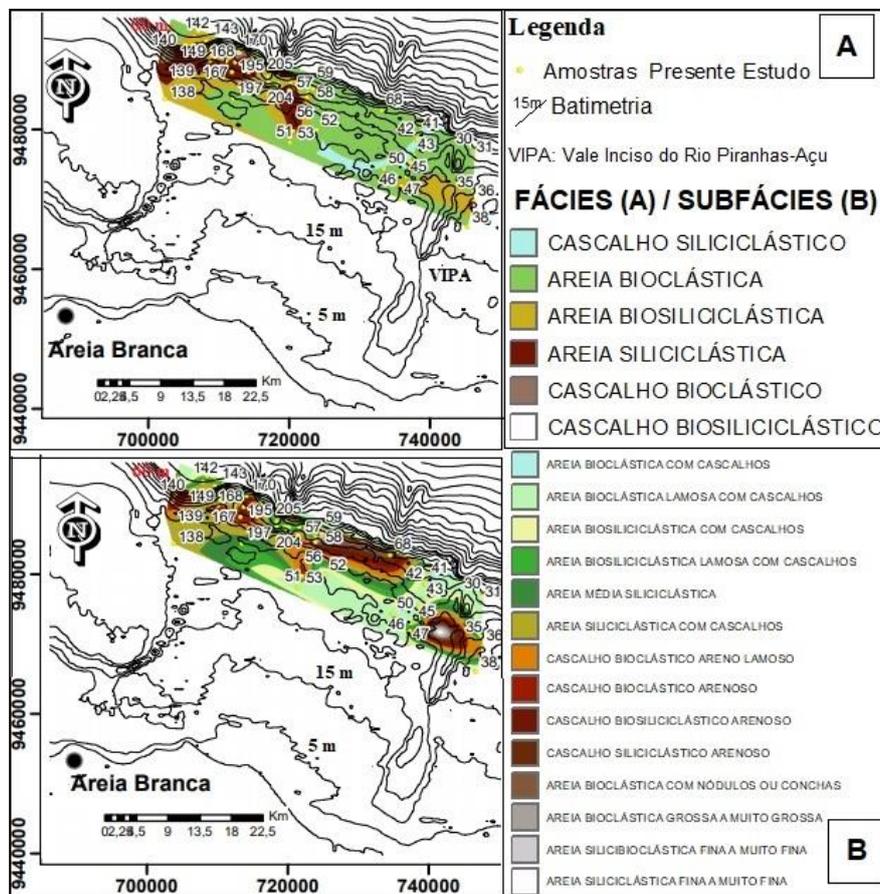


Figura 4 - A) - Fácies principais reconhecidas no presente estudo. As **Fácies Carbonáticas** são compostas pelas Fácies Areia Bioclástica, Cascalho Bioclástico; as **Fácies Mistas**, Areias Biosiliciclásticas e Cascalho Biosiliciclástico; e as **Fácies Siliciclásticas** são compostas por Areias Siliciclásticas e Cascalho Siliciclástico; B) - Definição das Subfácies Sedimentares. Granulometria e teor de Carbonato de Cálcio foram utilizados como principais critérios de identificação. A nomenclatura foi baseada no modelo proposto por Dias (1996), Freire et al (1997), modificado por Vital et al (2005), por ser o mais aplicado ao modelo de sedimentação plataformal brasileira.

## Dados Bióticos Através de Dados Estatísticos

### Análises univariadas

Cálculos estatísticos foram aplicados aos valores de frequência absoluta onde foram obtidos dados ecológicos.

Para esses dados estatísticos são utilizadas variáveis como o Número de Espécies (S) de foraminíferos, quantidade de indivíduos da mesma espécie (N), Equitatividade (J), Diversidade (H') e  $\lambda$  (Lambda), que representa a dominância de determinados indivíduos da mesma espécie. Através das análises, o maior número de espécies de foraminíferos (S) possui 25 espécies, e o menor, com 4 espécies; a quantidade de indivíduos da mesma espécie (N) somam 254; os valores de equitatividade (J) variam de 0,4 a 0,93; diversidade de foraminíferos (H') maior foi a 2,61 e menor foi a 0,5; a dominância maior de indivíduos da mesma espécie encontrada ( $\lambda$ ) foi na amostra 04, com 0,55 e menor encontrada, com 0,08. Foi assim observado que nas porções onde decrescem os teores de carbonato de cálcio, com abundância de material siliciclástico, há maior dominância e menor diversidade de indivíduos da mesma espécie.

O número de indivíduos é maior, ao contrário do número de espécies. Tal relação é inversamente proporcional onde o teor carbonático aumenta. A área, nos pontos onde predomina a sedimentação siliciclástica, tem como espécie dominante *Quinqueloculina lamarckiana*, enquanto nas porções de sedimentação mista (Carbonática e Siliciclástica, ou biosiliciclásticas), as espécies *Amphistegina gibbosa* seguidamente *Peneroplis carinatus* são dominantes. Já espécies *Archaias angulatus* e *Amphisourus hemprichii*, também em porções mistas, ocorrem em locais contrários onde os gêneros *Amphistegina* e *Peneroplis* decrescem. Em teores elevados de carbonato de cálcio, não foi observada espécies dominantes, possuindo, portanto, uma maior diversidade de foraminíferos, entre outros organismos, tais como moluscos, equinodermas, radiolários, tubos de vermes, ostracodes, algas, fragmentos de recifes de corais, entre outros.

### Análises multivariadas

#### MDS

A análise de MDS permitiu a formação de três grupos principais (I, II, III), e três subgrupos do primeiro (I.1 e I.2 e I.3), como mostra a figura 5.

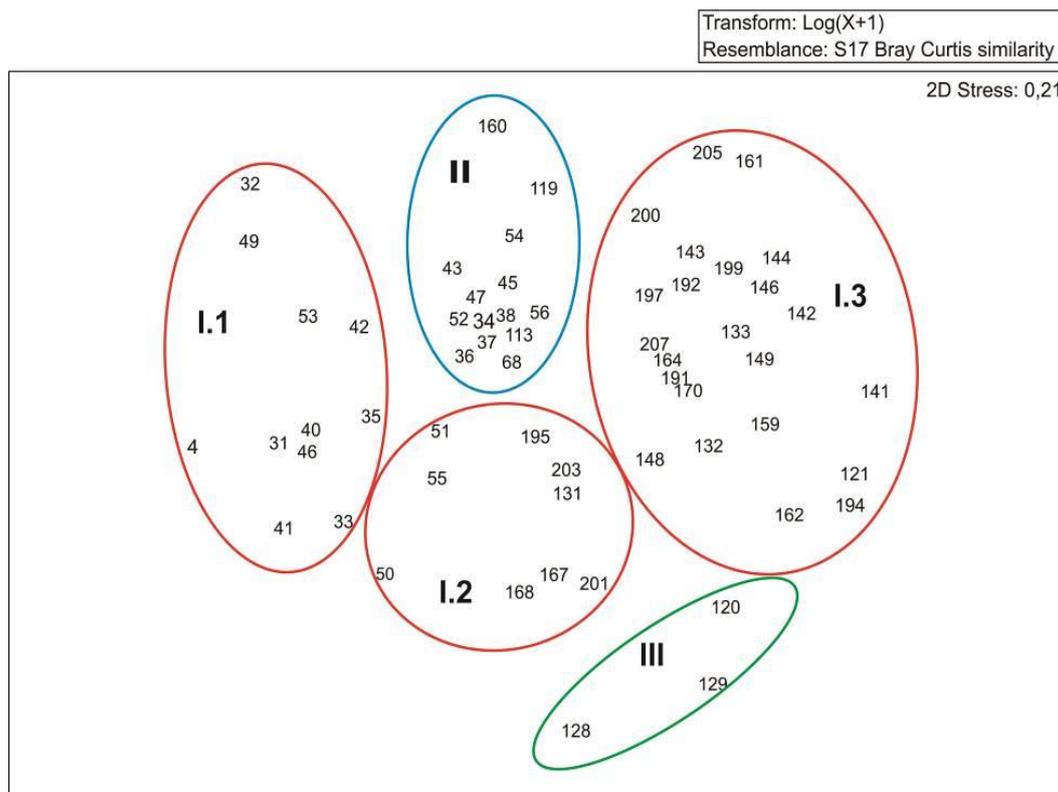


Figura 5 – Separação dos grupos de foraminíferos.

O Grupo I engloba ao todo 43 amostras onde representam os foraminíferos que possuem maiores diversidades de espécies. Observou-se, São Paulo, UNESP, *Geociências*, v. 39, n. 1, p. 101 - 115, 2020

ainda, que nesse grupo as fácies carbonáticas possuem maior representatividade (21 amostras contendo areias e cascalhos bioclásticos),

seguidamente, nas fácies siliciclásticas foram encontradas em 15 amostras (com areias e cascalhos quartzosos), e, em porções menos representativas, com fácies mistas, com 6 amostras (areias e cascalhos bio-siliciclásticas).

O Grupo II engloba 14 amostras, que representam o grupo onde se constatou maior dominância de indivíduos da mesma espécie de foraminíferos, e pouca diversidade de espécies. As espécies dominantes distribuem-se principalmente em areias bioclásticas e bio-siliciclásticas lamosas com cascalho, portanto, ocorrem em maior número nas fácies carbonáticas (total de 10 amostras) e mistas (com 6 amostras), e em apenas uma amostra de fácies siliciclástica. Vale destacar que os indivíduos dominantes principais pertencem à espécie *Quinqueloculina lamarckiana*.

Já o Grupo III, com apenas três amostras, representa o grupo de amostras em que os foraminíferos não revelaram resultados significativos, tanto para diversidade como para

dominância (Figura 5).

#### Cluster

Esta análise permitiu a formação de 3 agrupamentos gerais (Figura 6), o grupo I, formado pelas mesmas amostras que compõem o grupo I.1 das análises do MDS, representando um subgrupo de amostras que possui maior diversidade de espécies; grupo II, que engloba três subgrupos II.1, II.2 e II.3, em que o primeiro equivale ao grupo III do MDS, e os dois seguidos sub-grupos equivalem ao grupo II do MDS.

O subgrupo II.1 engloba as amostras que não sugerem dados significativos a respeito de diversidade versus dominância de foraminíferos. É o que não ocorre com os subgrupos II.2 e II.3, que equivalem ao grupo de amostras nas quais possuem foraminíferos com maiores índices de dominância; e o grupo III, que engloba todo o subgrupo I.3 da análise de MDS, que também representa o grupo de amostras com maiores índices de diversidade de foraminíferos (Figura 6).

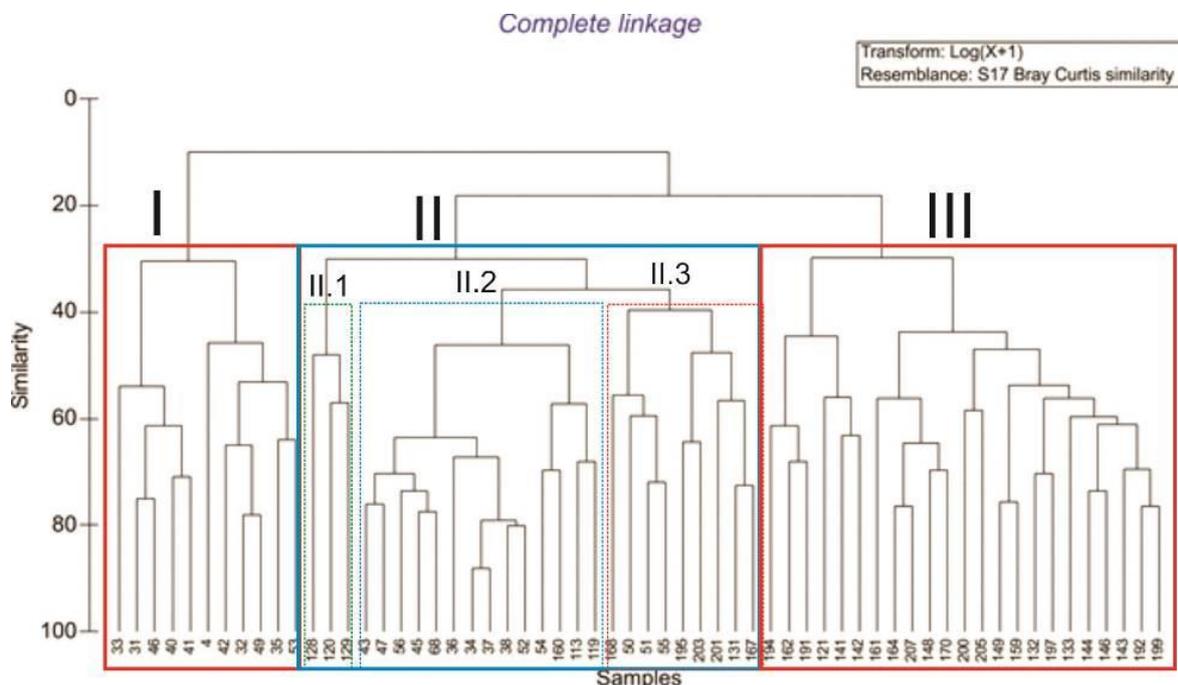


Figura 6 – Grupos de estações formados a partir da análise do Cluster.

#### PCA

A análise de componente principal (PCA) aplicada aos dados abióticos revelou que os dados PC1 e PC2 são os mais relevantes para essa análise, apresentando 61,3% de correlação baseando nas variáveis utilizadas. O gráfico mostrado pela figura 7 indica que 8 amostras possuem maior influência com areia grossa bioclástica, 7 amostras sofrem influência de areia fina, e as 13 amostras apresentam afinidade com cascalho e matéria orgânica, como foi

indicada pela maioria das amostras, que sofrem influência mais expressiva das variáveis de carbonato, matéria orgânica e cascalho.

#### Best

Essa análise revela quais são as variáveis que mais influenciam a diversidade de foraminíferos, bem como as que menos influenciam. Unindo todos os resultados, pode-se observar que o teor (%) de matéria orgânica, seguido pelo teor de carbonato e cascalho são as variáveis mais influentes na diversidade das

espécies, e a lama está entre a que menor influência. Segue a ordem de influência: 1) Matéria orgânica; 2) Carbonato; 3) Cascalho; 4)

Areia muito grossa; 5) Areia grossa; 6) Areia média; 7) Areia fina; 8) Areia muito fina; 9) Lama

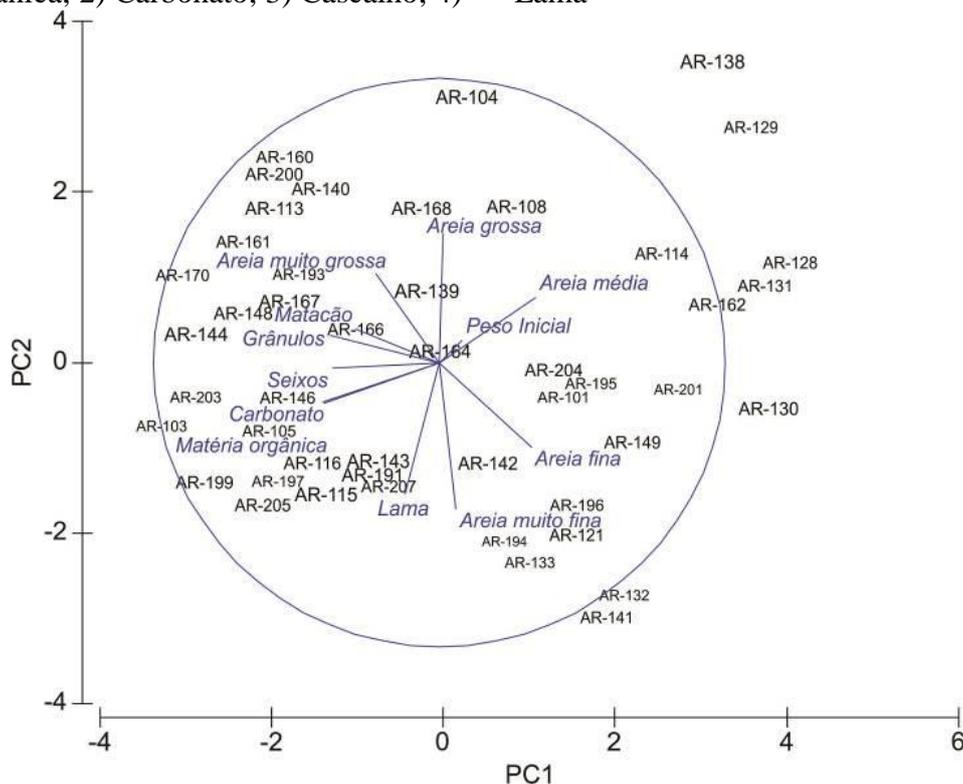


Figura 7 - Gráfico de análise de PCA de acordo com os valores de PC1 e PC2.

### Distribuição dos Foraminíferos

Os mapas de distribuição das principais espécies de foraminíferos e de distribuição abiótica e os resultados obtidos através das análises estatísticas, (Figuras 8, 9 e 10) mostram as ocorrências das principais espécies de foraminíferos sensíveis a variação da dinâmica de circulação e ressurgência, saúde ambiental e produtividade de  $\text{CaCO}_3$ .

As espécies que possuem carapaças ou tecas mais robustas, tais como as do gênero *Amphistegina* e *Quinqueloculina*, abundantes na área do estudo, bem como presentes nas fácies carbonáticas e siliciclásticas respectivamente, demonstram resistência ao ambiente de alta energia, onde a circulação de correntes marinhas na porção externa plataformal é mais intensa.

Três espécies de foraminíferos como *Peneroplis pertusus*, *Globigerina rubra* e *Quinqueloculina patagonica* possuem um padrão

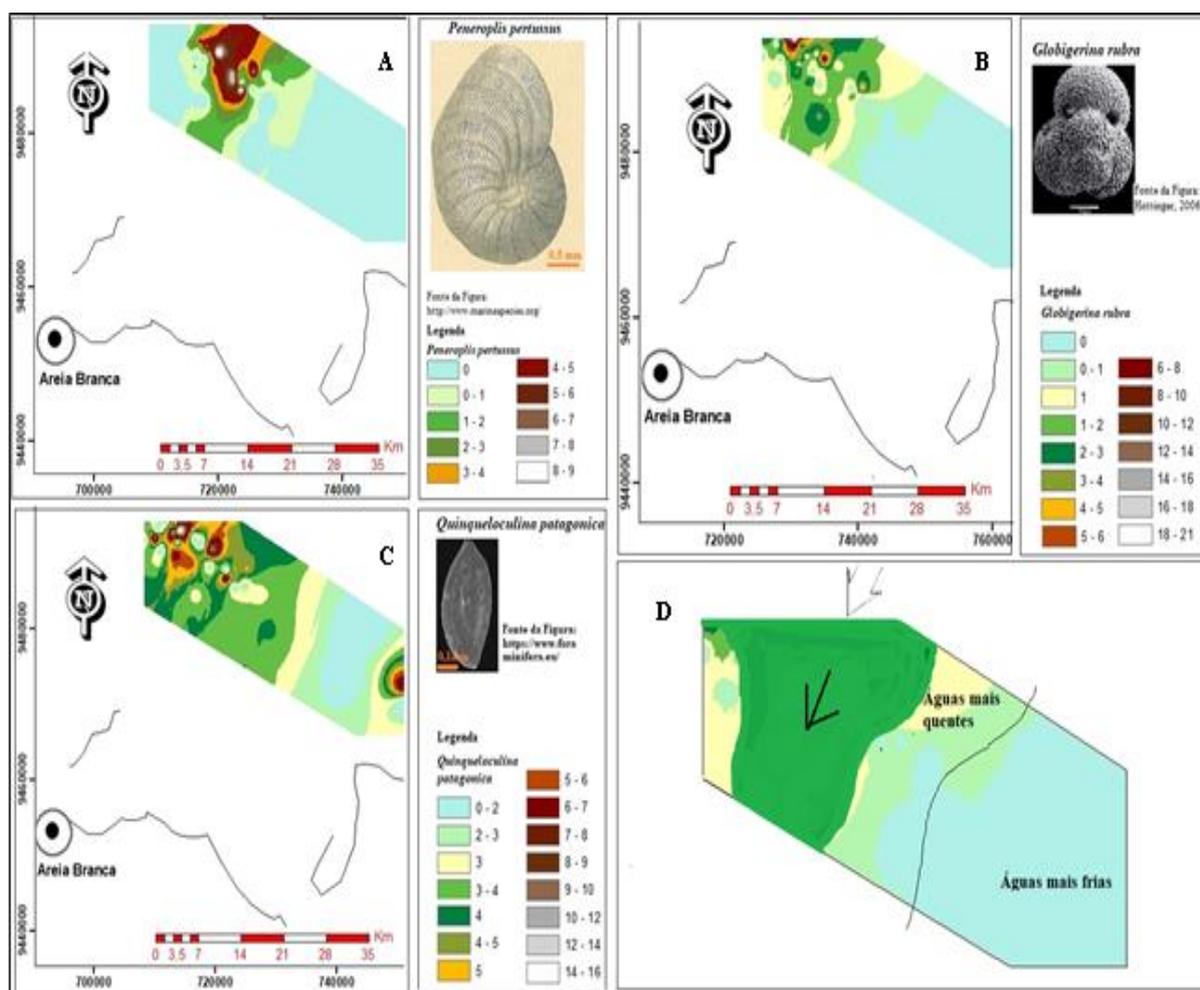
de distribuição semelhante (Figuras 8A, 8B e 8C), ao longo de uma faixa contínua na porção oeste da área. Tal padrão indica a influência de correntes oceânicas.

Por sua vez, a presença da espécie *Buccella peruviana* na área de estudo reflete um ambiente com aporte de nutrientes, que por sua vez influencia a ecologia do ambiente recifal e a produção de carbonato de cálcio, composição química principal de carapaças ou tecas de foraminíferos, ostracodes e moluscos. A *B. peruviana* se concentra na porção central da área de estudo (Figura 8D), onde há maiores concentrações de carbonato de cálcio e matéria orgânica (Figuras 2A e 2B). Portanto, a distribuição desses foraminíferos está diretamente relacionada à distribuição de carbonato de cálcio e matéria orgânica, e possuem forte relação com a distribuição de fácies sedimentares.

### DISCUSSÕES

Os teores de carbonato de cálcio variam de 1,51% a 99,64% na porção externa da plataforma onde ocorre os Recifes do Açú (Nascimento Silva et al., 2018), localizado entre os vales incisivos Apodi-Mossoró (a Oeste) e Piranhas-Açú (a Leste), entretanto com predomínio de

sedimentação carbonática. A granulometria varia, em ordem crescente, de areia fina a cascalho, com areia grossa ocorrendo em praticamente todas as amostras. Os dados sedimentológicos se correlacionam fortemente com a biota, na distribuição das fácies sedimentares



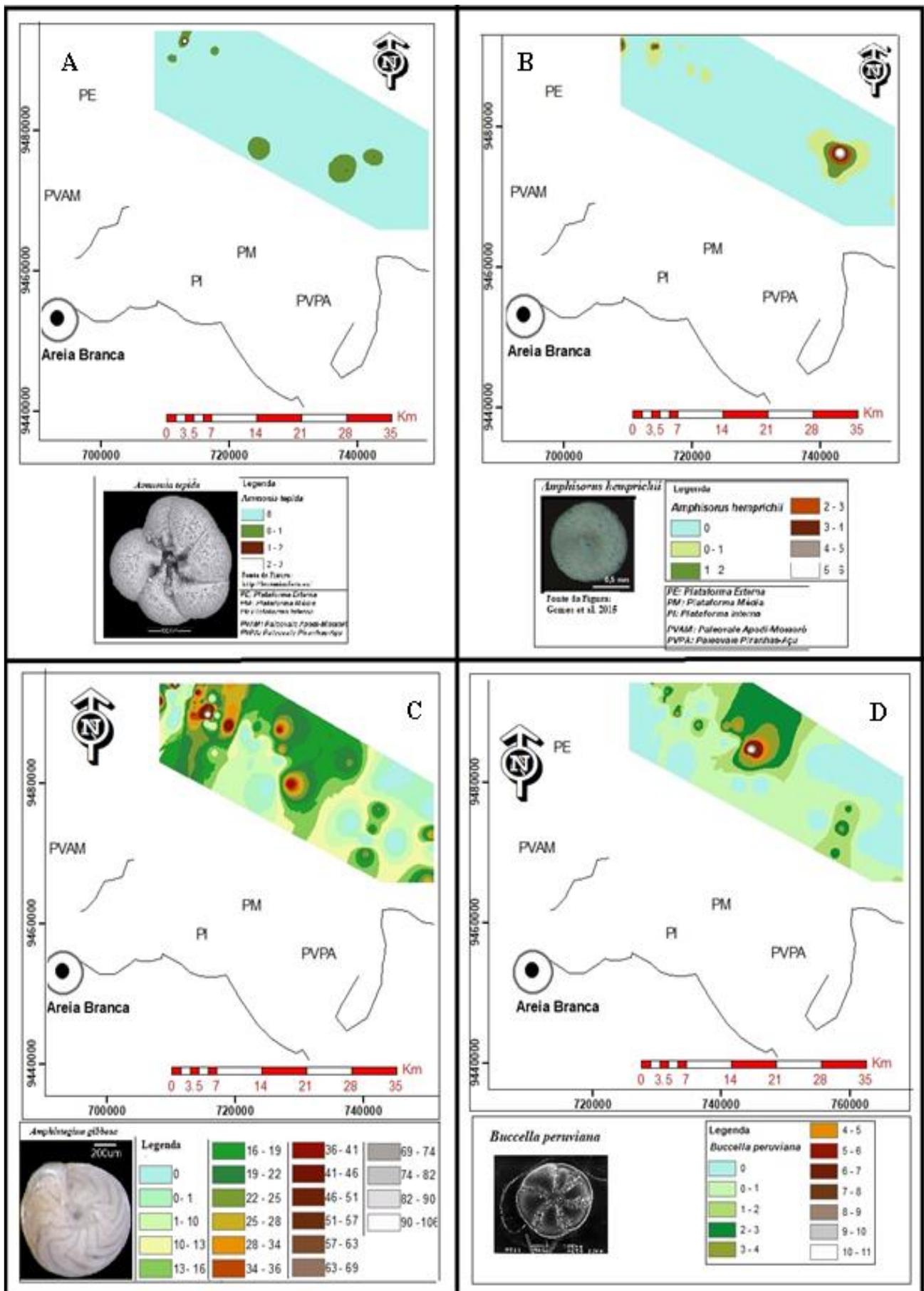
**Figura 8** – Semelhança no padrão de distribuição de três espécies distintas: **A)** *Peneroplis pertusus*; **B)** *Globigerina rubra*; **C)** *Quinqueloculina patagonica*; **D)** O esquema mostra que a semelhança desses três padrões de bioindicadores caracteriza entrada de uma corrente oceânica, mais quente, coexistindo com a corrente mais fria. Fontes das figuras de foraminíferos: A: [www.marinespecies.org/](http://www.marinespecies.org/); B: [www.foraminifera.eu/](http://www.foraminifera.eu/); C: Hottinger, 2006.

em relação a diversidade e/ou dominância de grupos de espécies e indivíduos. As análises estatísticas univariadas aplicadas nos foraminíferos reconhecidos, através dos seus índices ecológicos – equitatividade, diversidade e dominância – mostraram que, em geral, a diversidade de indivíduos de espécies diferentes predomina em relação aos organismos dominantes. Esses dados indicam águas de alta qualidade, contribuindo para um ambiente saudável aparentemente livre de impacto antrópico. Nas porções da área onde os foraminíferos possuem alta diversidade, os teores de matéria orgânica e  $\text{CaCO}_3$  são os mais elevados, indicando, também, relação com as fácies sedimentares carbonáticas.

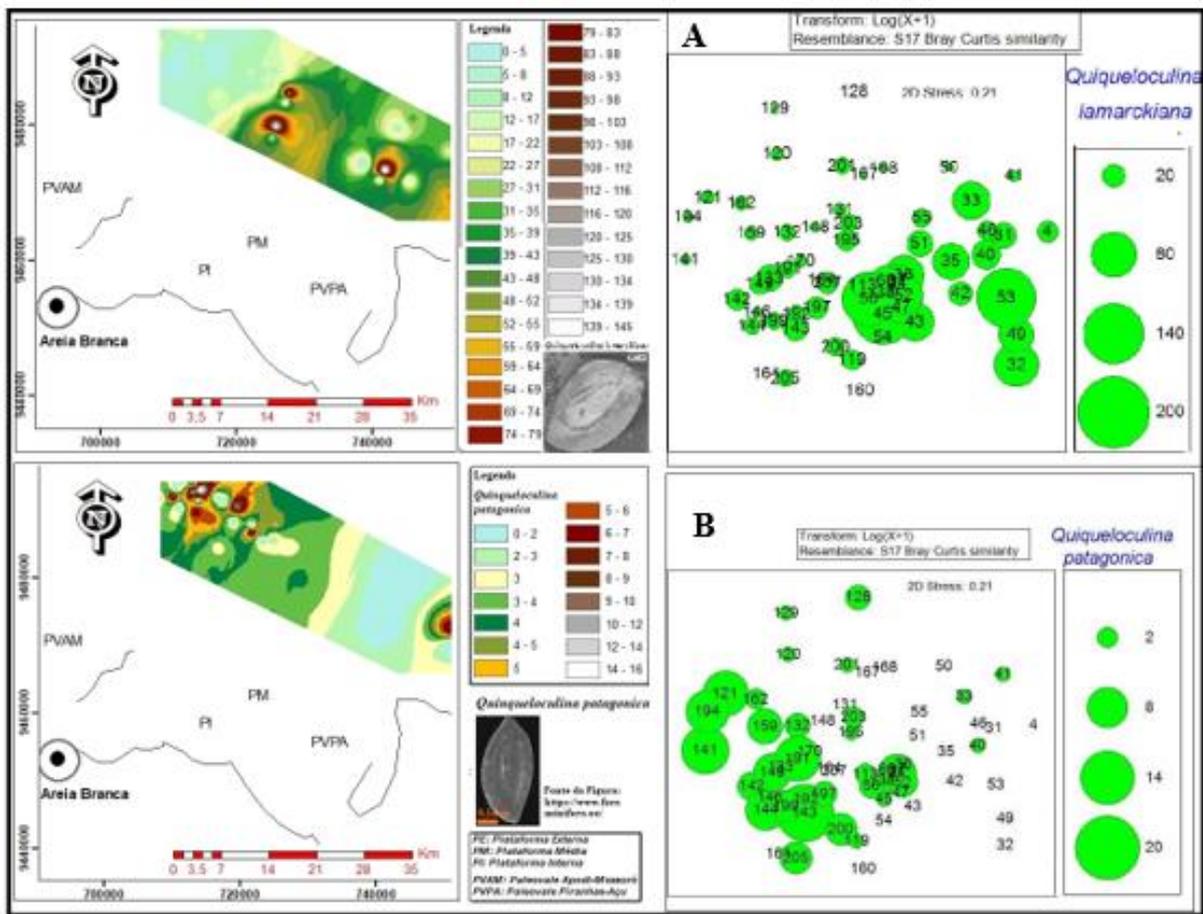
Por outro lado, os foraminíferos dominantes, destacando *Quinqueloculina lamarckiana*, *Amplistegina gibbosa* e *Peneroplis carinatus*, ocorrem em praticamente todas as fácies sedimentares reconhecidas. No entanto, presença dessas espécies dominantes nas fácies sedimentares siliciclásticas sugere que esse tipo

de material terrígeno desfavorece a diversidade das espécies, uma vez que não foram observadas no presente estudo grandes variedades faunísticas em fácies não carbonáticas.

As análises estatísticas multivariadas (PCA, Cluster, MDS e BEST) revelaram que as variáveis abióticas  $\text{CaCO}_3$  e matéria orgânica foram as que melhores se relacionaram com os foraminíferos, seguidamente por cascalho, areia grossa e areia média. Outras variáveis abióticas tais como profundidade e frações granulométricas mais finas foram os menores responsáveis na variabilidade das espécies. Portanto, a distribuição e dispersão das espécies estão fortemente ligadas aos elevados teores de  $\text{CaCO}_3$  e matéria orgânica, tal como já observado por Eichler et al (2015) em ambientes plataformais. Tais observações sugerem, ainda, que quando associados aos elevados teores de  $\text{CaCO}_3$  e matéria orgânica, a diversidade de espécies de foraminíferos contribuem diretamente na produção carbonática plataformal.



**Figura 9** – Distribuição dos foraminíferos: A) *Ammonia tepida*; B) *Amphisorus hemprichii*; C) *Amphistegina gibbosa*; D) *Buccella peruviana*. Em A e B a ocorrência é restrita na área da pesquisa; Em C a abundância ocorre tanto nas fácies siliciclásticas como nas fácies carbonáticas, devido a sua teca, que sendo robusta, suposta ambientes de alta energia; Em D, observa-se um padrão de abundância nas porções mais distais, indicando provável área de ressurgência.



**Figura 10** – Distribuição das principais ocorrências de espécies do gênero *Quinqueloculina*: A) *Q. lamarckiana* e B) *Q. patagonica*. Notar pelos mapas de distribuição bem como através das análises multivariadas em MDS que tais espécies são concorrentes, ou seja, onde uma espécie predomina, a outra tende a reduzir sua distribuição.

O ambiente plataformal próximo ao talude apresenta em geral uma fauna marinha diversificada, de hábitos tanto bentônicos e nectônicos. Já os organismos de hábito planctônico provêm de ambientes marinhos mais profundos, de mar aberto, e quando ocorrem em porções mais rasas podem indicar ressurgência, ou seja, a ação dos ventos ajudando na hidrodinâmica marinha, levando águas mais profundas para porções marinhas rasas, trazendo consigo fitoplâncton (grandes fontes de nutrientes). A ressurgência favorece os habitats marinhos (Boltvskoy, 1965, 1966), especialmente porções fóticas de plataforma externa com a circulação de nutrientes marinhos, essenciais para o equilíbrio ecossistêmico, que elevam as taxas de sedimentação carbonática. Conforme demonstrado pelos trabalhos de, por exemplo, Eichler et al (2015) e Guedes et al (2015), a ocorrência de *Buccella peruviana* nesse ambiente indica ressurgência, ou seja, nutrientes marinhos trazidos pelas correntes, sendo assim, um importante indicador da qualidade da plataforma. Conforme acima mencionado, o padrão de distribuição do *B. peruviana*

assemelha-se às concentrações de carbonato de cálcio bem como a de matéria orgânica, na mesma porção da área. Vale salientar que a ocorrência desses bioindicadores “vivos” (simbiontes), conforme observado durante a etapa de triagem, também evidencia produção carbonática ali atuante.

A sedimentação marinha carbonática é enriquecida pelas carapaças de organismos mortos. Essa relação entre o ambiente em sedimentação com os organismos que nele habitam pode ser mais bem compreendida através dos foraminíferos. Sua ampla distribuição geográfica, diversidade de espécies, com suas carapaças ou tecas bastante sensíveis – e adaptáveis – ao meio permite que tais protistas sejam utilizados como ferramenta para as geociências. Através da sensibilidade das tecas, que reagem às variáveis abióticas tais como salinidade, temperatura, pH, condutividade, densidade, profundidade, bem como apresentam relação direta ou indireta com os teores de matéria orgânica além exercerem relação direta na taxa de produção de carbonato de cálcio, contribuindo assim, para a construção de geo-habitats, por

exemplo, recifes (abrigos para seres diversos).

Outros foraminíferos bentônicos que ocorrem na região de estudo são Miliolídeos e Rotalinídeos com carapaças fortes refletem a alta hidrodinâmica da plataforma. As características físicas robustas de suas tecas indicam maiores resistências abrasiva, ao transporte e dissolução (Morais & Machado, 2003). No entanto, algumas tecas de foraminíferos bentônicos tais como *Quinqueloculina lamarckiana*, *Q. patagonica*, *Pyrgo*, *Textularia* bem como de alguns sedimentos siliciclásticos, apresentam coloração amarelada, esverdeada a parda, que, segundo Batista et al. (2007), é devida a baixa velocidade de deposição, que possibilita a oxidação dos grãos, bem como a agitação de sedimentos causada pela alta energia do ambiente. Tanto as tecas acima mencionadas se encontram oxidadas como também grãos de areia quartzosas, juntos depositados. Para Lima (2015), os sedimentos de colorações diferentes para aquela região correspondem a uma única idade, entre 3 a 6 mil anos representando assim uma exposição subaérea de depósitos sedimentares mais antigos, sendo reconhecidos na literatura como relíquias ou relictos (Mount, 1984; Dias, 2004; Renema et al, 2013).

As espécies reconhecidas no presente estudo tais como *Quinqueloculina lamarckiana*, *Miliolinella subrotunda*, *Oolina universa*, *Pyrgo sp.*, *Quinqueloculina patagonica*, *Q. polygona* e *Triloculina trigonula* possuem tecas fortes e imperfuradas, portanto mais resistentes às correntes marinhas. *Q. lamarckiana*, uma das espécies de maior dominância no presente estudo, tornou-se oportunista uma vez que outras espécies não possuíam afinidade ao substrato terrígeno. Através dos mapas de distribuição biótica, pode-se observar que *Q. lamarckiana* e *Q. patagonica* são competidoras; logo, quando uma predomina, a outra tende a desaparecer.

As espécies *Amphistegina gibbosa* (outra do grupo das espécies dominantes), *Archaias*

*angulatas*, *Borelis melo*, *Heterostegina depressa*, *Amphisorus hemprichii*, *Laevipeneroplis proteus*, *Peneroplis carinatus* são simbiotes (carregam algas), típicas de ambientes rasos até 50 m, sendo prováveis bioindicadores da proximidade de águas limpas em ambientes recifais, além de possuírem afinidade caribenha (Eichler et al, 2015).

Já as espécies não simbiotes, hialinas, são *Bigenerina sp.*, *Bolivina stritulata*, *Cassidulina subglobosa*, *Cibicides sp.*, *Cornuspira involvens*, *Discorbis sp.*, *Elphidium sp.*, *Hanzawaia boueana*, *Patelina corrugata*, *Pseudononion atlanticum*, *Poroeponides lateralis*, *Robulus sp.*, *Spiroloculina depressa*, *Uvigerina peregrina* e *Wiesnerella sp.*, A frequência de *Uvigerina peregrina* indica ainda um estágio interglacial e elevação do nível do mar, em águas oxidadas (Quinterno & Gardner, 1987). A única espécie planctônica reconhecida, a *Globigerina rubra*, é indicadora de ambiente marinho mais profundo, portanto são tolerantes a temperatura, salinidade e densidade da água, podem também indicar ressurgência.

Araújo & Machado (2008) mostraram que a distribuição das assembleias de foraminíferos está relacionada com o tamanho dos grãos, porém outros estudos em regiões ambientais semelhantes, como exemplo do Caribe, estudos realizados por Havach & Collins (1997) mostraram que as assembleias podem ter distribuição controlada por outras variáveis, como por exemplo, profundidade e temperatura (não relevantes para o presente estudo). Moura (2016) revelou que o tamanho dos grãos não é o principal fator de distribuição das assembleias de foraminíferos nos Recifes do Açú, mostrando que a profundidade é a variável que melhor se correlaciona com as espécies. A correlação só é positiva em relação às variáveis que menor influenciam, tais como a granulometria de frações areia fina a lama.

## CONCLUSÕES

Na plataforma equatorial externa adjacente a área do RN, entre os paleovales incisos Açú e Apodi observou-se que espécies de foraminíferos oportunistas e dominantes tendem a se concentrarem nas porções com baixos teores de carbonato de cálcio.

Enquanto que nas porções onde há teores carbonáticos mais elevados ( fácies carbonáticas a mistas), prevalecem assembléias de foraminíferos

simbióticos. Estes resultados levaram a concluir que, onde há maior diversidade de espécies simbióticas, há maior qualidade ambiental, favorecendo a produção de carbonato de cálcio.

A presença de *Buccella peruviana*, *Globigerina rubra*, *Quinqueloculina patagonica*, *Peneroplis pertussus* e *Amphisorus hemprichii* provavelmente está relacionada à intrusão de águas menos frias, levando em consideração que a

plataforma rasa equatorial Norte rio-grandense possui entrada de correntes oceânicas de águas mais quentes. Essa relação também indica características abióticas (teores de carbonato de cálcio e matéria orgânica), como as demais assembleias. Estes foraminíferos indicam, também, fenômenos de ressurgência de águas com maiores nutrientes. Em especial a semelhança entre os padrões de distribuição do *Q. patagonica*, *P. pertussus* e *G. rubra* evidenciam provável giro tropical na plataforma, ou seja, correntes oceânicas mais quentes, e enriquecendo o ecossistema plataformal. Já o *B. peruviana*, em particular, apresenta um padrão de distribuição concentrado

na porção central da área de estudo, correlacionando-se às concentrações de carbonato de cálcio e matéria orgânica, indicando zona de ressurgência de águas mais frias. Ou seja, os fatos supracitados, somado a outros fatores observados, tais como espécies simbiotes presentes, diversidade de espécies, correlações diretas às fácies carbonáticas, bem como a distribuição de matéria orgânica em suas porções mais elevadas, corroboram para um ambiente saudável plataformal de produtividade carbonática, sugerindo nas proximidades, existência e desenvolvimento de recifes “vivos”, embora ainda não mapeados em estudos anteriores, na presente área.

### AGRADECIMENTOS

Agradecemos a CAPES pela bolsa de Pós-doutorado (98/2017-05) ao segundo autor Eichler P.P.B. e aos suportes financeiros do projeto CAPES-Ciências do Mar II (23038.004320/2014-11) no Moss Landing Marine Laboratories da San Jose State University e No Department of Ocean Sciences da University of California at Santa Cruz. Agradecemos também a Bolsa de Produtividade de Pesquisa do CNPq (PQ 302483/2019-5) ao terceiro autor Gomes M.P. Ao Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha e Monitoramento Ambiental (GGEMMA/PPGG/UFRN) e ao Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG-UFRN) pela infraestrutura disponibilizada.

### REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, T.M.F. & MACHADO, A.J. Foraminíferos da Superfície do Talude Continental Superior do Norte da Bahia, Brasil. *Revista de Geologia*, v. 21, n. 1, p. 49-77, 2008.
- BATISTA, D.S.; KOUTSOUKOS, E.; VILELA, C.G. Influência dos Fatores Ambientais na Preservação da Microfauna de Foraminíferos Bentônicos no Ambiente Recifal dos Parrachos de Maracajaú, RN, Brasil. In: **Anuário do Instituto de Geociências**, UFRJ. p. 92 – 103, 2007.
- BEZERRA, F.H.R.; BARRETO, A.M.F.; SUGUIO, K. Holocene and sea-level history on the Rio Grande do Norte State coast, Brazil. *Marine Geology*, v. 196, n. (1-2), p. 73 – 89, 2003.
- BOLTOVSKOY, E. (Eds.) **Los Foraminíferos Recientes**. Ed. Univ. Buenos Aires, Eudeba, Buenos Aires, 510 p., 1965.
- BOLTOVSKOY, E. In: *Biotic Interactions in Recent and Fossil Benthic Communities* (Book), Topics in Geobiology 3. Michael J.S. Tevesz, Peter L. McCall (Editors). Chapter 8, p. 364-365, 1966.
- BOLTOVSKOY, E., GIUSSANI, G., WATANABE, S.; WRIGHT, R. **Atlas of benthic shelf foraminifera of southwest atlantic**. Netherlands, Dr. W. Junk, 174 p. 1980.
- CALDAS, L.H.O.; STATTEGER, K.; VITAL, H. Holocene sea level history: Evidence from coastal sediments of the northern Rio Grande do Norte Coast, NE Brazil. *Marine Geology*, v. 228, p. 39-53, 2006.
- CLARKE, K.R. & WARWICK, R.M. Change in marine communities: an approach to Statistical analysis and interpretation. Natural Environment Research Council, UK, 144 p., 1994.
- CLARKE & AINSWORTH, In: *Experimental Design and Data Analysis for Biologists*. In: G.P. QUINN & M.J. KEOUGH (authors). University Press, p. 487-488, 1993.
- CLARKE, K.R. & AINSWORTH, M. 1993. A method of linking multivariate community structure to environmental variables. **Marine Ecology Progress Series**, v. 92, p. 205–219, 1984.
- COSTA NETO, L.X. **Evolução geológica-geomorfológica recente da plataforma con-tinental interna ao largo do delta do Rio Açu, Macau - RN**. Rio de Janeiro, 214 p., 1997. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal Fluminense.
- CUSHMAN, J.A. Foraminifera, their classification and economic use. Cambridge, Harvard University Press, 605 p., 1950.
- DIAS, G.T.M. Classificação de sedimentos marinhos: Proposta de Representação em Cartas Sedimentológicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39, 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, 1996, 3: 423-426.
- EBERWEIN, A. & MACKENSEN, A. Regional primary productivity differences off Morocco (NW-Africa) recorded by modern benthic foraminifera and their stable carbon isotopic composition. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 53, n. 8, p. 1379-1405, 2006.
- EICHLER, P.B.; EICHLER, B.B.; MIRANDA, L.B.; RODRIGUES, A.R. Foraminiferal assemblages in a subtropical, mixohaline, estuarine channel, Bertioga (São Paulo) Brazil. **Journal of Foraminiferal Research**, v. 37, n. 3, p. 45-58, 2007.
- EICHLER, P.P.B.; EICHLER, B.B.; SEN GUPTA, B.; RODRIGUES, A.R. Foraminifera as indicators of marine pollutant contamination on the inner continental shelf of southern Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, v. 64, p. 22-30, 2012.
- EICHLER, P.P.B.; RODRIGUES, A.; PEREIRA, E.R.M.; EICHLER, B.B.; KAHN, B.; VITAL, H. Foraminifera as Environmental Condition Indicators in Todos os Santos Bay (Bahia, Brazil). *Open Journal of Ecology*, v. 5, p. 326-342, 2015.
- FERREIRA, A.T.S. **Monitoramento Ambiental da costa do Rio Grande do Norte com base em Sensoriamento Remoto e Geodésia de Precisão**. Natal. 2013. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica), Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- FOLK, R.L. **Petrology of The Sedimentary Rocks**. Hemphill Pub Co; 2nd edition (April 1, 1981), 182 p., 1968.
- FREIRE, G.S.S., CAVALCANTI, V.M.M., MAIA, L.P.; LIMA, S.F. Classificação dos Sedimentos da Plataforma Continental do Estado do Ceara. In: SIMPOSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE; Fortaleza. 1997. **Anais...** Fortaleza: sociedade Brasileira de Geologia, 1997, p. 209–211.
- GOMES, M.P. & VITAL, H. Revisão da compartimentação geológica da plataforma continental norte do Rio Grande do Norte Brasil. **Braz. J. Oceanogr.** v. 58 n. esp. São Paulo, 2010. In: <http://dx.doi.org/10.1590/S1679-87592010000500005>
- GOMES, M.P.; VITAL, H.; BEZERRA, F.H.R.; CASTRO, D.L.;

- MACEDO, J.W.P. The interplay between structural inheritance and morphology in the Equatorial Continental Shelf of Brazil. 2014. **Marine Geology**, n. 355, September 2014. DOI: 10.1016/j.margeo.2014.06.002}
- GOMES, M.P.; VITAL, H.; EICHLER, P.P.B.; SEN GUPTA, B.K., 2015. The investigation of a mixed carbonate siliciclastic shelf, NE Brazil: side-scan sonar imagery, underwater photography, and surface-sediment data. **Ital. J. Geosci.**, v. 134, n. 1, p. 9-22, 2015
- GOMES, M.P.; Vital, H.; STATTEGER, K.; SCHWARZER, K. Bedrock control on the Assu Incised Valley morphology and sedimentation in the Brazilian Equatorial Shelf. **International Journal Of Sediment Research**, v. 31 p. 181–193, 2016.
- GUEDES, J.; JIN, G.; BOCINSKY, K. The Impact of Climate on the Spread of Rice to North-Eastern China: A New Look at the Data from Shandong Province. **PLOS-ONE**, Changing Climate and the Spread of Rice to North-Eastern China, p. 1-19, 2015.
- HAVACH, S.M. & COLLINS, L.S. The distribution of recent benthic Foraminifera across the Habitats of Bocas del Toro, Caribbean Panama. **Journal of Foraminiferal Research**, v 27, n. 3 p. 232-249, 1997.
- HOTTINGER, L. Illustrated glossary of terms used in foraminiferal research. **Museum of Natural History**, CH 4001 Basel (Switzerland), 2006. Disp. através do site: [http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2006\\_M02/](http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2006_M02/)
- LANGER, M. Assessing the contribution of foraminiferan protists to Global Ocean carbonate production. **J. Eukaryot. Microbiol.** V. 55, n. 3, p. 163–169, 2008.
- LANGER, M.R. & HOTTINGER, L. Biogeography of Selected "Larger" Foraminifera. **Micropaleontology**, v. 46, n. 1, 105-126, 2000.
- LANGER, M.R.; SILK, M.T.; LIPPS, J.H. Global ocean carbonate and carbon dioxide production: the role of reef foraminifera. **Journal of Foraminiferal Research**, v. 27, n. 4, p. 271-277, October 1997.
- LAURSONNEUR, C. La cartographie des dépôts meubles sur le plateau continental français: méthode mise au point et utilisée en Manche. **J. Rech. Oceanogr.**, v. 2, p. 34–39, 1977.
- LIMA, R.O.L. **Foraminíferos, Ostracodes e Microfauna associada da Plataforma Continental Equatorial Norte-Riograndense, NE Brasil: Área de Porto do Mangue a Galinhos**. Natal. 2015. Dissertação (Mestrado nº 145), Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- LIMA, S.F. & VITAL, H. **Geomorphological and paleogeographic characterization of continental shelf of the Apodi-Mossoró River, RN-Brazil**. Brebbia, C.A. (Ed.), 2006.
- LOEBLICH, A.R. & TAPPAN, H. Foraminiferal genera and their classification. Van Nostrand Reinhold Editors. 970 p. 1988.
- MILANI, E.J. & THOMAZ FILHO, A. Sedimentary Basins of South America. In: CORDANI, U.G., MILANI, E.J., THOMAZ FILHO, A. & CAMPOS, D.A (Eds.). **Tectonic Evolution of South America**. Rio de Janeiro, p. 389-449, 2000.
- MORAES, S.S. & MACHADO, A.J. Avaliação das Condições hidrodinâmicas de dois Recifes Costeiros do Litoral Norte do Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n. 2, p. 201-10, 2003.
- MOUNT, J.F. Mixing of siliciclastic and carbonate sediments in shallow shelf Environments. **Geology**, v. 12, p. 432–435, 1984.
- MOURA, D.S. **Análise da variação da comunidade de foraminíferos observada em sedimentos recentes das áreas recifais do Açu e Pirangi-RN associada à poluição Ambiental**. Natal. 2016. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- NASCIMENTO SILVA, L.L.; GOMES, M.P.; VITAL, H. The Açu Reef morphology, distribution, and inter reef sedimentation on the outer shelf of the NE Brazil equatorial margin. **Continental Shelf Research**, v. 160, n. 15, p. 10-22, May 2018.
- NEWMAN, M.C. **Quantitative Methods in Aquatic Ecotoxicology**. Lewis Publishers (CRC Press), Boca Raton, Florida, 426 p. 1995.
- PESSOA NETO, O.C. Estratigrafia de sequências da plataforma mista neogênica na Bacia Potiguar, margem equatorial brasileira. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n. 3, p. 263-278, 2003.
- PONZI, V.R.A. Sedimentação marinha. In: Neto, J.A.B.; Ponzi, V.R.A.; Sichel, S.E. (Ed.). **Introdução à geologia marinha**. Rio de Janeiro: Interciência, Cap. 1. p. 219- 243, 2004.
- QUINTERNO, P.J. & GARDNER, J.V. Benthic foraminifers on the continental shelf and upper slope, Russian River Área, northern Califórnia. **Journal Foraminiferal Research**, v. 17p. 132-52, 1987.
- RENEMA, W.; BEAMAN, J.R.; WEBSTER, M.J. Mixing of relict and modern tests of larger benthic foraminifera on the Great Barrier Reef shelf margin. **Marine Micropaleontology**, 2013, v. 101, p. 68-75. May 2013, In: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marmicro.2013.03.002>
- RIBEIRO-HESSEL, M.H. **Curso Prático de Paleontologia Geral**. In: RIBEIRO-HESSEL, MH (aut.). Ed. Da Universidade, Livro-texto 10, p. 54-68. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1982.
- SCHARZER, K.; STATTEGER, K.; VITAL, H.; BECKER, M. Holocene coastal evolution of the Rio Açu Area (Rio Grande do Norte, Brazil). **J. Coast Res.**, Special Issue n. 39, p. 141-145, 2006.
- SCHMIEDL, G.; ANDREAS M.P.; MÜLLER, J. Recent benthic foraminifera from the eastern South Atlantic Ocean: dependence on food supply and water masses. **Marine micropaleontology**, v. 32, n. 3-4, p. 249-287, 1997
- SCOTT, D.B.; FRANCO S.M.; CHARLES T.S. **Monitoring in coastal environments using foraminifera and thecamoebian indicators**. Cambridge University Press, 2007.
- STATTEGER, K.; CALDAS, L.H.O.; VITAL, H. Holocene coastal evolution of the Northern Rio Grande do Norte Coast, Brazil. **J. Coast. Res.**, Special Issue, n. 39, p. 151-156, 2006.
- SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo, Edgard Blucher, 317 p. 1973.
- VILELA, C.G. Microfósseis – Parte I: Foraminíferos, Radiolários e Diatomáceas In: **Paleontologia**. Carvalho, Souza, I. (Ed.). Cap. 11 – P. 157-170. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2000.
- VITAL, H.; ESTEVES, L.; ARAUJO, T.C.M.; Patchneelam, S. Oceanografia geológica e geofísica da plataforma continental brasileira. In: Souza, C.R.G., Suguio, K., Oliveira, A.M.S., Oliveira, P.E. (Org.). **O Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2005, v., p. 153-175.
- VITAL, H.; STATTEGER, K.; AMARO, V.E.; SSCWARZER, K.; FRAZÃO, E.P.; TABOSA, W.F.; SILVEIRA, I.M. A modern high-energy siliciclastic-carbonate platform: Continental shelf adjacent to northern Rio Grande do Norte State, northeastern Brazil. In: HAMPSON G.J., STEEL R.J., BURGESS P.M. & DALRYMPLE R.W. (eds.), **Recent Advances in Models of Siliciclastic Shallow-Marine Stratigraphy**. SEPM, v. 90, p. 175-188, 2008.
- VITAL, H.; TABOSA, F.; FRAZÃO, E.P.; SANTOS, C.L.A.; PLACIDO, J.S. Characterization of the Brazilian continental shelf adjacent to Rio Grande do Norte State, NE Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 58, n. (Special Issue 1), p. 43–54, 2010.
- Website: [www.foraminifera.eu](http://www.foraminifera.eu) (último acesso em 30/07/2018)
- Website: [www.marinespecies.org](http://www.marinespecies.org) (último acesso em 30/07/2018)
- WENTWORTH, C.K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **J. Sedim. Petrology**, 30:377-392.
- ZAR, J.H., Multiple comparisons. **Biostatistical analysis**, 1, p. 185-215, 1984.

Recebido em 9 de abril de 2019  
Aceito em 06 de dezembro de 2019