



Universidad
Europea
del Atlántico

[ÁREA DE MÁSTER EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA MARINA]

TÍTULO DO PROJETO FINAL / DISSERTAÇÃO

**[Geoquímica dos granulados marinhos de uma porção da plataforma
continental rasa do Estado de Pernambuco – Folha Recife, nordeste do
Brasil]**

Dissertação para obtenção do grau de:

[Mestre em Ciência e Tecnologia Marinha]

Apresentado por:

[Felipe Rocha Abreu]

[Login: BRMAMO3406565]

Orientador:

[Professor Leonardo Ribeiro Teixeira]

[FORTALEZA, BRASIL]

[JUNHO 2021]

TERMO DE COMPROMISSO

Eu, **[Felipe Rocha Abreu]**, declaro que:

O conteúdo do presente documento é um reflexo do meu trabalho pessoal e manifesto que, diante de qualquer notificação de plágio, cópia ou prejuízo à fonte original, sou responsável direto legal, financeira e administrativamente, sem afetar o Orientador do trabalho, a Universidade e as demais instituições que colaboraram neste trabalho, assumindo as consequências derivadas de tais práticas.

Assinatura: Felipe Rocha Abreu

[Autorização voluntária]

[Fortaleza, junho de 2021]

Att: Direção Acadêmica

Venho por este meio autorizar a publicação eletrônica da versão aprovada de meu Projeto Final com título [Geoquímica dos granulados marinhos de uma porção da plataforma continental rasa do Estado de Pernambuco – Folha Recife, nordeste do Brasil], no Campus Virtual e em outras mídias de divulgação eletrônica desta Instituição.

Informo abaixo os dados para descrição do trabalho:

Título	Geoquímica dos granulados marinhos de uma porção da plataforma continental rasa do Estado de Pernambuco – Folha Recife, nordeste do Brasil
Autor	Felipe Rocha Abreu Orientador: Professor Leonardo Ribeiro Teixeira
Resumo	A plataforma continental do Estado de Pernambuco – Folha Recife foi estudada a fim de avaliar sua potencialidade com relação aos granulados marinhos. Foi verificada a predominância dos depósitos carbonáticos biogênicos. As associações geoquímicas correspondentes ao ambiente de sedimentação carbonático são representadas por CaO, MgO, Lol, TOT_C, TOT_S e Na ₂ O; e SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ , K ₂ O e TiO ₂ para ambiente siliciclástico.
Programa	- Programa de Mestrado - Área de Máster en Ciencia Y Tecnología Marina
Palavras-chave	Granulados marinhos; Plataforma continental rasa; Proveniência sedimentar; Depósitos carbonáticos; Depósitos siliciclásticos.
Contato	Felipe.abreu@cprm.gov.br

Atenciosamente,



Assinatura: _____

ÍNDICE GERAL

INTRODUÇÃO	07
MARCO TEÓRICO	10
CAPÍTULO 1: A PLATAFORMA CONTINENTAL DO ESTADO DE PERNAMBUCO	10
1.1. Estudos Anteriores.....	10
1.1. Caracterização geológica, sedimentológica e faciológica.....	11
CAPÍTULO 2: GRANULADOS MARINHOS.....	14
2.1. Importância econômica	14
2.2. Implicações ambientais.....	15
CAPÍTULO 3: ESTUDOS DE PROVENIÊNCIA EM SEDIMENTOS MARINHOS.....	18
CAPÍTULO 4: PESQUISAS COM BIOCLASTOS EM AMBIENTES PLATAFORMAIS ..	22
MARCO EMPÍRICO.....	25
CAPÍTULO 5: DESENHO METODOLÓGICO	25
5.1. Introdução	25
5.2. Variáveis.....	25
5.3. Amostra	25
5.4. Instrumentos de medição e técnicas.....	27
5.5. Procedimentos	28
5.6. Hipótese de trabalho.....	30
CAPÍTULO 6: RESULTADOS.....	32
CAPÍTULO 7: DISCUSSÃO	56
CAPÍTULO 8: CONCLUSÕES GERAIS.....	75
CAPÍTULO 9: RECOMENDAÇÕES	79
BIBLIOGRAFIA.....	81
ANEXOS	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.....	08
Figura 5.3 A: Mapa das estações de amostragem de sedimentos na área de estudo.....	26
Figura 5.3 B: Mapa das estações de amostragem de bioclastos na área de estudo	26
Figura 5.3 C: Banco de algas e amostrador Van Veen utilizado na coleta das amostras .	27
Figura 5.5 A: Amostras das algas calcárias da área de estudo.....	29
Figura 5.5 B: Gráfico de box & whiskers utilizado para calcular os limiares	30
Figura 6.1.1: Boxplots com os percentuais de óxidos, Lol, C_TOT e S_TOT	36
Figura 6.1.2: Distribuição espacial do SiO ₂	37
Figura 6.1.3: Distribuição espacial do Fe ₂ O ₃	38
Figura 6.1.4: Distribuição espacial do CaO	39
Figura 6.1.5: Distribuição espacial do MgO.....	40
Figura 6.1.6: Distribuição espacial de Al ₂ O ₃ , Na ₂ O, P ₂ O ₅ , K ₂ O, C_TOT e S_TOT	41
Figura 6.2 A: Boxplots para os elementos menores e traços	45
Figura 6.2 B: Boxplots para os elementos menores e traços	46
Figura 6.2 C: Distribuição de elementos menores e traços	48
Figura 6.2 D: Distribuição de elementos menores e traços	49
Figura 6.3 A: Sedimentos carbonáticos com alta qualidade e potencial.	51
Figura 6.3 B: Boxplots para elementos maiores menores e traços nos bioclastos	52
Figura 6.3 C: Distribuição dos elementos maiores menores e traços nos bioclastos.....	53
Figura 6.3 D: Distribuição dos elementos maiores menores e traços nos bioclastos.....	54
Figura 7.1: Matriz de dispersão dos óxidos analisados nos sedimentos	58
Figura 7.2 A: Diagramas de dispersão dos elementos menores e traços.....	61
Figura 7.2 B: Dendrograma dos óxidos, elementos menores e traços nos sedimentos....	63
Figura 7.2 C: Autovalores como limite para os fatores relevantes.....	66
Figura 7.2 D: Primeiro e segundo fatores determinando ambientes de sedimentação	67
Figura 7.2 E: Mapa de distribuição dos fatores 1 e 2	68
Figura 7.2 F: Mapa de distribuição dos fatores 3 e 4.....	69
Figura 7.2 G: Mapa de distribuição do fator 5	70
Figura 7.3 A: Gráfico de fatores nos bioclastos analisados	73
Figura 7.3 B: Análise de agrupamento nos bioclastos analisados.....	74

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 6.1: Sumário estatístico dos elementos maiores	32
Tabela 6.2: Sumário estatístico dos elementos menores e traços.....	42
Tabela 6.3: Sumário estatístico dos elementos maiores menores e traços nos bioclastos	50
Tabela 7.1: Matriz de correlação de Spearman dos óxidos nos sedimentos	57
Tabela 7.2 A: Matriz de correlação de Spearman dos elementos menores e traços nos sedimentos	60
Tabela 7.2 B: Carga de fatores dos elementos menores e traços nos sedimentos	64
Tabela 7.2 C: Autovalores e variâncias totais e acumuladas da análise fatorial.....	64
Tabela 7.3 A: Matriz de correlação dos elementos maiores nos bioclastos.....	72
Tabela 7.3 B: Matriz de correlação dos elementos menores e traços nos bioclastos	72

ÍNDICE DE ANEXOS ou APÊNDICES

Anexo 1: Declaração juramentada.....	88
Anexo 2: Carta de caracterização dos agregados marinhos da plataforma continental rasa do Estado de Pernambuco. Fonte: CPRM – Serviço Geológico do Brasil.....	89

RESUMO

A plataforma continental do Estado de Pernambuco – Folha Recife foi estudada a fim de avaliar sua potencialidade com relação aos granulados marinhos presentes e contribuir com meios de se evitar o esgotamento dos recursos minerais continentais. Foram considerados dentre os aspectos que fundamentaram o tema desta pesquisa a importância de estudos de proveniência em sedimentos marinhos, conhecimento dos bioclastos presentes em ambientes plataformais, principais características dos granulados marinhos e da plataforma continental do Estado de Pernambuco. Foram realizadas análises geoquímicas para determinar os teores dos principais óxidos, elementos menores e traços seguindo a metodologia proposta pela Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd., aplicação de estatística univariadas, bivariadas e multivariadas como meio de detectar as correlações entre os diversos elementos presentes e a integração dos dados para mapear a distribuição espacial desses teores por meio do software de georreferenciamento Arcgis 10. Foi verificada a predominância dos depósitos carbonáticos biogênicos, possivelmente pela presença de bancos de algas. As associações geoquímicas correspondentes ao ambiente de sedimentação carbonático são representadas por CaO, MgO, Lol, TOT_C, TOT_S e Na₂O. Para o ambiente de sedimentação siliciclástico constatou-se associações geoquímicas entre SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, K₂O e TiO₂. As análises estatísticas corroboraram com a individualização em ambientes de sedimentação carbonáticos e siliciclásticos pela análise de agrupamento e fatorial. Entre os elementos menores e traços determinados se destacam com os maiores teores Sr, Ba, Zr e ETRL. Pelos dados dos bioclastos foi possível identificar o predomínio de CaO, MgO, Sr, carbono total e enxofre total no grupo das Halimedas.

Palavras-chave: Granulados marinhos; Plataforma continental rasa; Proveniência sedimentar; Depósitos carbonáticos; Depósitos siliciclásticos.

ABSTRACT

Pernambuco continental shelf – Recife chart was studied aim to evaluate its potentiality in relation to the marine granular and to contribute with ways to avoid the depletion of continental mineral resources. The aspects that supported the theme of this research were: the importance of studies of provenance in marine sediments, knowledge of bioclasts present in shelf environmental, main characteristics of marine granular and the continental shelf from State of Pernambuco. Geochemical analyzes were performed to determine the contents of the main oxides, minor elements and trace elements apply the methodology proposed by Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd., determination of univariate, bivariate and multivariate statistics as way detecting of the correlations between these elements present and integration of data to map the spatial distribution of these contents by Arcgis 10 georeferencing software. The predominance of biogenic carbonate deposits was verified, possibly due to the presence of algal beds. The geochemical associations in carbonate sedimentation environment are represented by CaO, MgO, Lol, TOT_C, TOT_S and Na₂O. The siliciclastic sedimentation environment has geochemical associations among SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, K₂O and TiO₂. Statistical analyzes corroborated by individualization in carbonate and siliciclastic sedimentation environments by cluster and factorial analysis. Among minor elements and trace elements Sr, Ba, Zr and ETRL had highest contents. By bioclast data it was possible to identify the predominance of CaO, MgO, Sr, total carbon and total sulfur in the Halimeda group.

Keywords: Marine granular; Shallow continental shelf; Sedimentary provenance; Carbonate deposits; Siliciclastic deposits.

INTRODUÇÃO

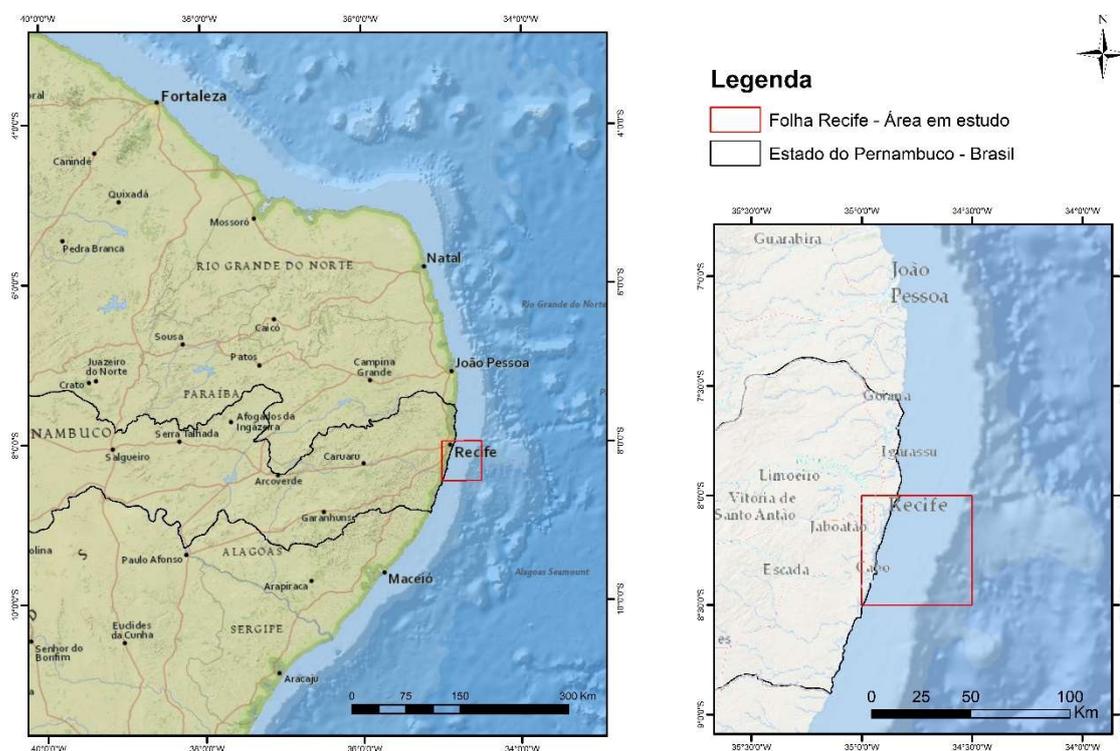
Apesar da plataforma continental do Estado de Pernambuco ter sido objeto de diversos estudos nas últimas décadas (Mont'Alverne e Coutinho, 1982), (Manso et al., 2003), (Marques, 2008), (Ferreira Jr., 2010), (Nascimento 2016), (Goes e Ferreira Jr., 2017), ainda carece de informações mais aprofundadas acerca dos recursos naturais nesse ambiente, principalmente no tocante à potencialidade dos granulados marinhos. Sob esse aspecto, deve ainda ser considerada a seguinte indagação: é possível utilizar os granulados marinhos como forma de suprir a demanda por recursos minerais e evitar a escassez dos recursos minerais continentais? Com essa possibilidade do uso sustentável dos recursos minerais marinhos a fim de atender a esta demanda, os granulados marinhos assumem o papel de recursos estratégicos para a economia do país do qual pertence e evitando o esgotamento das reservas minerais continentais.

Nessa pesquisa serão consideradas as hipóteses de que os processos atuantes no ambiente plataformal favoreçam a acumulação de depósitos de granulados marinhos, da mesma forma que os mesmos contribuam como ferramenta para estudos de proveniência a fim de determinar suas possíveis origens, por meio de análises geoquímicas desses sedimentos bióticos e abióticos.

A área de estudo está inserida numa porção rasa da plataforma continental do Estado do Pernambuco - Folha Recife (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.

Mapa de localização da área em estudo na Plataforma Continental - Estado do Pernambuco - Folha Recife



Destaca-se como contribuição teórica desse estudo agregar conhecimentos na área de dinâmica sedimentar marinha por meio da determinação dos teores e distribuição dos granulados marinhos ao longo da plataforma continental objeto de estudo, assim como fornecer subsídios para estudos de proveniência e áreas fonte desses recursos minerais. Acrescenta-se ainda como contribuição a geração dos dados geoquímicos e seus teores que auxiliarão em futuros projetos e programas de avaliação de depósitos minerais em ambientes marinhos e suas implicações ao cenário econômico atual e às questões ambientais envolvidas no processo de prospecção desses recursos.

Vale ressaltar que os estudos geoquímicos propostos nessa pesquisa em conjunto com a análise das frações bioclásticas permitirão que se individualize províncias sedimentares de acordo com a natureza do sistema deposicional: siliciclástico ou carbonático. Pela integração dos dados sedimentológicos e geoquímicos, juntamente com a compartimentação em províncias deposicionais, essa pesquisa permitirá mapear áreas promissoras quanto a potencialidade dos granulados marinhos presentes na área da plataforma continental estudada.

Objetivo geral

Avaliar a potencialidade econômica dos granulados marinhos presentes numa porção da plataforma continental do Estado de Pernambuco – Folha Recife.

Objetivos específicos

Determinar a distribuição espacial dos granulados marinhos ao longo da plataforma continental objeto de estudo.

Avaliar a geoquímica dos sedimentos coletados em 70 estações de amostragem por meio dos teores de elementos maiores e elementos-traço.

Mapear as assinaturas geoquímicas e províncias sedimentares presentes na área de estudo correlacionando com as possíveis proveniências.

Analisar o conteúdo bioclástico em 48 estações de amostragem localizadas em banco de algas.

Fornecer dados e subsídios para estudos e projetos na área de recursos minerais marinhos, prospecção e respectivas implicações econômicas e ambientais.

Esta pesquisa está estruturada em nove capítulos ao todo. O Marco Teórico contempla quatro capítulos com um breve levantamento bibliográfico e conceitos sobre a plataforma continental do Estado de Pernambuco, granulados marinhos, estudos de proveniência em sedimentos marinhos e pesquisas com bioclastos em ambientes plataformais. O Marco Empírico é composto por um capítulo que descreve a metodologia utilizada e descreve os componentes: variáveis, amostra, instrumentos de medição e técnicas aplicadas, procedimentos e a hipótese de trabalho. Segue-se o capítulo de resultados com os principais produtos desta pesquisa: tabelas, gráficos, mapas e figuras. Em seguida é apresentado o capítulo das discussões com as interpretações dos produtos obtidos nos resultados e aplicação das estatísticas para fornecer análises mais robustas. O penúltimo capítulo é composto pelas conclusões gerais que puderam ser listadas a partir dos produtos e interpretações dessa pesquisa. Por fim o capítulo de recomendações onde são propostas medidas para aperfeiçoar, fomentar e dar continuidade aos estudos com granulados marinhos.

MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO 1: A PLATAFORMA CONTINENTAL DO ESTADO DE PERNAMBUCO

A Plataforma Continental de Pernambuco está inserida em um ambiente cujas características são reflexo direto da área fonte, do clima, drenagem e tectonismo, sendo caracterizada como uma plataforma estreita, com largura média de 34 Km, rasa e com quebra ocorrendo a 60 m de profundidade (Vital et al., 2005).

Sua cobertura é quase em sua totalidade formada por sedimentos carbonáticos biogênicos, considerada ainda como uma plataforma estável e aberta. No que se refere à plataforma interna, sua sedimentação é predominantemente siliciclástica com a presença de lamelas modernas traçadas em corredores entre linhas de arenito de praia adjacentes a desembocaduras fluviais ou preenchendo paleocanais (Barcellos et al., 2013).

1.1. Estudos anteriores

Apesar da plataforma continental do Estado de Pernambuco ter sido objeto de diversos estudos nas últimas décadas, ainda carece de informações mais aprofundadas acerca dos recursos naturais nesse ambiente, principalmente no tocante à potencialidade dos granulados marinhos.

As pesquisas pioneiras na plataforma continental pernambucana se iniciaram com Mont'Alverne & Coutinho (1982) ao categorizar a fisiografia dessa plataforma em províncias sedimentares. Manso et al. (2003) avaliaram a morfologia e a sedimentologia da plataforma continental interna do litoral sul de Pernambuco, por análises granulométricas, mapas batimétricos e parâmetros estatísticos. Marques (2008) avaliou a geoquímica de carbonatos em parte da plataforma continental pernambucana analisando isótopos estáveis de carbono e oxigênio a fim de detectar sinais geoquímicos de diagênese meteórica em sedimentos relíquia. Oliveira (2012) se dedicou aos estudos de foraminíferos para caracterizar a sedimentação biogênica na plataforma continental interna e média de Pernambuco. Camargo, 2016 investigou a porção sul da plataforma continental pernambucana para avaliar a geodiversidade

com base na heterogeneidade das feições geológicas e geomorfológicas que determinam a ocorrência de paisagens submersas e habitats bentônicos específicos. Goes & Ferreira Jr. (2017) atualizam dados da plataforma continental brasileira discutindo diferenciações existentes ao longo desse ambiente, bem como sua gênese e evolução.

1.2. Caracterização geológica, sedimentológica e faciológica

Coutinho (1976) já considerava os vários aspectos da morfologia e distribuição dos tipos de sedimentos da plataforma continental do nordeste brasileiro que foi dividida em três seguimentos: plataforma interna (até a isóbata de - 20 m), plataforma média (entre as profundidades de - 20 a - 40 m) e plataforma externa (entre - 40 a - 60 m). O autor relata ainda que os sedimentos carbonáticos orgânicos na plataforma continental de Pernambuco é produto da interação entre as seguintes características: plataforma estreita, rasa, águas quentes, salinidade elevada e ação das correntes; predominância de clima semiárido no interior do continente, fraco desenvolvimento de corais hermatípicos; fenômenos de competição algas calcárias *versus* corais.

Manso (1997) relatou que a baixa taxa de erosão continental aliada ao déficit de sedimentação marinha na plataforma, associada ainda à fatores estruturais são os fatos que explicam a largura e profundidade reduzidas. Ainda segundo esse último autor, na plataforma continental de Pernambuco predomina sedimentação de origem carbonática pela intensa produção orgânica do desenvolvimento de fundos de algas calcárias da família *Coralinaceae*, subfamília *Melobesiae*, com espécies do gênero *Lithothamnium*, e algas verdes calcificadas dos gêneros *Halimeda*, *Udotea* e *Penicillus*, representando 75 a 95% de carbonato de cálcio, 4 a 10% de carbonato de magnésio e alguns oligoelementos.

Mayal et al. (2000) caracterizou a plataforma ao largo do litoral de Pernambuco como marcada pela presença de linhas de recifes de arenitos que servem de base para o desenvolvimento de algas e corais.

A faixa costeira de Pernambuco está inserida nas bacias sedimentares de Pernambuco e Parnaíba que, segundo Lima Filho (1998), definiu essas bacias por meio de dados estratigráficos e estruturais como unidades autônomas com distintas histórias deposicionais.

Michelli et al. (2001) e Camargo et al. (2007), ao realizarem estudos na porção sul da plataforma continental pernambucana, mapearam três linhas de arenitos de praias submersas.

Manso et al. (2003) constataram que os sedimentos de origem terrígena predominaram por toda plataforma interna, contendo mais de 50% da fração areia, podendo atingir valores acima de 95%, tendo como limite a isóbata de - 20m. Esses sedimentos foram classificados como areias relíquias com material biogênico inferior a 20% formados em sua maior parte por quartzo e alguns fragmentos de rocha de classes arenosa a areno-cascalhosa, areno-lamosa, lamo-arenosa e lamosa.

Cordoba et al. (2007) caracterizaram a bacia de Pernambuco como formada por um sistema de leques aluviais e lacustres em contexto tectonicamente ativo, fato este corroborado por falhas de bordas acompanhadas de cunhas conglomeráticas, sequências progradantes de pacotes sedimentares e pelo alojamento sintectônico de rochas vulcânicas encaixadas da Formação Cabo.

Gregório (2009) descreveu a plataforma continental interna adjacente ao município de Recife com uma morfologia acidentada pela presença de um canal com profundidade média de 6,4 m e uma linha de arenito de praia submersa de 1285 m de largura.

Ferreira Júnior (2010), procedeu com estudos petrológicos em arenitos de praia (*beachrocks*) para verificar oscilações do nível do mar durante o Holoceno na plataforma continental central de Pernambuco, reconhecendo duas fases distintas: a transgressiva (a partir de 7946 A.P., até a elevação máxima, ocorrida há 6245 A.P.) e a regressiva (a partir de 5000 A.P., ocasionando a descida do nível do mar, exposição e formação de feições erosivas atuais dos arenitos de praia).

Oliveira (2012), pesquisou a sedimentação biogênica da plataforma continental interna e média de Pernambuco, através da distribuição de foraminíferos e da fauna associada. O autor constatou a predominância de algas calcárias (37% nos sedimentos biogênicos analisados) e que pela análise de distribuição e composição dos bioclastos foi eficaz na inferência das características do ambiente deposicional, com base no estudo das assembleias de foraminíferos.

Silva (2018), avaliou os padrões de diversidade e distribuição espacial da macrofauna bentônica e bioclastos da plataforma continental do litoral sul de Pernambuco constatando que os principais componentes da macrofauna são compostos por Mollusca, Crustacea e Annelida, com maior riqueza e diversidade na plataforma externa. Os componentes biogênicos formaram 3 grupos distintos relacionados à granulometria classificados em sedimentos finos, médios e grossos, evidenciando um gradiente ambiental associado à profundidade.

CAPÍTULO 2: GRANULADOS MARINHOS

Nas últimas décadas tem-se desenvolvido técnicas de extração e aproveitamento de depósitos minerais marinhos. Essas técnicas estiveram condicionadas a reduzir os custos de produção, mas faltando uma certa preocupação em obedecer fielmente às restrições ambientais a fim de competir com os recursos minerais continentais de forma responsável. O aproveitamento econômico desses recursos está relacionado às operações de dragagem aos custos de transporte dos bens minerais para as zonas consumidoras e às restrições ambientais a que são submetidos os empreendimentos captadores dos granulados marinhos.

Cavalcanti e Freire (2007) relataram que a exploração de dunas, canais e planícies de inundação de rios para a extração de areias como agregados na construção civil vem sendo realizada há um tempo considerável nas regiões metropolitanas do Brasil, como consequência, geram exaustão desses bens materiais e sérios problemas ambientais. Com relação aos granulados marinhos, há também impactos intrínsecos no meio marinho que afetará a qualidade ambiental na zona costeira onde esses recursos estão presentes. Sob esse aspecto, se faz necessário avaliar a possibilidade de exploração dos granulados marinhos sob um prisma social, econômico e ambiental.

Segundo Borges (2007), a importância econômica dos recursos minerais da plataforma continental brasileira está relacionada diretamente a representatividade da mineração para a economia e competitividade desses recursos em comparação a outras fontes de suprimentos disponíveis.

Para a exploração de granulados marinhos se faz necessário estudos prévios de avaliação de potencialidade exploratória e dos possíveis impactos ambientais no intuito de viabilizar uma gestão racional, equilibrada e sustentável desses recursos.

2.1. Importância econômica

Apesar de possuir uma costa de mais de 8.000 km de extensão, o Brasil ainda não considerou a potencialidade dos granulados marinhos como investimento econômico. O destaque para os recursos marinhos na área econômica sempre tem sido voltado para a prospecção de hidrocarbonetos.

Cavalcanti (2007) relata que a exploração de granulados marinhos ocorre na Europa há mais de 50 anos, com o pioneirismo da França na extração de granulados carbonáticos. Reino Unido, França, Suécia, Bélgica, Alemanha, Finlândia, Dinamarca, Polônia, além dos Estados Unidos na América do Norte e do Japão na Ásia, atualmente exploram granulados siliciclásticos de suas plataformas continentais para utilização tanto como agregado para construção civil como na recuperação de perfis de praias. Os granulados carbonáticos são utilizados por esses países na agropecuária e no tratamento de água. Segundo ainda o autor supracitado, a areia e o cascalho dragados em muitos países para aproveitamento como material de construção e regeneração de praias, na zona litorânea e offshore, representam, mundialmente, o maior valor de produção, estimado em três bilhões de dólares por ano.

Pláceres marinhos são concentrações de minerais pesados que podem ocorrer na plataforma continental e tem sido explorados em diversos países como fonte de titânio em ilmenitas e rutilo nos depósitos de praia da Austrália, África, Ásia e Américas do Norte e do Sul. Cavalcanti (2007) ainda destaca os depósitos marinhos de diamantes da África do Sul e da Namíbia, os depósitos de cassiterita do sudeste da Ásia, e os depósitos de ouro do Alasca e da Nova Zelândia.

2.2. Implicações ambientais

Pela legislação brasileira o Mar Territorial é definido segundo a Lei n. 8.617/13 como uma faixa de 12 milhas marítimas de largura, medias a partir da linha de baixa-mar do litoral continental e insular brasileiro, tal como indicada nas cartas náuticas de grande escala. Por essa mesma lei, a plataforma continental compreende o leito e subsolo das áreas submarinas, que se estendem além do seu mar territorial em toda extensão do prolongamento natural do seu território terrestre até o bordo exterior da margem continental, ou até uma distância de 200 milhas marítimas das linhas de base.

Pelo artigo 20 da Constituição Federal de 1988 considera que os recursos naturais do Mar Territorial e da Plataforma Continental pertencem aos bens da União. O artigo 225 determina que aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei.

O Código de Mineração, Decreto-Lei n. 227/67, modificado pela Lei 9.314/96 que regula os direitos sobre os recursos minerais do país, seu regime de aproveitamento e a fiscalização da pesquisa, da lavra e de outros aspectos da indústria mineral pelo governo federal, define que o aproveitamento de substâncias minerais no Mar Territorial, na Plataforma Continental e na Zona Econômica Exclusiva depende de alvará de autorização de pesquisa, do Diretor-Geral do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) e de concessão de lavra, outorgada pelo Ministro de Minas e Energia.

A Instrução Normativa Ibama n.46/2004 define critérios que permitem a exploração, a comercialização e o transporte de algas marinhas do litoral brasileiro, regulamentando, exclusivamente, da exploração de algas vivas ou arribadas.

Da mesma forma que a extração mineral em terra, a exploração de recursos minerais em domínios oceânicos é capaz de ocasionar modificações temporárias ou permanentes no meio ambiente. São consideráveis os desafios ambientais a serem enfrentados nas operações de dragagem de depósitos siliciclásticos e bioclásticos que compõem os granulados marinhos. Sendo assim, é importante conciliar aproveitamento econômico com responsabilidade ambiental na extração desses recursos minerais para se evitar, mitigar e remediar os possíveis impactos nos meios físico e biótico no ambiente marinho.

Para uma melhor avaliação dos possíveis impactos ambientais que são potencialmente capazes de afetar o ecossistema marinho, é preciso aplicar os seguintes princípios:

- Localizar as zonas de proteção em torno de várias embarcações naufragadas na costa de importância histórica, turística e esportiva, obedecendo esses limites;
- Identificar a flora e a fauna bentônicas presentes no substrato marinho como seu habitat, estabelecendo limites à profundidade das dragagens de forma a permitir a revitalização do ecossistema após o término das operações;
- Listar as atividades pesqueiras de forma a preservar a morfologia do fundo da forma mais próxima à nativa para permitir o livre acesso dos peixes ao seu alimento e locais de desova;

- Considerar os efeitos erosivos dos processos de dragagem na linha de costa, analisando a dinâmica costeira atuante no local das atividades de extração dos granulados marinhos.

CAPÍTULO 3: ESTUDOS DE PROVENIÊNCIA EM SEDIMENTOS MARINHOS

Em um domínio sedimentar o destino terminal da acumulação de partículas transportadas para a plataforma continental são representados pelos sedimentos marinhos, com sua origem no intemperismo das rochas e solos no continente.

Há pesquisas que se propõem a estimar a proveniência de sedimentos marinhos por meio de análises geoquímicas dessas partículas, sendo incluídos nesse escopo os granulados marinhos.

Lacerda & Martins (2006) propuseram o conceito de suportes geoquímicos de acordo com a possível proveniência desses sedimentos: Fe e Al representando argilominerais de origem estritamente continental associados ainda aos elementos Ba, Cd e Pb; carbonatos de origem estritamente marinha correspondendo a amostras de areias carbonáticas na presença das algas calcárias *Lithothamnium* e *Halimeda* sem associação com metais; e matéria orgânica presente em sedimentos carbonáticos associada às algas calcárias.

Marques et al. (2008) discriminaram associações geoquímicas de acordo com a proveniência de sedimentos marinhos: $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O} - \text{Rb}$ para sedimentação de origem terrígena continental correlacionada ainda a $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{Mn} - \text{TiO}_2$; sedimentação de origem bioquímica pela associação geoquímica $\text{CaO} - \text{MgO} - \text{P}_2\text{O}_5$. Os granulados marinhos da porção siliciclástica que correspondem a acumulações de minerais pesados, denominados pláceres, também podem fornecer informações acerca da proveniência de sedimentos marinhos.

Para Addad (2010), os pláceres marinhos têm íntima relação com as variações eustáticas do nível do mar que abrangeram todo o período Quaternário, oscilando entre exposição das plataformas continentais e afogamento das mesmas, atuando ainda, segundo o autor, como indicadores diretos das mudanças climáticas.

Barreto et al. (2017) realizaram análise sedimentológica da plataforma continental interna rasa no litoral sul de Pernambuco e constataram pela distribuição textural dos sedimentos que essa porção da plataforma é predominantemente formada por areia bioclástica. Os autores observaram que a fração terrígena predominou em áreas mais rasas relacionadas ao maior aporte sedimentar oriundo de desembocadura de rios, enquanto a contribuição da sedimentação carbonática tenha sua área fonte atribuída a presença dos recifes, sob influência da transgressão holocênica em alguns processos responsáveis pela sedimentação atual.

Souza (2017), utilizou como ferramenta de investigação os elementos terras raras para avaliar o aporte e a proveniência dos sedimentos na bacia de Santos nos últimos 45 mil anos. Segundo o autor, os elementos terras raras por apresentarem um comportamento coerente ao longo de uma coluna sedimentar, são utilizados como indicadores robustos em estudos de proveniência, além de fornecer entendimento da dinâmica paleoclimática sobre o aporte desses sedimentos por meio da geoquímica dos elementos terras raras e elementos maiores.

Smith (2020), pesquisou a proveniência de sedimentos recentes do delta do rio Parnaíba, localizado na divisa entre os estados do Piauí e Maranhão, por meio de amostras de testemunhos por vibração. O autor observou uma transição entre ambientes lamosos e arenosos de forma abrupta, com evidências que corroboram com a existência de uma conexão relativamente recente entre o rio Parnaíba e a porção oeste da planície deltaica.

O aporte fluvial é uma das principais fontes de sedimentos para o ambiente marinho a partir da erosão continental pelos processos intempéricos. Pela atuação dos agentes climáticos agindo diretamente sob o substrato rochoso, os minerais se desintegram da rocha original e ficam susceptíveis aos agentes de transporte, principalmente pela atuação de rios cortam esses terrenos que propiciará o fornecimento de sedimentos terrígenos para a plataforma continental.

Os sedimentos depositados em seu destino final preservam informações acerca de sua área fonte original, assim como preserva assinaturas geoquímicas que podem servir como ferramenta em estudos de proveniência sedimentar. Arz et al. (1999) já relatavam que os elementos Fe e Ti são abundantes em minerais de rochas continentais, podendo inferir a relação entre argilominerais e componentes siliciclásticos como de proveniência continental. Roeser (2008) aplicou elementos terras raras e argilominerais em estudos de proveniência sedimentar em ambientes marinhos, reconstrução da sedimentação detrítica e avaliou registros climáticos ao longo do período geológico considerado. Govinet al. (2012) aplicaram as razões entre Al/Si e Fe/K como indicadores da entrada de material intensamente intemperizado em regiões úmidas e o tamanho das partículas em regiões secas.

Estudos geoquímicos em sedimentos têm demonstrado resultados bastante robustos em análise de proveniência tanto para sedimentos siliciclásticos como bioclásticos. Marques et al. (2007), aplicaram assinaturas geoquímicas em sedimentos terrígenos e carbonáticos da plataforma continental do nordeste oriental do Brasil e verificou fortes intercorrelações integradas entre $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O} - \text{Rb}$, assim como associações com $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{Mn} - \text{TiO}_2$ para sedimentos de origem terrígena. Os autores constataram que a sedimentação bioquímica foi representada pelas intercorrelações integradas $\text{CaO} - \text{MgO} - \text{P}_2\text{O}_5$, acrescentando que a associação bioclástica essencialmente bentônica composta por algas, moluscos, equinóides, corais, escamas, espinhas e pellets fecais suportam os padrões geoquímicos desse conjunto proposto pelos autores.

Com base nessas considerações fica evidente a importância de se aplicar métodos geoquímicos na análise de proveniência de sedimentos marinhos, podendo ser utilizados como indicadores os elementos maiores, elementos traço e elementos terras raras para a determinação de assinaturas geoquímicas que permitem caracterizar a origem desses sedimentos.

Deve se considerar ainda as oscilações do nível do mar durante o tempo geológico como no último período glacial, regressão Wisconsiniana, que segundo Wright et al. (2009) o mar esteve entre 100 e 130 metros abaixo da linha de costa atual. Esse fato fez com que a plataforma continental brasileira ficasse exposta aos processos erosivos, dissecação por vales fluviais e sedimentação no talude continental. Cruz et al. (2009) sugeriram por registros paleoclimáticos de testemunhos lacustres e espeleotemas que a região nordeste do Brasil apresentou um clima seco no último

máximo glacial – UMG (aproximadamente 21 mil anos AP). A exposição da plataforma continental durante o UMG, a atuação dos agentes intempéricos aliada à baixa cobertura vegetal presente no continente fez com que Sousa (2017) apontasse para um maior transporte e deposição de material terrígeno para o talude continental. O autor acrescenta que no período interglacial, com condições climáticas mais estáveis e uma melhor distribuição de chuvas no continente, resultou na diminuição do intemperismo das rochas crustais e dos processos erosivos, com o consequente empobrecimento do aporte de material terrígeno para o talude continental.

Outro fato que deve ser considerado em estudos de proveniência em sedimentos marinhos é a aplicação dos minerais pesados presentes nesses sedimentos, pois esses minerais originados no continente são transportados para os oceanos por processos fluviais, glaciais e eólicos, preservando em sua estrutura cristalina informações de suas áreas fonte. Quando formam acumulações importantes na plataforma continental são denominados de pláceres marinhos e possuem íntima relação com as variações eustáticas do nível do mar durante o Quaternário.

CAPÍTULO 4: PESQUISAS COM BIOCLASTOS EM AMBIENTES PLATAFORMAIS

A sedimentação nas plataformas continentais atuais pode ser de origem terrígena, biogênica, vulcanogênica e autigênica. Para Manso (2003), os sedimentos biogênicos são compostos por mais de 30% de carbonato de cálcio e sílica amorfa formados por atividades orgânicas, em sua maioria de natureza carbonática. Os bioclastos marinhos são importantes componentes para a formação dos depósitos carbonáticos nas plataformas continentais que possuem grande importância em setores econômicos como indústria, agricultura, alimentação e construção civil. Ainda de acordo com o autor supracitado, a plataforma continental presente no nordeste do Brasil representa uma das poucas áreas do mundo onde uma plataforma aberta e estável se apresenta quase completamente coberta por carbonato de cálcio biogênico, com abundância de sedimentos carbonáticos derivados da bioconstrução e precipitação química.

Rebouças (2010), explicou que a maior parte dos componentes biogênicos dos sedimentos superficiais da plataforma continental é produzido localmente e controlado pelas condições ambientais de cada região. Em função dessas características, é possível fornecer informações importantes para a caracterização ambiental e os condicionantes da sedimentação marinha atuante.

Na literatura há uma vasta quantidade de trabalhos com pesquisas de bioclastos em ambientes plataformais, contudo na plataforma continental do Estado de Pernambuco esses estudos ainda são restritos. Alguns dos trabalhos desenvolvidos na plataforma continental brasileira focam em estudos da geomorfologia de fundo, análise granulométrica da cobertura sedimentar, composição de minerais pesados e sedimentação biogênica.

Azevedo (2017), analisou foraminíferos recentes da plataforma continental de Pernambuco com objetivo de descrever os processos tafonômicos do ambiente deposicional aos quais foram incorporados e retrabalhados pelos processos inerentes à dinâmica sedimentar presente nessa área da plataforma continental. O autor descreve a microfauna de foraminíferos de sua pesquisa como típica de ambientes de águas tropicais rasas, mornas e de boa luminosidade, com predominância na plataforma interna e média.

Nascimento (2017), ao pesquisar a macrofauna bentônica na plataforma continental de Sergipe, constatou a predominância dos grupos Polychaeta, Crustacea, Mollusca e Echinodermata em fundos inconsolidados dessa plataforma. O autor discriminou três ambientes distintos pelas análises multivariadas a partir da abundância da macrofauna local: estações de areia litorânea com alta hidrodinâmica e baixo percentual de matéria orgânica com maior percentual de poliquetas, amostras com profundidade intermediária e fundo de lama que apontam para redução do percentual de poliquetas e maior contribuição de moluscos, amostras com fundo de cascalho com maiores densidades de diversidade da fauna total com maior contribuição de crustáceos e redução da fauna poliquetológica.

Ritter (2018), estudou acumulações de moluscos da plataforma continental do sul do Brasil utilizando como ferramenta a resolução temporal aplicada à paleoecologia verificou a variação na informação biológica no registro fóssil. Por datação do ^{14}C e análises tafonômicas o autor constatou que as variações nos padrões das curvas de frequência de distribuição de idades e redução da variedade tafonômica se devam provavelmente a interação entre as oscilações do nível relativo do mar e da bioprodutividade mais elevada em águas menos profundas. Esses processos são inerentes à dinâmica presente no ambiente plataformal ao longo do tempo geológico.

Silva (2018), ao avaliar a macrofauna bentônica e bioclastos da plataforma continental do litoral sul de Pernambuco verificou a predominância da macrofauna Mollusca, Crustacea e Annelida, os bioclastos foram representados pelos foraminíferos, macroalgas e moluscos. O autor evidenciou um gradiente ambiental associado à profundidade com uma maior diversidade de elementos concomitante ao aumento da granulometria, com destaque em maior riqueza e diversidade na plataforma externa.

Santos et al. (2019), avaliou o conteúdo de componentes biogênicos da plataforma continental de Sergipe e sul de Alagoas a fim de correlacionar com fatores ambientais que indicaram que a área da plataforma objeto de estudo é caracterizada como mista siliciclástica-carbonática e transição da composição sedimentar com o aumento da profundidade. Assim como verificou que os foraminíferos e algas vermelhas são os mais abundantes dos componentes biogênicos, sendo responsáveis pela formação de bancos carbonáticos na plataforma externa. Os autores ainda constataram um ajuste morfodinâmico entre a circulação e a topografia da plataforma.

Percebe-se que o ambiente plataformal é bastante rico em diversidade e abundância de atividade biológica, onde esses organismos exercem um importante papel no equilíbrio de toda a cadeia trófica marinha. Com base nos estudos supracitados, é evidente a interação entre esses organismos com os componentes abióticos (topografia, profundidade, tamanho do grão), o que ocasiona uma variação na distribuição dos bioclastos ao longo dos setores da plataforma continental.

Ao avaliar de forma integrada dados bióticos, no caso dessa pesquisa representadas pelas algas calcárias, com dados abióticos (granulometria e batimetria) torna-se possível um mapeamento mais fidedigno às características conspícuas do ambiente da plataforma continental. As algas calcárias fazem parte da comunidade marinha bentônica local com funções essenciais ao equilíbrio ecossistêmico nesse ambiente como auxiliar na reciclagem de nutrientes, depurar possíveis poluentes e promover a formação do substrato marinho pela acumulação dos fragmentos orgânicos, gerando os bancos de algas presentes na área da plataforma de objeto de estudo.

Mapear as ocorrências de bioclastos por meio da análise das algas calcárias presentes, permitirá proteger áreas vulneráveis e ecologicamente relevantes por envolver outras comunidades biológicas associadas.

MARCO EMPÍRICO

CAPÍTULO 5: DESENHO METODOLÓGICO

5.1. Introdução

Essa pesquisa está inserida no projeto GRANMAR – Granulados Marinhos da plataforma continental rasa do Brasil desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, desenvolvido desde o ano 2000 até o presente. O projeto desenvolve ações voltadas para o reconhecimento da plataforma continental do Brasil, contemplando ao todo 17 expedições marinhas, totalizando 172 dias de mar. Para a área de estudo dessa pesquisa que abrange a plataforma continental do Estado de Pernambuco foram totalizados 45 dias de mar onde foram utilizadas as embarcações Sinuelo/UFRPE e NB Manhães (H-20).

5.2. Variáveis

Elementos maiores (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , MnO_2 , Cr_2O_3 , P_2O_5 , TiO_2) elementos-traço (As, Au, Ba, Be, Bi, Cd, Ce, Co, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Ga, Gd, Hf, Ho, La, Lu, Mo, Nb, Ni, Pb, Pr, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Th, Tl, Tm, U, V, W, Zn e Zr), fração granulométrica, conteúdo bioclástico, conteúdo siliciclástico, perda por ignição (Loss on ignition – LOI), C_TOT (carbono total), S_TOT (enxofre total) e parâmetros estatísticos.

5.3. Amostra

A amostra selecionada pertence aos granulados marinhos presentes na plataforma continental rasa do Estado de Pernambuco – Folha Recife, considerando como o entorno específico a cobertura sedimentar de toda a plataforma continental pernambucana incluindo sedimentos terrígenos e bioclásticos. Foram coletadas 70 amostras de sedimentos ao longo da plataforma continental rasa (Figura 5.3 A) coletadas com amostrador Van-Veen e 48 amostras de bioclásticos em bancos de algas coletadas manualmente (Figuras 5.3 B e 5.3 C).

Figura 5.3 A - Mapa das estações de amostragem de sedimentos na área de estudo.

Mapa das estações de amostragem na Plataforma Continental - Estado do Pernambuco - Folha Recife

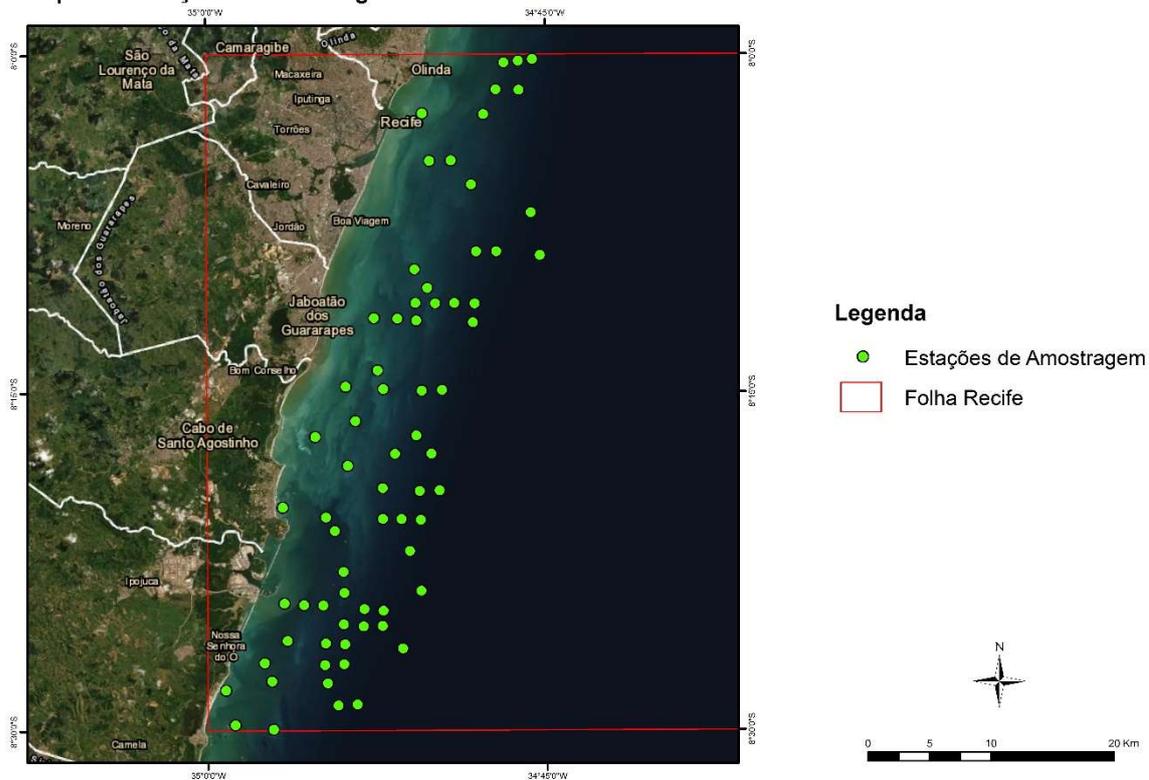


Figura 5.3 B – Mapa das estações de amostragem de bioclastos na área de estudo.

Mapa das estações de algas bioclásticas na Plataforma Continental - Estado do Pernambuco - Folha Recife

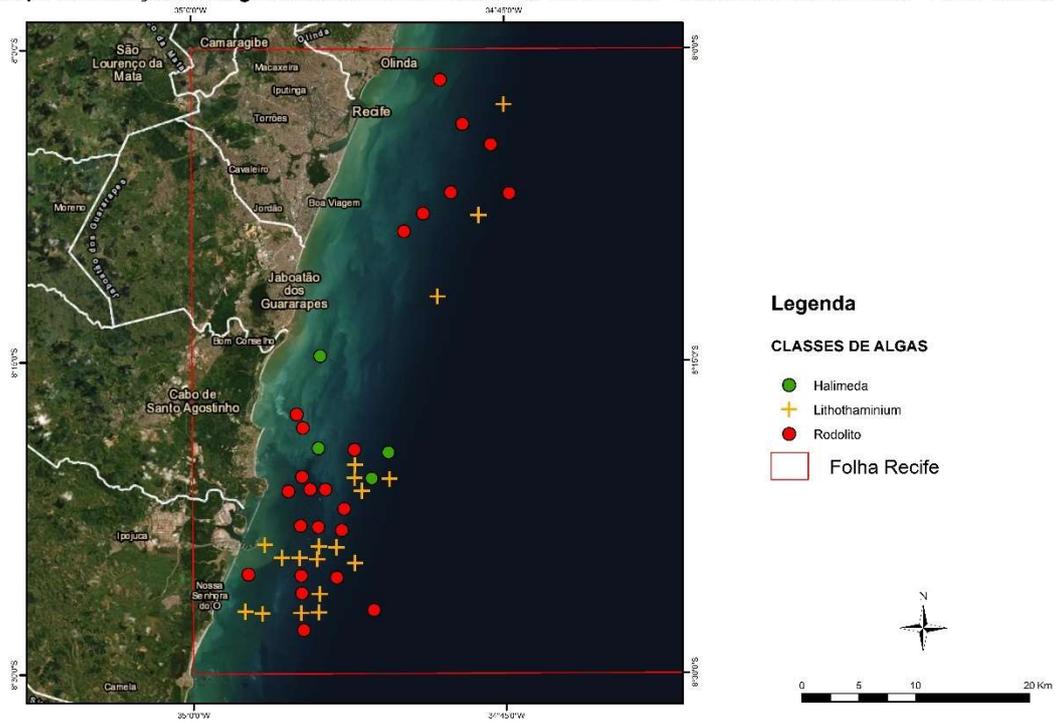
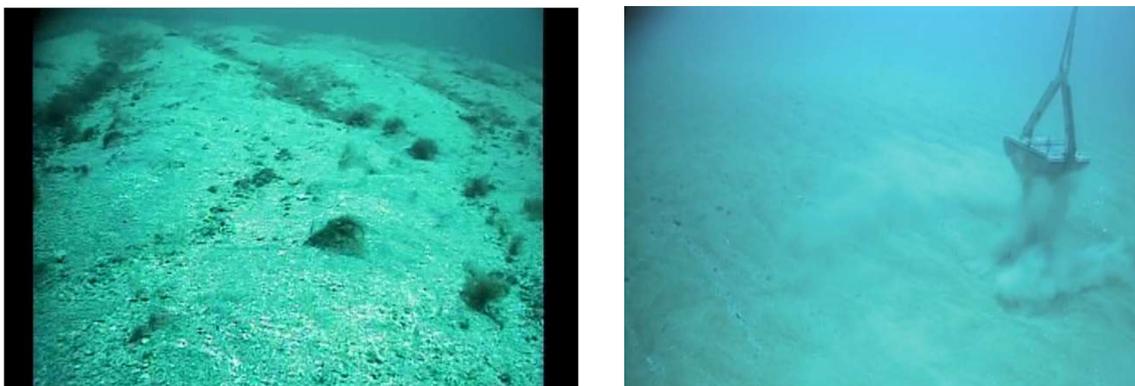


Figura 5.3 C – Banco de algas e amostrador Van Veen utilizado na coleta das amostras.



Os aspectos sócio geográficos da área de estudo contemplam o Estado de Pernambuco que, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, apresenta uma população de estimada de 9.616.621 pessoas em 2020, área territorial de 98.067, 880 Km², índice de desenvolvimento humano – IDH de 0,673, inserido no clima semiárido no interior e tropical úmido na faixa litorânea. A vegetação é composta por floresta tropical, caatinga, cerrado e vegetação litorânea. Os principais padrões geomorfológicos são representados pela Baixada Litorânea, Planalto da Borborema e Depressão Sertaneja. Quanto aos tipos de solos em Pernambuco são classificados como argissolos, cambissolos, espodossolos, gleissolos, latossolos, luvissolos e neossolos.

5.4. Instrumentos de medição e técnicas

Para a coleta das amostras de sedimentos e bioclastos foi utilizada uma embarcação tipo pesqueiro de pequeno porte, com calado de 1 m, podendo ser utilizado em mar raso próximo à linha de costa e as amostras foram coletadas por meio de amostrador do tipo Van Veen 8L.

5.5. Procedimentos

Foi utilizado o programa de geoprocessamento Arcgis 10.1 para confecção dos mapas de distribuição dos granulados marinhos e das variáveis dessa pesquisa.

Os elementos maiores foram determinados pelo método analítico proposto pelo laboratório Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd. que se baseia na fusão das amostras de sedimentos com metaborato/tetraborato de lítio e determinação dos teores por espectrometria de emissão em aparelho ICP-ES. Os elementos-traço também seguirá o método proposto pela Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd. pela digestão em água régia das amostras de sedimentos e determinação dos teores por espectrometria de massa em aparelho ICP-MS.

A fração granulométrica foi determinada pelo método de peneiramento a seco com auxílio de aparelho de rotação mecânico modelo Rotup.

O conteúdo bioclástico foi discriminado em três grupos de algas calcárias: halimedas, lithothaminiuns e rodolitos pela visualização e separação desses tipos de alga na etapa da coleta dessas amostras (Figura 5.5 A). O conteúdo siliciclástico será avaliado com base na junção dos dados geoquímicos e granulométricos.

A Lol será calculada por ignição das amostras de sedimentos sob uma temperatura de 1000°C seguindo o método analítico da Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.

Os dados geoquímicos obedeceram a um processo de tratamento estatístico sequencial, realizado segundo as seguintes etapas:

- Utilização de estatística univariada através da análise de exploração de dados (sumário estatístico, histogramas, gráficos de probabilidade normal e gráficos box & whiskers); confecção de mapas de distribuição espacial unielementar.
- Utilização de estatística bivariada e multivariada (matriz de correlação bivariada, análise de agrupamento e análise fatorial). Mapeamento da distribuição espacial dos auto-valores resultantes da análise fatorial;
- Interpretação das assinaturas geoquímicas encontradas numa base geológica com ênfase na faciologia e área de proveniência.

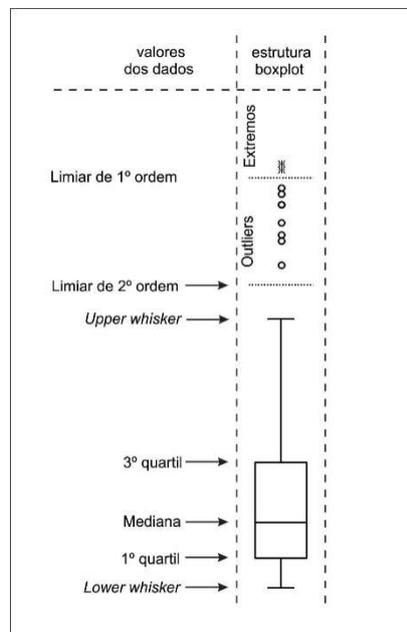
Os valores abaixo do limite de detecção do método analítico foram substituídos pela metade do limite de detecção. Para se definir os limiares foi adotado o diagrama de box & whiskers (Figura 3) proposto por Tukey (1977). As anomalias de primeira ordem representam os valores superiores ao limiar ($Q3+3*[Q3-Q1]$) e as de segunda ordem representam os limites internos entre ($Q3+1,5*[Q3-Q1]$) e ($Q3+3*[Q3-Q1]$).

A simbologia que se observa nos mapas de distribuição geoquímica de superfície de sedimentos da plataforma é a representação dos quartis apresentados no gráfico box-plot (Figura 5.5 B) para cada elemento, ou seja, sempre que possível os resultados analíticos dos elementos químicos foram separados em 5 classes: ($< Q1$, $Q1 - Q3$, $Q3$ - limiar de 2° ordem, $>$ limiar de 2° ordem - limiar de 1° ordem $<$, $>$ limiar de 1° ordem), conforme os intervalos abaixo.

Figura 5.5 A – Amostras das algas calcárias da área de estudo.



Figura 5.5 B – Gráfico box & whiskers utilizado para calcular os limiares de 1 e 2 ordens.



5.6. Hipótese de trabalho

A plataforma continental é uma feição geológica-geomorfológica submetida aos processos geológicos, tectônicos e eustáticos ao longo do tempo geológico. Esses processos são capazes de alterar o substrato sedimentar, a topografia da plataforma continental e o componente biótico presente nesse ambiente marinho. No tocante aos granulados marinhos, essas partículas tanto de origem terrígena como bioclástica, são retrabalhadas pelos processos e hidrodinâmica marinha e redistribuídos espacialmente e alterados em sua composição química e mineralógica ao longo do tempo.

Com a intensificação do retrabalhamento e evolução das alterações granulométricas, químicas e mineralógicas dos sedimentos, é possível que ocorra um grau de incremento na potencialidade dos granulados marinhos presentes pela concentração de minerais de interesse econômico, enriquecimento em elementos químicos que pode conferir uma reserva mineral e aumento nos teores do carbonato de cálcio em depósitos biogênicos.

Essas modificações dos componentes bióticos e abióticos da plataforma continental permitirão ainda inferir a proveniência dos granulados marinhos como forma de se obter as possíveis áreas fonte, avaliar assinaturas geoquímicas que caracterizem as

províncias sedimentares de acordo com as afinidades químicas e mineralógicas desses grãos e propiciar a aplicação desses dados em estudos futuros de reconstrução paleoambiental e mudanças climáticas.

Tendo-se explanado as particularidades e processos atuantes no ambiente plataformal, considera-se as seguintes hipóteses para essa pesquisa:

É possível que ocorra acumulações de granulados marinhos tanto siliciclásticos como bioclásticos na plataforma continental do Estado de Pernambuco, com a predominância de depósitos de origem carbonática;

A aplicação de estudos geoquímicos permitirá mapear e avaliar os tipos de depósitos pela sua distribuição ao longo da área da plataforma continental objeto de estudo;

Apesar desses depósitos estarem em ambiente marinho, é provável que os granulados marinhos de composição siliciclástica apresentem proveniência de origem continental.

6. RESULTADOS

6.1. Elementos maiores

A determinação dos elementos maiores nos sedimentos fornecerá um diagnóstico preliminar da geoquímica predominante, além de permitir a discriminação entre granulados carbonáticos e siliciclásticos. Considera-se ainda que alguns metais ou a associação entre eles estarão relacionados a proveniência desses grãos, permitindo caracterizar suas origens.

Os elementos maiores quantificados nesse estudo foram determinados sob a forma de óxidos nas 70 amostras de sedimentos, sendo possível constatar a predominância de granulados carbonáticos pelos valores encontrados do CaO (Tabela 6.1).

Tabela 6.1 – Sumário estatístico dos elementos maiores.

%	Amostras	N° válidos	Mínimo	Máximo	Média arit.	Mediana	1° Quartil	3° Quartil	Q3+(Q3-Q1)*1,5 Limiar de 2° Ordem	Q3+(Q3-Q1)*3,0 Limiar de 1° Ordem	Coefficiente de variação
SiO ₂	70	70	0,99	92,95	18,72	9,67	4,29	22,84	50,67	78,49	114,65
Al ₂ O ₃	70	70	0,12	0,85	0,38	0,33	0,26	0,45	0,74	1,02	41,97
Fe ₂ O ₃	70	70	0,15	1,81	0,43	0,40	0,27	0,50	0,85	1,19	59,84
CaO	70	70	1,82	45,31	36,97	41,41	34,81	43,48	56,49	69,49	27,14
MgO	70	70	0,28	6,20	4,35	4,88	3,71	5,31	7,71	10,11	32,54
Na ₂ O	70	70	0,36	3,41	0,83	0,67	0,56	1,01	1,69	2,36	56,13
K ₂ O	70	70	0,05	0,36	0,13	0,13	0,08	0,18	0,33	0,48	48,25
MnO	70	5	0,005	0,010	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	24,21
TiO ₂	70	58	0,01	0,31	0,02	0,02	0,01	0,02	0,04	0,05	173,84
P ₂ O ₅	70	70	0,03	0,09	0,07	0,07	0,06	0,08	0,11	0,14	18,83
Cr ₂ O ₃	70	10	0,001	0,004	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	51,79
LOI	70	70	2,8	48	37,72	41,45	35,8	44,7	58,05	71,40	27,20
TOT_C	70	70	0,55	11,93	9,59	10,53	9,16	11,39	14,74	18,08	27,53
TOT_S	70	70	0,06	0,31	0,20	0,21	0,18	0,24	0,33	0,42	27,44

Coefficiente de Variação: considera a medida de dispersão absoluta (desvio padrão) e a média da série. Quanto maior o valor do coeficiente de variação, maior é a dispersão dos valores do conjunto e quanto menor o valor do coeficiente de variação, mais homogêneo é o conjunto.

O SiO₂ obteve teores que variaram entre 0,99 % e 92,95 % (Tabela 6.1); conforme o histograma a distribuição apresenta um padrão lognormal com assimetria à direita, sendo que a maior parte das amostras não ultrapassou os 25 % de SiO₂ em teor (Figura 6.1.1). Somente sete amostras superou o limiar de 50,67 % e a distribuição espacial do SiO₂ revelou que os maiores teores tenderam a se concentrar em domínios proximais e mais ao centro-sul da área, embora tenha ocorrido uma amostra com alta concentração de SiO₂ em domínio distal nessa mesma região (Figura 6.1.2).

Os teores de Fe_2O_3 variaram de 0,15 % a 1,81 % (Tabela 6.1), com predominância de concentrações inferiores a 0,50 % nas amostras analisadas (Figura 6.1.1). Os teores revelaram um padrão de distribuição lognormal com assimetria positiva; apenas quatro amostras apresentaram valores acima do limiar de 0,85 %, sendo suas respectivas localizações bem ao sul da área na região proximal. O mapa de distribuição delimitou a predominância dos teores de Fe_2O_3 ao longo da porção proximal centro-sul da plataforma pernambucana (Figura 6.1.3).

CaO atingiu teores a partir de 1,82 % a 45,31 % (Tabela 6.1), com o valor médio de 36,97 % que representa razoavelmente bem a população amostrada conforme o valor do coeficiente de variação. Segundo o histograma, os teores de CaO apresentou uma distribuição lognormal com assimetria à esquerda (Figura 6.1.1). Embora 75% dos valores encontrados estejam acima do primeiro quartil de 34,81% de CaO, há no conjunto seis amostras que se destacam por apresentar os menores valores do grupo analisado. A distribuição desse óxido obedece ao padrão de sedimentação na plataforma continental do Nordeste, com sua concentração bem marcada nos domínios distais, sendo que foi possível observar eventualmente altos teores em áreas proximais (Figura 6.1.4).

Para MgO a variação dos teores foi de 0,28 % a 6,20 % (Tabela 6.1); semelhante ao CaO, a distribuição do MgO é lognormal com assimetria à esquerda, tendo um valor médio representativo da população amostrada com base no coeficiente de variação de 4,35 % (Figura 6.1.1). Três quartos das amostras analisadas apresentaram teores superiores a 3,71%. O mapa de distribuição revelou que os menores valores se localizam na costa proximal e na parte central próximo ao cabo de Santo Agostinho, e que há uma tendência do MgO se acumular em domínios distais em duas porções: uma ao centro-norte e outra ao sul da área plataformal pernambucana (Figura 6.1.5).

Os valores para o TiO_2 foram de 0,01 % a 0,31 % (Tabela 6.1), tendo uma distribuição em patamares e muito dispersa com um coeficiente de variação alto (Figura 6.1.1). Acrescenta-se ainda que 22 amostras não tiveram valores detectáveis, portanto, esses teores não foram representados no mapa de distribuição.

Al_2O_3 apresentou teores entre 0,12 % e 0,85 % (Tabela 6.1), tendo a maioria das amostras com concentração inferior a 0,45 % (Figura 6.1.1). Utilizando o limiar de 0,74 % de Al_2O_3 do sumário estatístico é possível destacar somente três amostras acima desse valor, sendo duas delas localizada na porção distal das adjacências do cabo de Santo Agostinho e uma outra na porção proximal ao sul do cabo supracitado, próximo a região de Ipojuca (Figura 6.1.6). A região de Ipojuca também concentra na porção distal os teores mais baixos para o Al_2O_3 .

Na_2O variou de 0,36 % a 3,41 % (Tabela 6.1), com maior parte das amostras não ultrapassando 1,01 % (Figura 6.1.1). Através do boxplot é possível verificar quatro amostras com valores acima do limiar de segunda ordem 1,69 % (Figura 6.1.1). A distribuição espacial evidenciou que esse óxido tende a se acumular junto aos sedimentos da porção mais distal da área plataformal de estudo provavelmente se associando ao CaO (Figura 6.1.6).

P_2O_5 variou entre 0,03 % a 0,09 % (Tabela 6.1) com uma distribuição muito irregular, apresentada no diagrama normal QQPlot (Figura 6.1.1). A distribuição espacial evidenciou os maiores valores em porções proximais da costa de Recife e extremo sul da área plataformal de estudo ao norte de Ipojuca (Figura 6.1.6).

Para o carbono total a variação dos teores foi de 0,55 % a 11,93 % (Tabela 6.1); semelhante ao CaO , a distribuição é lognormal com assimetria à esquerda, tendo um valor médio representativo da população amostrada de 9,59 %. Três quartos das amostras analisadas apresentaram teores superiores a 9,16 % (Figura 6.1.1). O mapa de distribuição revelou que os menores valores se localizam na costa proximal e na parte central da área próximo ao cabo de Santo Agostinho e que tende a aumentar em domínios distais ao longo da área plataformal pernambucana (Figura 6.1.6).

O enxofre total variou de 0,06 % a 0,31 % e valor médio de 0,20 % (Tabela 6.1), com maior parte das amostras na faixa entre 0,18 % a 0,25 % (Figura 6.1.1). A distribuição de enxofre apresenta os menores valores próximo à costa na região de Ipojuca e cabo de Santo Agostinho, sendo os maiores valores na porção distal das mesmas regiões (Figura 6.1.6).

Os teores para K_2O se encontram entre 0,05 % a 0,36 % (Tabela 6.1) e quase a totalidade das amostras não ultrapassou 0,20 % de concentração (Figura 6.1.1). A distribuição espacial do K_2O mostrou que as maiores concentrações estão localizadas em domínios proximais adjacentes à costa de Recife e ao cabo de Santo Agostinho (Figura 6.1.6).

O LOI é a perda ao fogo e representa a perda de material rico em matéria orgânica e água. Apresentou valores entre 2,80 % e 48,00 % (Tabela 6.1) com uma distribuição lognormal assimétrica à esquerda e média significativa de 37,72 % (Figura 6.1.1); denotando que uma grande maioria das amostras analisadas possui natureza bioclástica, embora possuindo uma menor parte das amostras de provavelmente população siliciclástica representada pelos baixos valores de LOI.

O MnO e o Cr_2O_3 não foram considerados neste estudo descritivo pois a maior parte das amostras estiveram abaixo do limite de detecção do método analítico utilizado. O MnO , o Cr_2O_3 e o P_2O_5 foram retirados do tratamento estatístico devido os teores encontrados não possuírem nenhuma aproximação de uma distribuição normal.

Figura 6.1.1: Boxplots com os teores de óxidos, Lol, carbono total e enxofre total.

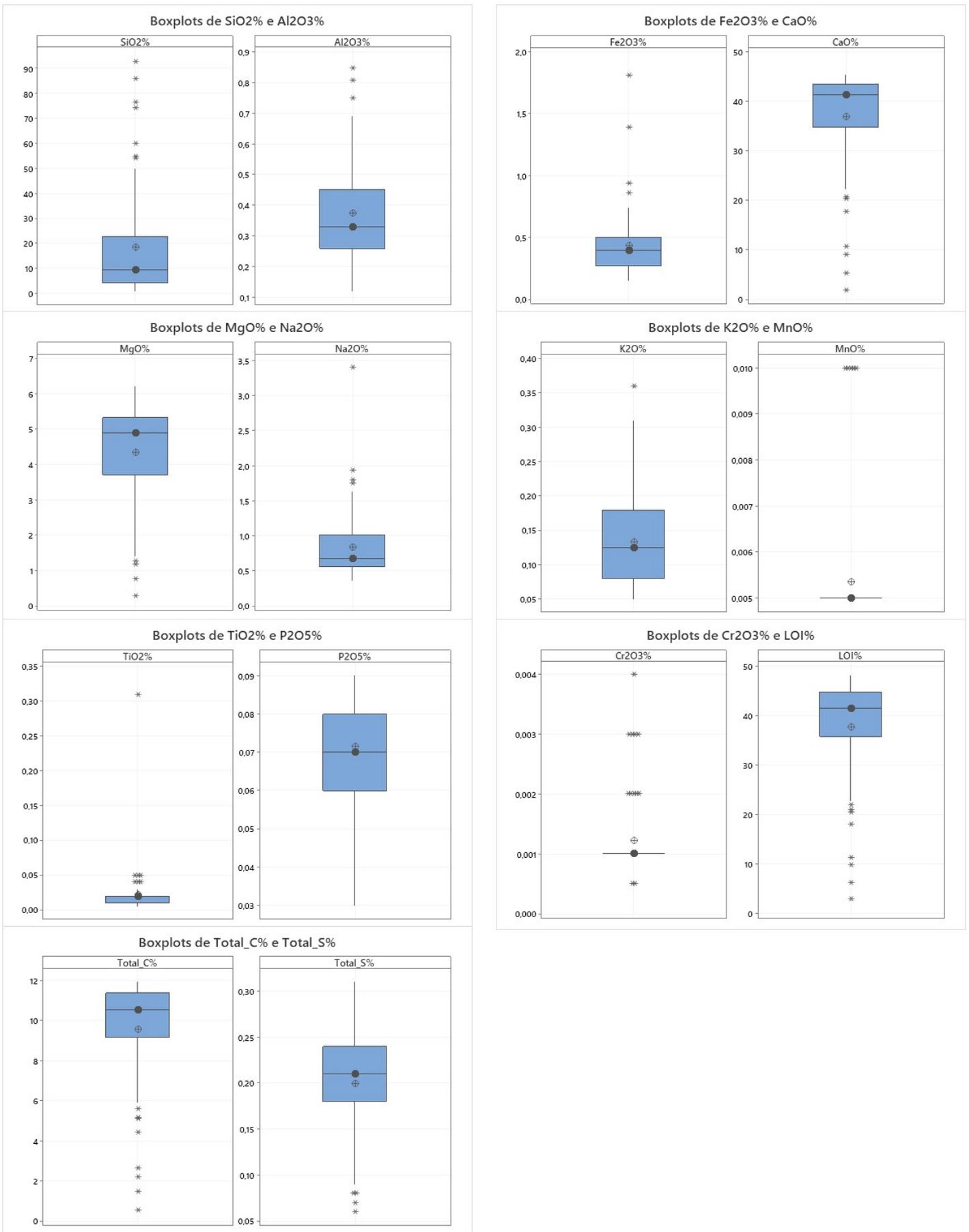


Figura 6.1.2 – Distribuição espacial do SiO₂.

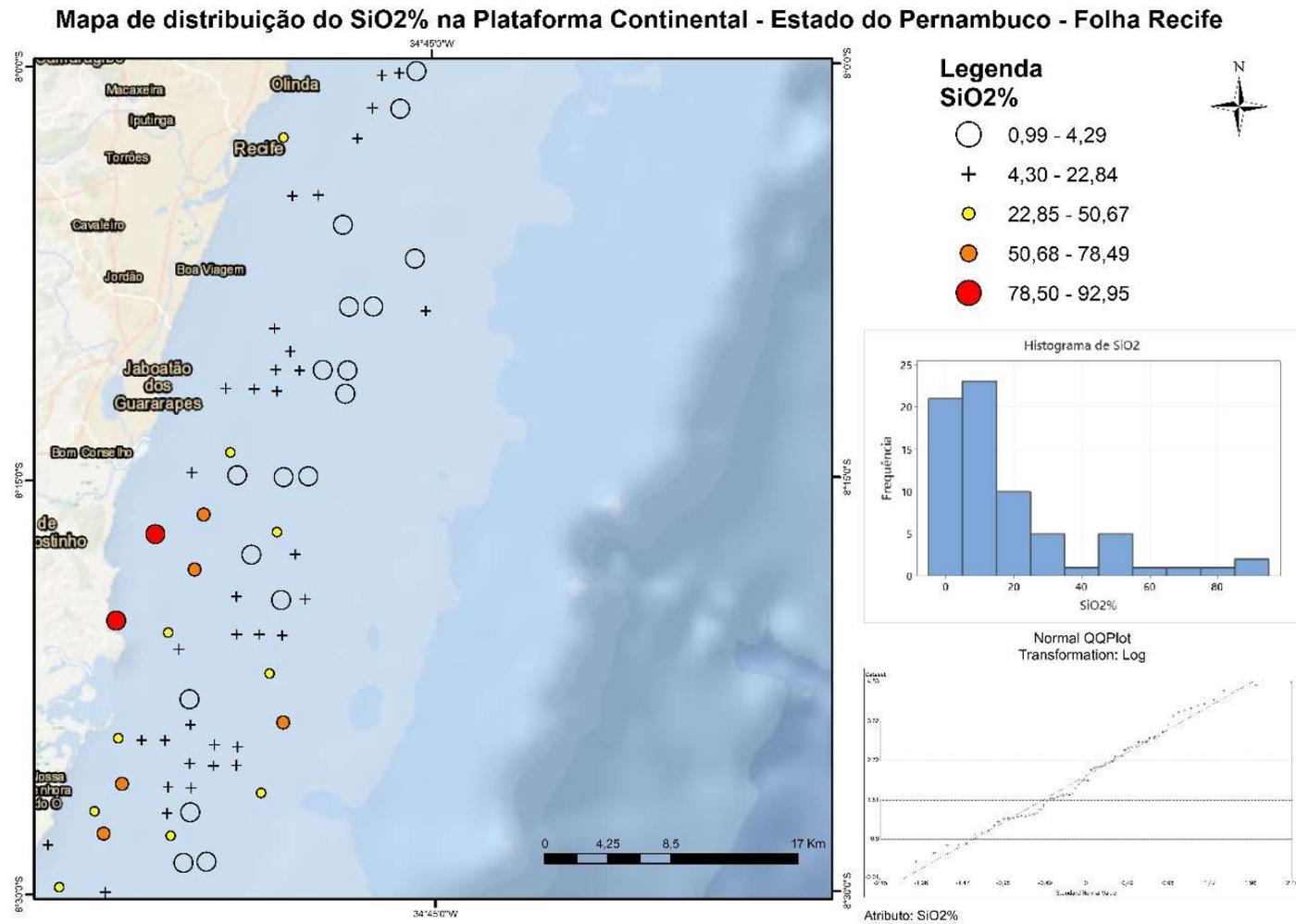


Figura 6.1.3 – Distribuição espacial do Fe₂O₃.

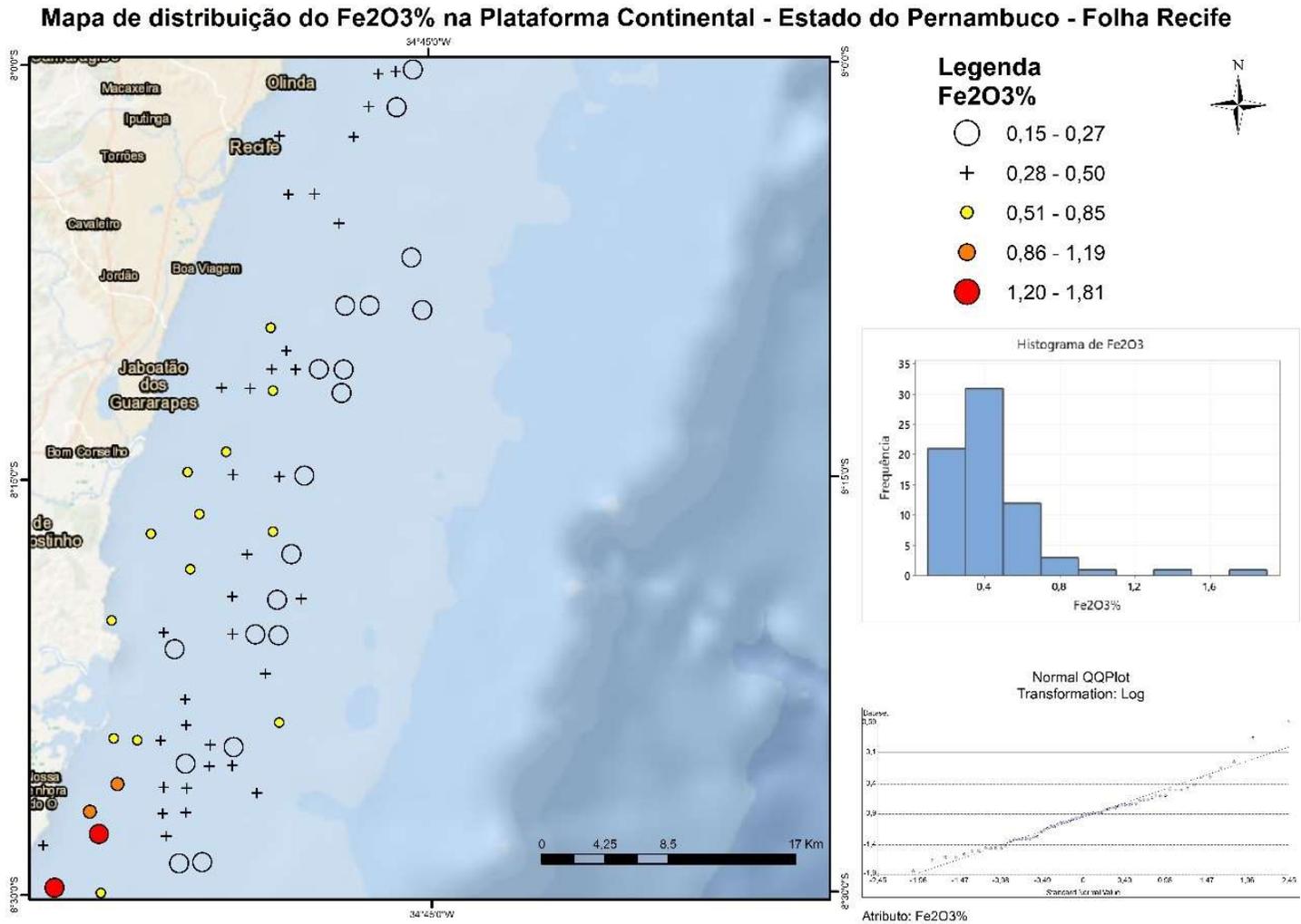


Figura 6.1.4 – Distribuição espacial do CaO.

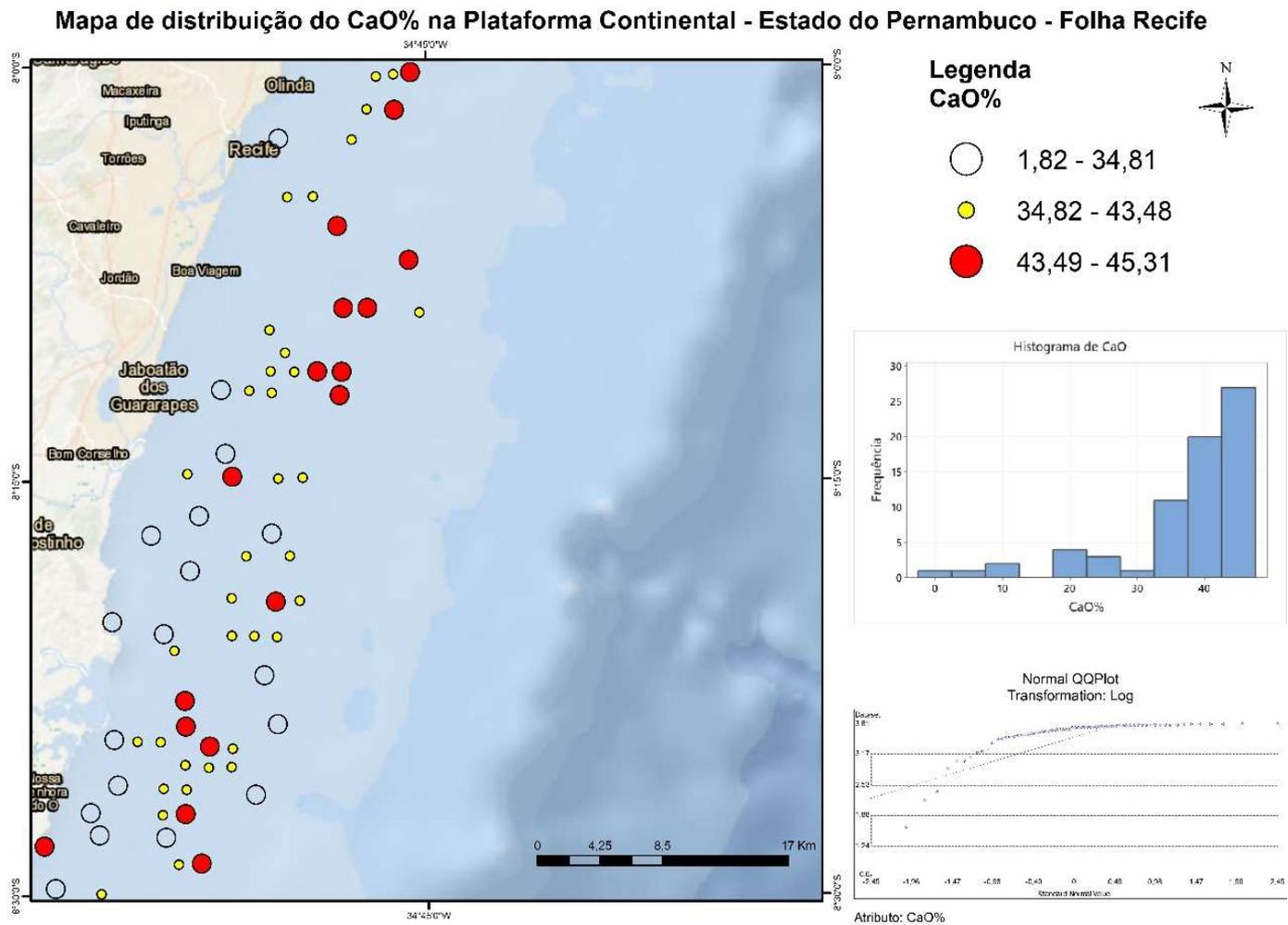


Figura 6.1.5 – Distribuição espacial do MgO.

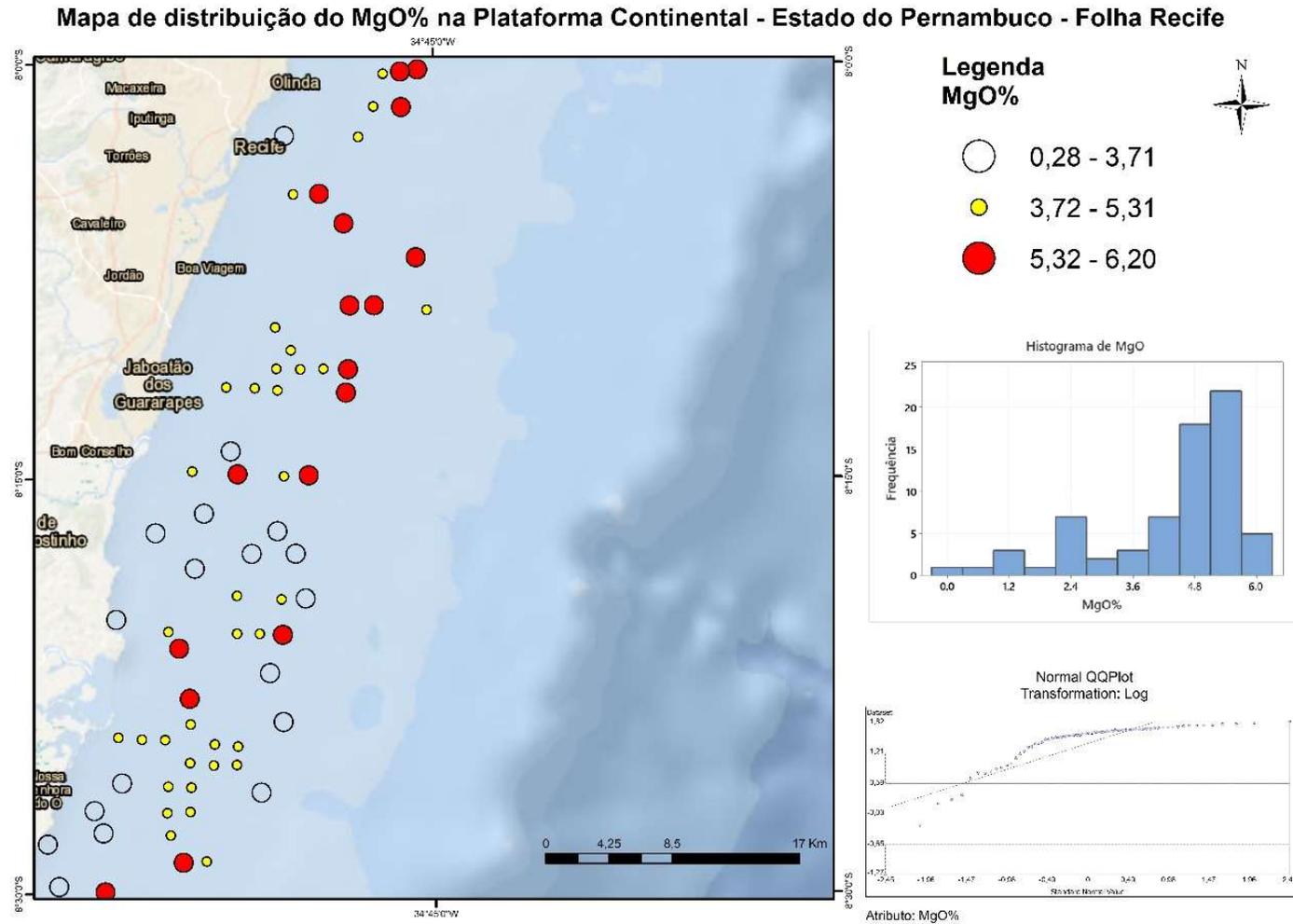
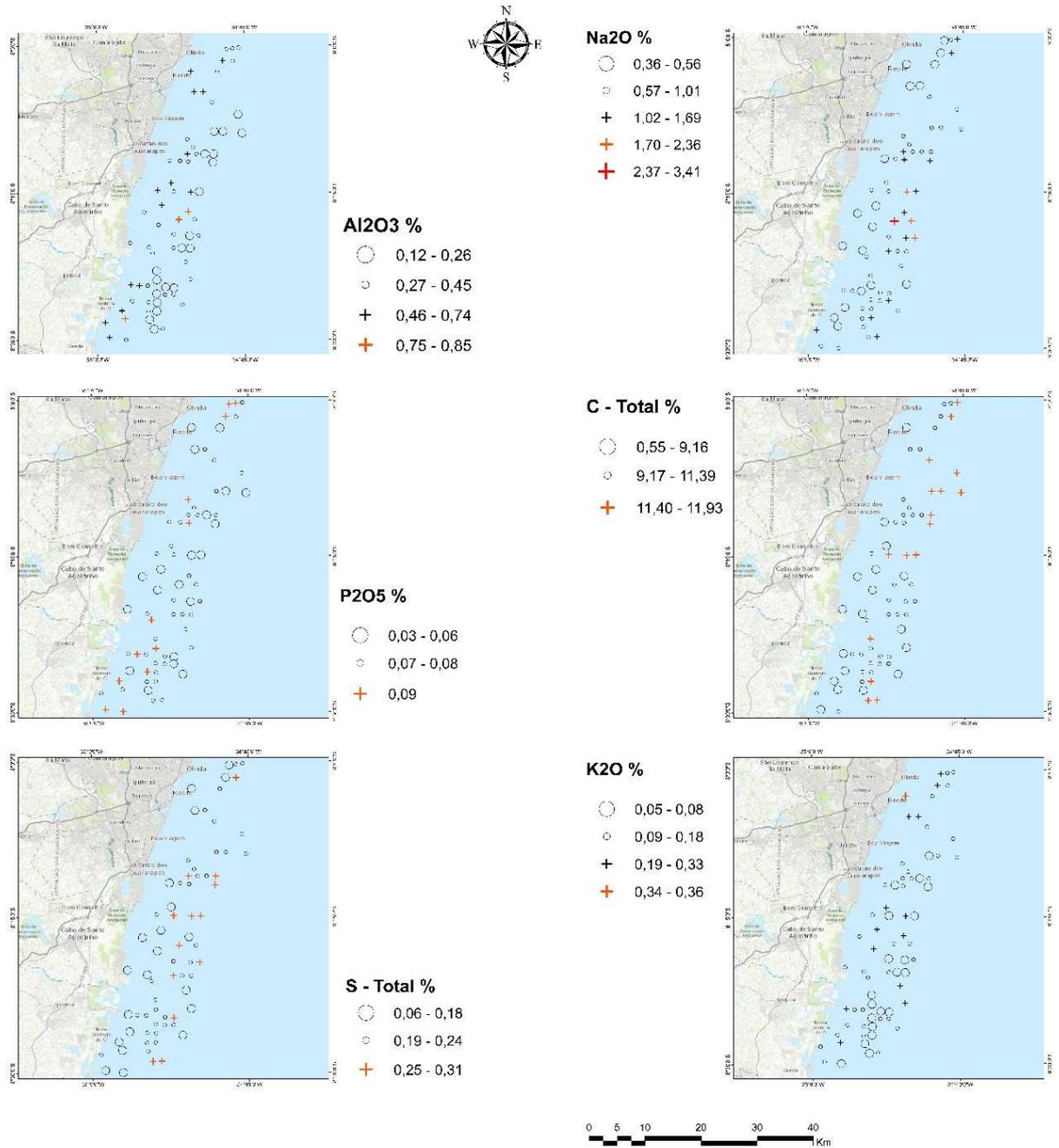


Figura 6.1.6 – Distribuição espacial de Al₂O₃, Na₂O, P₂O₅, K₂O, C total e S total.



6.2. Elementos menores e traço

A importância de quantificar elementos menores e traço em sedimentos marinhos se dá pela contribuição em estudos de proveniência por oferecer resultados mais robustos em conjunto com os elementos maiores. Tan et al., 2016 citam que elementos traço são incorporados aos sedimentos através de processos como adsorção, precipitação, processos de difusão, reações químicas ou atividades biológicas podendo ser utilizados tanto como indicadores de proveniência como ambiental para rastrear e monitorar os níveis de contaminação para esses elementos.

Os elementos menores e traço quantificados nesse estudo foram determinados em 70 amostras de sedimentos (Tabela 6.2).

Tabela 6.2 – Sumário estatístico dos elementos menores e traços.

ppm	Amostras	N° válidos	Mínimo	Máximo	Média arit.	Mediana	1° Quartil	3° Quartil	Q3+(Q3-Q1)*1,5 Limiar de 2° Ordem	Q3+(Q3-Q1)*3,0 Limiar de 1° Ordem	Coefficiente de variação
Ba	70	70	7,80	148,00	32,19	24,50	15,00	40,00	77,50	115,00	76,72
Co	70	16	0,10	0,40	0,14	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	58,43
Cs	70	24	0,05	0,30	0,08	0,05	0,05	0,10	0,18	0,25	65,52
Ga	70	66	0,25	1,90	0,61	0,50	0,50	0,70	1,00	1,30	41,02
Hf	70	64	0,05	11,20	0,60	0,30	0,20	0,60	1,20	1,80	223,03
Nb	70	70	0,20	20,20	1,32	0,60	0,50	1,10	2,00	2,90	217,29
Rb	70	70	0,70	8,20	2,96	2,60	1,80	3,80	6,80	9,80	54,37
Sn	70	1	0,50	1,00	0,51	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	11,78
Sr	70	70	120,90	6918,90	2510,98	2558,85	2064,00	2891,50	4132,75	5374,00	43,32
Ta	70	10	0,05	1,10	0,08	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	165,58
Th	70	70	0,20	6,00	1,03	0,80	0,60	1,20	2,10	3,00	80,54
U	70	70	0,7	2,7	1,52	1,5	1,3	1,7	2,30	2,90	23,36
V	70	39	2,5	31	8,66	8,50	4	11	21,50	32,00	63,96
W	70	1	0,05	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	18,54
Zr	70	70	1,3	483	23,48	11,7	7,1	22,3	45,10	67,90	245,15
ETRL	70	70	3,81	41,86	12,75	11,45	7,93	16,32	28,91	41,49	49,87
ETRP	70	70	1,53	7,7	3,72	3,66	2,78	4,47	7,01	9,54	31,97
Mo	70	70	0,1	1,6	0,35	0,3	0,2	0,4	0,70	1,00	61,10
Cu	70	70	0,2	6,9	1,24	1	0,7	1,4	2,45	3,50	87,80
Pb	70	70	0,6	3,3	1,26	1,15	1	1,5	2,25	3,00	36,21
Zn	70	68	0,5	139	8,40	3	2	7	14,50	22,00	213,74
Ni	70	68	0,05	4,1	2,03	2,1	1,5	2,6	4,25	5,90	48,07
As	70	70	1,8	43,6	6,81	5,05	3,7	7,6	13,45	19,30	95,10
Cd	70	2	0,05	0,1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	16,31
Sb	70	55	0,05	0,4	0,14	0,1	0,1	0,2	0,35	0,50	55,10
Au_ppb	70	8	0,25	347,4	5,30	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	782,26
Hg	70	7	0,005	0,01	0,006	0,005	0,005	0,005	0,01	0,01	27,47
Se	70	31	0,25	1	0,45	0,25	0,25	0,7	1,38	2,05	54,46

Os valores encontrados para o elemento bário variaram de 7,80 a 148,00 ppm com a maior parte dos teores abaixo de 40 ppm (Figura 6.2 A). Sua distribuição tem um padrão lognormal com assimetria positiva e três amostras se destacam acima do limiar de 77,50 ppm. A localização destas amostras fica ao norte da área nas adjacências de Recife na porção proximal provavelmente associadas a presença de sulfatos (Figura 6.2 C).

O gálio variou de 0,25 a 1,90 ppm com os valores apresentando uma distribuição em patamares no diagrama normal QQ-plot (Figura 6.2 A). Contudo é possível individualizar três amostras acima do limiar de 1,00 ppm sendo duas delas com valores de 1,20 e 1,90 ppm na região sul proximal de Ipojuca e a outra na porção distal das adjacências do cabo de Santo Agostinho com 1,30 ppm (Figura 6.2 C).

Para o háfnio os teores atingiram desde 0,05 a 11,20 ppm com grande parte dos menores valores distribuídos em patamares no diagrama QQ-plot (Figura 6.2 A). Utilizando o limiar de 1,20 ppm é possível destacar quatro amostras com os maiores valores predominantemente localizadas na região proximal da costa tendo o teor de 11,20 ppm em frente ao cabo de Santo Agostinho a 700 metros da costa provavelmente associado a minerais de zircão (Figura 6.2 C).

O nióbio apresentou concentrações de 0,20 a 20,20 ppm e tendo apenas quatro amostras acima do limiar de segunda ordem de 2,0 ppm (Figura 6.2 A). Dentre elas ocorre duas amostras sendo uma com 14,1 ppm e outra com 20,20 ppm sendo os principais teores encontrados, e assim como as anomalias de háfnio estão localizadas próximo à costa (Figura 6.2 C). Normalmente o nióbio pode estar relacionado à sedimentação vinda do continente produto da erosão e transporte do material de rochas alcalinas e pegmatitos.

Os valores para o rubídio variaram de 0,70 a 8,20 ppm e sua distribuição tem um formato lognormal com assimetria positiva (Figura 6.2 A). O boxplot apresenta duas amostras acima do limiar de 6,80 ppm sendo uma com 7,5 ppm a uma distância de 5,7 Km da costa em frente ao cabo de Santo Agostinho e a outra com 8,20 ppm a 2,7 Km da costa na região de Recife (Figura 6.2 C). O rubídio é encontrado nos argilominerais junto com o potássio como subprodutos da decomposição de feldspatos potássicos.

O estrôncio possui uma distribuição normal com valores variando de 120,90 até 6.918,90 ppm e um valor médio de 2.510,98 ppm que representa bem a população amostrada (Figura 6.2 A). Baseado no limiar de segunda ordem de 4.132,75 ppm, ocorrem três amostras que se destacam com altos teores de estrôncio. As concentrações apresentam uma distribuição com valores menores próximo à costa aumentando os teores em direção ao oceano (Figura 6.2 C). O estrôncio em geral está relacionado a sulfatos e carbonatos e pode estar associado aos carbonatos substituindo o cálcio podendo estar presente na fase aragonita, que é um constituinte dos esqueletos calcários de conchas, e/ou na forma mais incomum de carbonato de estrôncio.

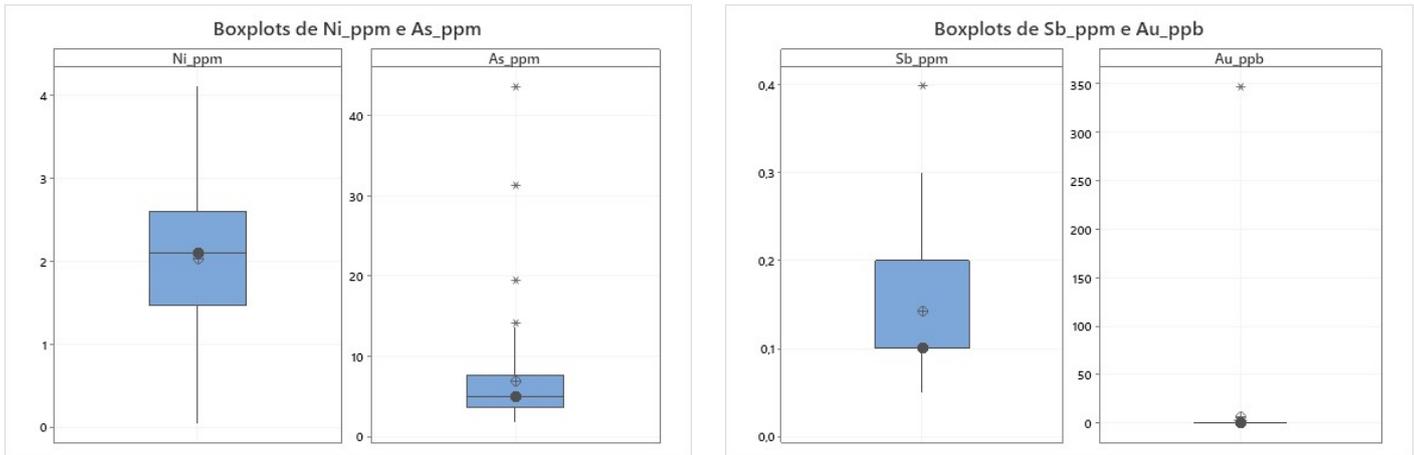
O tório apresentou uma distribuição lognormal com assimetria positiva variando desde 0,20 a 6,00 ppm (Figura 6.2 A). Destaca-se apenas quatro amostras acima do limiar de 2,10 ppm, sendo o maior valor encontrado a 700 metros da costa e as outras amostras predominantemente na porção proximal da região centro-sul da área (Figura 6.2 C), estando muito provavelmente associado a deposição advinda do continente de monazitas e zircão ao longo da costa.

Para o urânio os teores encontrados atingiram valores desde 0,70 até 2,70 ppm e um valor médio de 1,52 ppm com uma boa parte dos valores distribuídos em patamares no diagrama normal QQ-plot (Figura 6.2 A). Acima do limiar de 2,30 ppm ocorre duas amostras com valores de 2,40 ppm e 2,70 ppm respectivamente. O urânio em geral é comum na rede cristalina dos zircões como elemento traço e é encontrado na água do mar em valores de 3µg/l.

O vanádio é encontrado em teores de 2,50 ppm a 31,00 ppm (Figura 6.2 A) e apresenta apenas uma amostra acima do limiar de 21,50 ppm localizada próximo à região de Ipojuca com teor de 31,00 ppm (Figura 6.2 D). Foi observado que várias amostras se concentraram abaixo do limite de detecção do método analítico. O vanádio tem um comportamento geoquímico similar ao do elemento ferro e em geral ocorre nas fases minerais substituindo o ferro sendo bem comum na fase magnetita.

O zircônio apresentou valores variando de 1,30 ppm a 483,00 ppm e uma distribuição lognormal com assimetria à direita; o boxplot revela que há três amostras acima do limiar de segunda ordem de 45,10 ppm (Figura 6.2 A).

Figura 6.2 B: Boxplots para os elementos menores e traços com teores em ppm/ppb.



Os elementos terras raras leves e médios foram agrupados como ETRL neste estudo devido possuírem um comportamento geoquímico muito similar. A soma dos ETRL nas amostras obteve valores variando de 3,81 até 41,86 ppm e valor médio encontrado de 12,75 ppm (Figura 6.2 A). Apresentou uma distribuição lognormal com assimetria positiva e ocorre apenas uma amostra acima do limiar de 28,91 ppm em frente ao cabo de Santo Agostinho a 700 metros da costa provavelmente relacionado a deposição de minerais pesados de monazita ao longo da costa (Figura 6.2 D).

Os elementos terras raras pesados agrupados como ETRP apresenta valores variando de 1,53 a 7,70 ppm e valor médio representativo de 3,72 ppm (Figura 6.2 A). Os ETRP têm um comportamento similar aos ETRL e sua amostra com o maior teor corresponde à mesma citada nos ETRL. Foi observado que os menores valores encontrados nos ETRP estão localizados nas porções mais distais da área (Figura 6.2 D).

O molibdênio mostra uma distribuição de teores bastante irregular em patamares no diagrama normal QQ-plot com valores mínimos e máximos de 0,10 a 1,60 ppm respectivamente (Figura 6.2 A). Acima do limiar de segunda ordem de 0,70 ppm ocorre duas amostras com valores de 1,2 ppm e 1,6 ppm localizadas na porção distal do cabo de Santo Agostinho (Figura 6.2 D).

O elemento cobre ocorreu com teores entre 0,20 e 6,90 ppm e possui uma distribuição lognormal com assimetria à direita (Figura 6.2 A). Os valores extremos encontrados de 6,50 e 6,90 ppm ocorrem na região proximal nas imediações do cabo de Santo Agostinho (Figura 6.2 D).

O chumbo apresentou teores variando de 0,60 a 3,30 ppm e valor médio representativo de 1,26 ppm com base no coeficiente de variação baixo (Figura 6.2 A). Possui duas amostras acima do limiar de segunda ordem de 2,25 ppm tendo o maior valor localizado próximo a Recife e outro nas imediações e Ipojuca, podendo estar associado à contaminação urbana por dejetos destas cidades no mar (Figura 6.2 D). Os menores teores estão distribuídos na porção distal da costa com predominância na porção sul da área.

O zinco variou desde 0,50 até o valor máximo de 139,00 ppm com uma alta dispersão dos valores (Figura 6.2 A). Possui uma distribuição lognormal assimétrica positiva não ultrapassando o valor de 45 ppm, contudo há um valor extremo encontrado de 139,00 ppm que se encontra a 7 Km frente à praia de Boa Viagem em Recife (Figura 6.2 D).

O níquel apresentou teores variando de 0,05 a 4,10 ppm com valor médio de 2,03 ppm e possui uma distribuição próxima da normalidade (Figura 6.2 B). O maior teor de 4,10 ppm ocorre próximo à costa nas adjacências da desembocadura do Rio Jaboatão (Figura 6.2 C).

O elemento arsênio variou entre 1,80 a 43,6 ppm e uma distribuição lognormal com assimetria positiva demonstrando quatro amostras acima do limiar de segunda ordem de 13,45 ppm (Figura 6.2 B). Todas as amostras estiveram localizadas na região proximal da desembocadura do Rio Ipojuca ao sul da área em estudo indicando uma provável contaminação pela ação antrópica (Figura 6.2 D).

O antimônio com teores de 0,05 ppm a 0,40 ppm apresenta uma distribuição em patamares no diagrama normal QQ-plot (Figura 6.2 B) e, portanto, será retirado da análise multivariada. O valor extremo de 0,40 ppm se localiza na foz do Rio Ipojuca (Figura 6.2 C).

Os elementos Co, Cs, Sn, W, Cd, Au, Hg e Se não foram descritos devido apresentarem grande maioria das amostras com valores abaixo do limite de detecção do método analítico. Destaca-se apenas uma amostra para o Au que revelou uma anomalia de 347,40 ppm (Figura 6.2 B) a uma distância de 12,5 Km da costa da praia de Jaboatão dos Guararapes, porção central-distal da área em estudo (Figura 6.2 C).

Figura 6.2 C: Distribuição de elementos menores e traços.

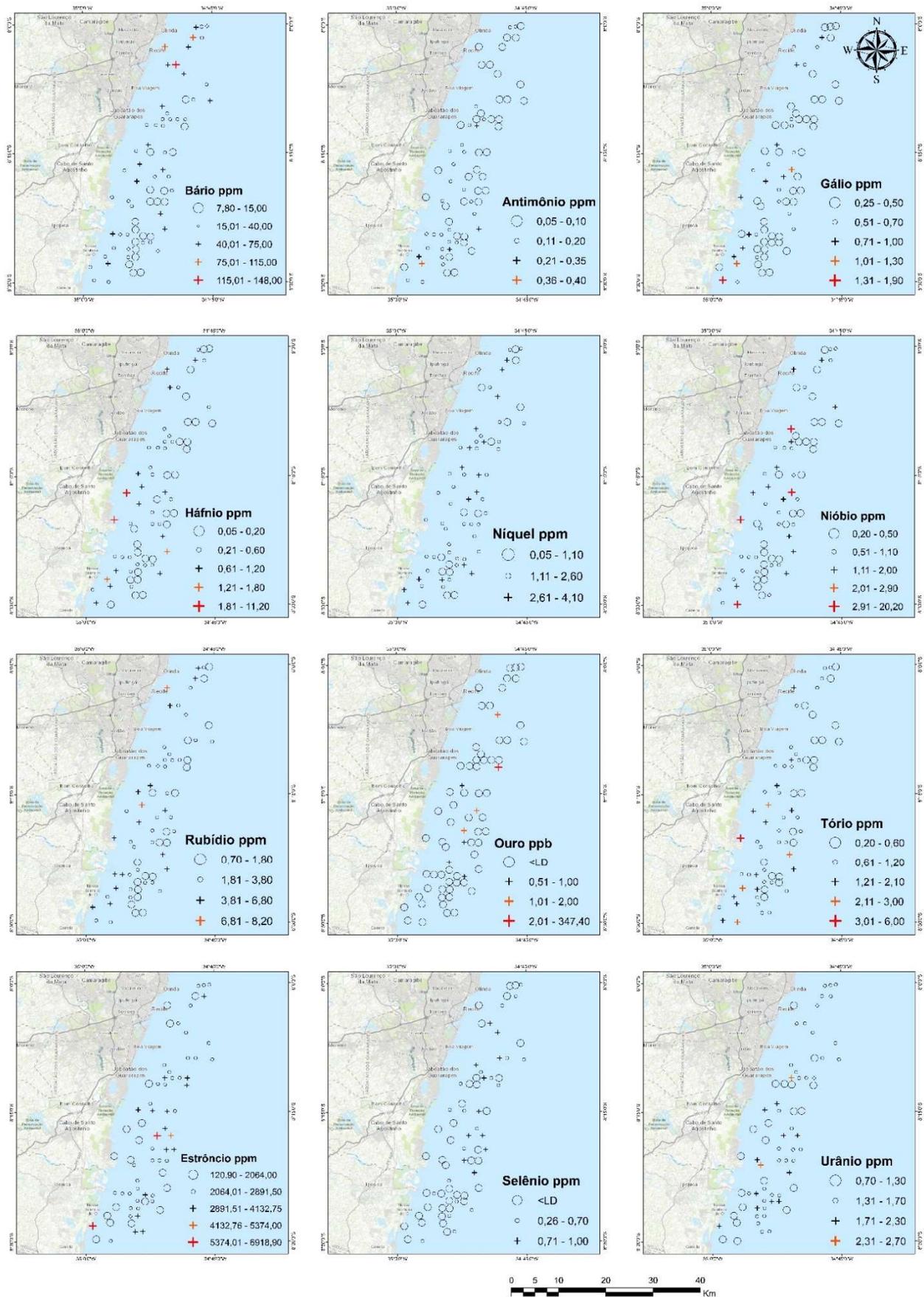
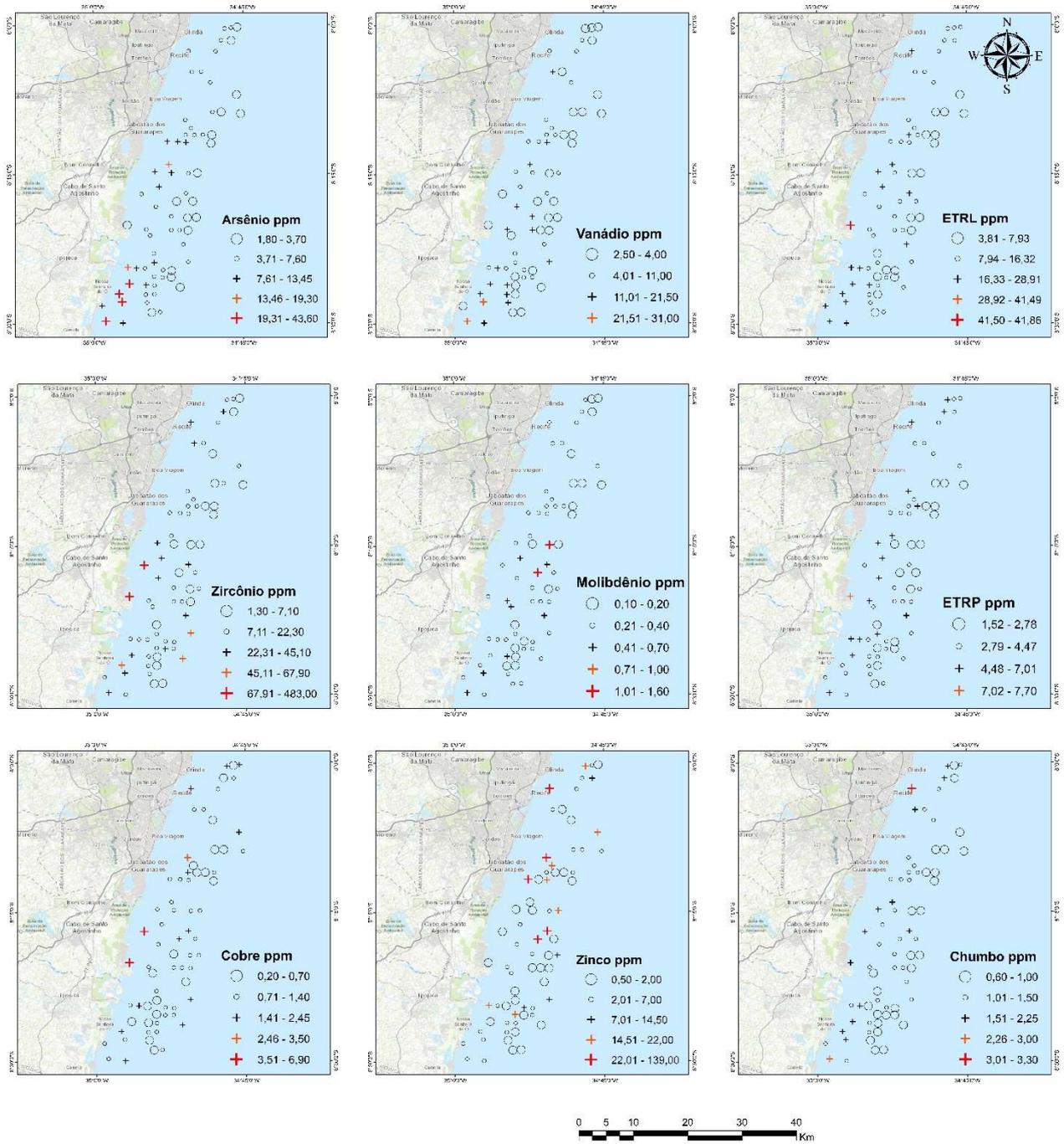


Figura 6.2 D: Distribuição de elementos menores e traços.



6.3. Bioclastos

As províncias sedimentares na plataforma continental do nordeste do Brasil compõem uma porção significativa de natureza carbonática onde dominam os bioclastos. Figueredo et al., (2011) relatam que em uma plataforma aberta e estável, como a que ocorre na área de estudo, se apresenta quase que completamente coberta por carbonato de cálcio biogênico oriundos da bioconstrução e precipitação química. Vale ressaltar que, segundo Poggio et al., (2009), os bioclastos produzidos *in situ* pode fornecer informações sobre a participação de cada grupo de organismo produtor do sedimento e também da composição dos carbonatos presentes.

As 48 amostras analisadas dos bioclastos presentes na plataforma continental de Pernambuco – Folha Recife e individualizadas em três grupos: Halimeda, Lithothaminiun e Rodolito (Figura 6.3) foram quantificadas com relação aos teores de elementos menores e traços (Tabela 6.3).

Tabela 6.3 – Sumário estatístico dos elementos maiores, menores e traços nos bioclastos.

%	Amostras	N° válidos	Mínimo	Máximo	Média arit.	Mediana	1° Quartil	3° Quartil	Q3+(Q3-Q1)*1,5 Limiar de 2° Ordem	Q3+(Q3-Q1)*3,0 Limiar de 1° Ordem	Coefficiente de variação
SiO ₂	48	48	0,59	14,37	2,96	2,09	1,31	3,43	6,60	9,77	90,30
Al ₂ O ₃	48	48	0,09	0,87	0,41	0,36	0,26	0,52	0,90	1,28	50,48
Fe ₂ O ₃	48	48	0,07	1,01	0,32	0,29	0,18	0,37	0,64	0,92	60,34
CaO	48	48	39,76	48,95	43,83	43,71	43,17	44,63	46,83	49,03	3,67
MgO	48	48	0,47	7,14	5,56	5,77	5,38	6,10	7,18	8,26	20,85
Na ₂ O	48	48	0,52	2,45	0,90	0,87	0,69	1,01	1,49	1,97	33,40
K ₂ O	48	48	0,05	0,15	0,09	0,09	0,07	0,10	0,15	0,19	30,59
MnO	48	4	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	43,49
TiO ₂	48	43	0,01	0,15	0,03	0,02	0,01	0,03	0,06	0,09	94,40
P ₂ O ₅	48	48	0,04	0,12	0,08	0,07	0,06	0,09	0,14	0,18	26,91
LOI	48	48	39,4	47,7	45,43	45,8	44,95	46,4	48,58	50,75	3,41
TOT C	48	48	10,03	12,54	11,71	11,76	11,53	12,07	12,88	13,69	4,14
TOT S	48	48	0,15	0,32	0,25	0,25	0,23	0,275	0,34	0,41	13,68
ppm	Amostras	N° válidos	Mínimo	Máximo	Média arit.	Mediana	1° Quartil	3° Quartil	Q3+(Q3-Q1)*1,5 Limiar de 2° Ordem	Q3+(Q3-Q1)*3,0 Limiar de 1° Ordem	Coefficiente de variação
Ba	48	48	7	35	15,13	12,1	10,5	19,2	32,25	45,30	43,27
Be	48	3	0,5	1	0,53	0,5	0,5	0,5	0,50	0,50	23,02
Co	48	15	0,10	0,25	0,15	0,1	0,1	0,25	0,48	0,70	47,84
Cs	48	26	0,05	0,2	0,10	0,1	0,05	0,1	0,18	0,25	57,79
Ga	48	14	0,25	1,3	0,42	0,25	0,25	0,55	1,00	1,45	69,91
Hf	48	45	0,05	6,6	0,90	0,3	0,2	0,7	1,45	2,20	167,48
Nb	48	48	0,1	12,8	0,98	0,5	0,4	0,9	1,65	2,40	188,47
Rb	48	48	0,6	4,3	1,98	1,7	1,35	2,45	4,10	5,75	47,19
Sn	48	1	0,5	1	0,51	0,5	0,5	0,5	0,50	0,50	14,14
Sr	48	48	1995,6	8247	3004,45	2805,7	2562,65	3103,35	3914,40	4725,45	33,22
Ta	48	11	0,05	1,7	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	232,07
Th	48	47	0,1	6,6	1,05	0,6	0,45	1,15	2,20	3,25	115,62
U	48	48	0,7	22,3	1,856	1,4	1,2	1,6	2,20	2,80	163,66
V	48	22	2,5	24	8,18	6	4	11	21,50	32,00	66,98
W	48	4	0,05	1,9	0,28	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	98,99
Zr	48	48	1,3	254,4	33,24	12,85	5,95	26,55	57,45	88,35	172,50
ETRL	48	48	2,14	59,54	12,38	8,285	6,47	15,29	28,51	41,73	89,61
ETRP	48	48	0,49	9,28	3,09	2,31	2,03	4,08	7,14	10,21	63,49
Mo	48	44	0,05	0,9	0,18	0,15	0,1	0,2	0,35	0,50	81,33
Cu	48	45	0,05	2,3	0,76	0,6	0,35	1,1	2,23	3,35	68,02
Pb	48	48	0,4	2,3	1,19	1,1	0,85	1,4	2,23	3,05	40,39
Se	48	15	0,25	0,9	0,38	0,25	0,25	0,55	1,00	1,45	52,83
Zn	48	44	0,5	4	1,98	2	1	2	3,50	5,00	51,05
Ni	48	42	0,05	5	1,55	1,6	0,65	2,5	5,28	8,05	67,22
As	48	48	1,3	27	7,69	7,6	4,45	9,75	17,70	25,65	59,93
Cd	48	3	0,05	0,1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	23,02
Sb	48	24	0,05	0,6	0,11	0,075	0,05	0,1	0,18	0,25	98,59
Au ppb	48	6	0,25	347,4	7,54	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	664,10
Hg	48	3	0,005	0,01	0,005	0,005	0,005	0,005	0,01	0,01	23,02

Dentre os elementos maiores se destacam SiO_2 (0,59 % a 14,37 %), CaO (39,76 % a 48,95 %), MgO (0,47 % a 7,14 %), carbono total (10,03 % a 12,54 %) e enxofre total (0,15 % a 0,32 %) predominando no grupo das Halimedas; Fe_2O_3 (0,07 % a 1,01 %) e P_2O_5 (0,04 % a 0,12 %) predominando nos rodolitos (Tabela 6.3, Figura 6.3 A). Para os elementos menores e traços se destaca com os maiores teores o Sr (1.995,60 ppm a 8.247,00 ppm) predominando no grupo das Halimedas (Tabela 6.3, Figura 6.3 A).

A distribuição espacial desses elementos evidencia uma tendência de concentração desses teores na porção sul da área de estudo (Figuras 6.3 B e 6.3 C).

Figura 6.3 A – Sedimentos carbonáticos com alta qualidade e potencial de aproveitamento na Plataforma Continental de Pernambuco. Presentes nestes sedimentos estão a Halimeda (algas verdes), Lithothamnium (algas coralíneas vermelhas). Exemplos de sedimentos cascalhosos dos setores Itamaracá (a e b), Recife (c e d). Fonte: Serviço Geológico do Brasil – CPRM.

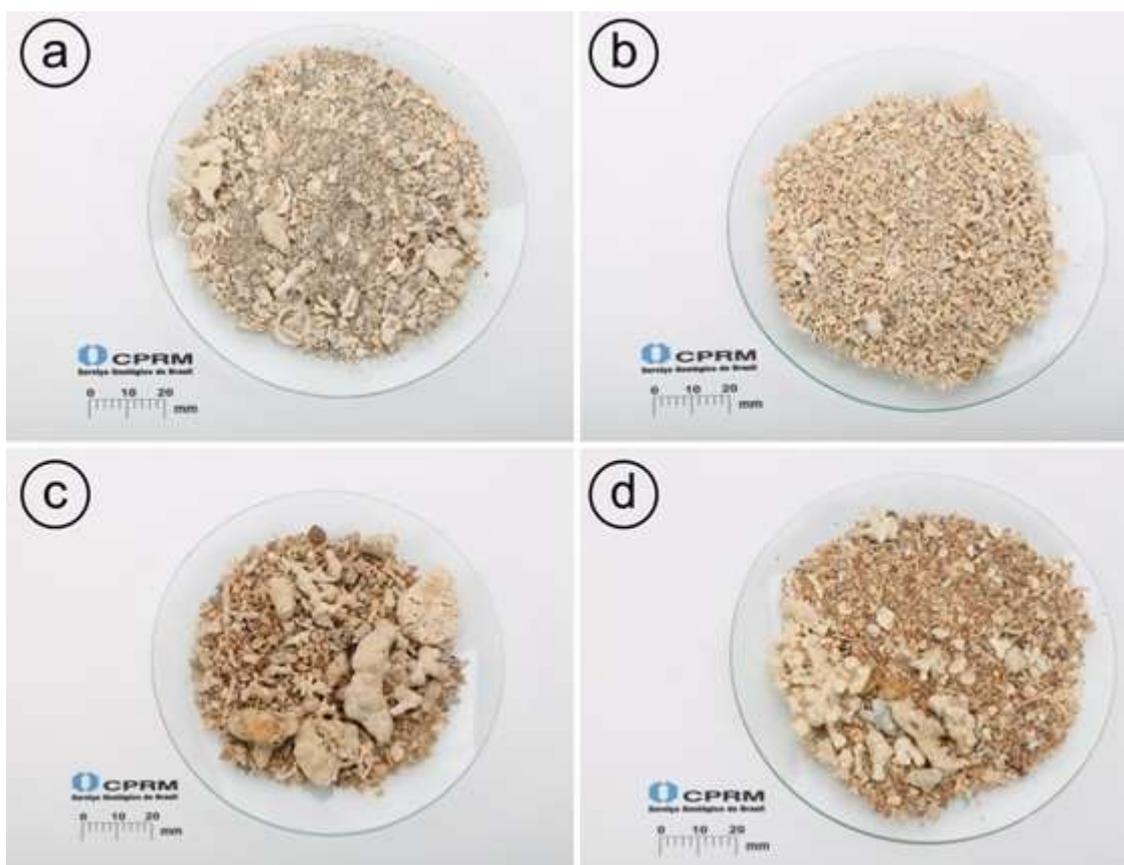


Figura 6.3 B: Boxplots para os elementos maiores, menores e traços nos bioclastos.

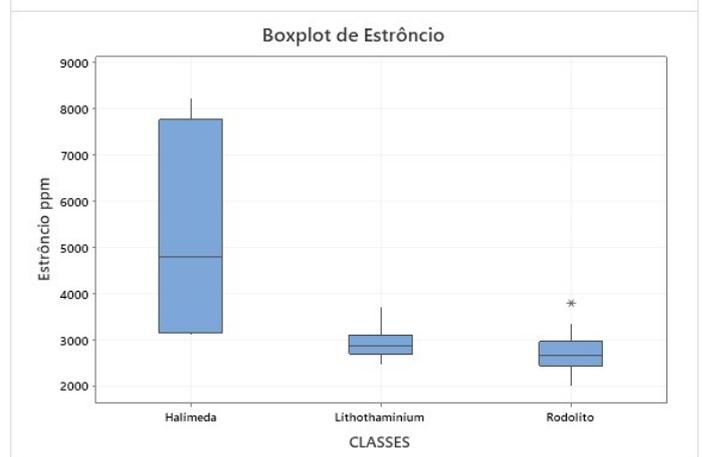
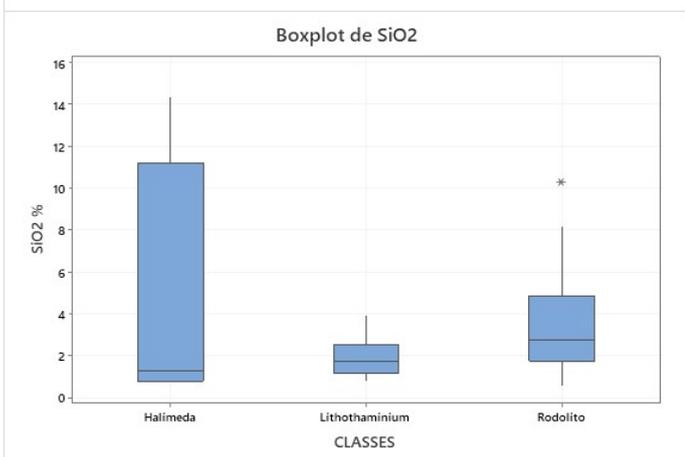
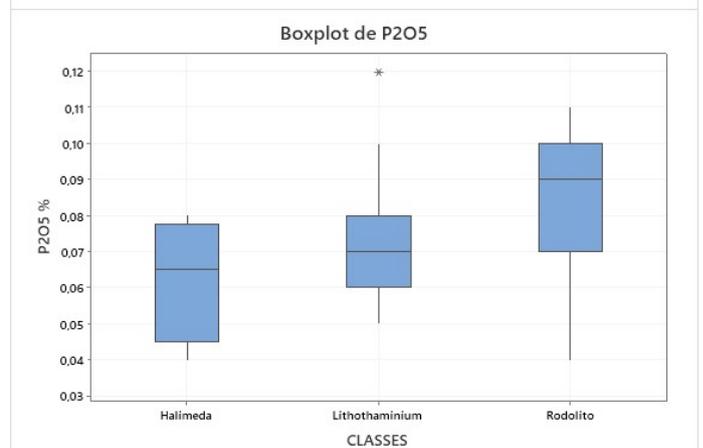
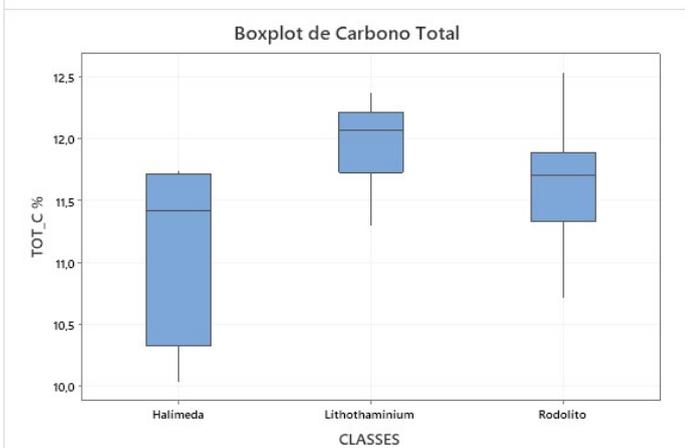
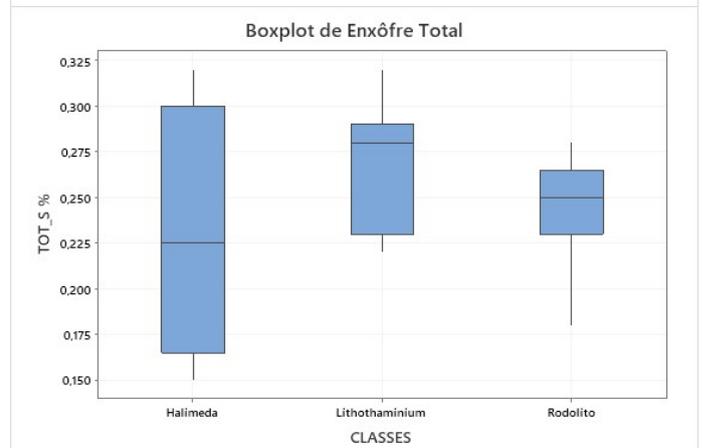
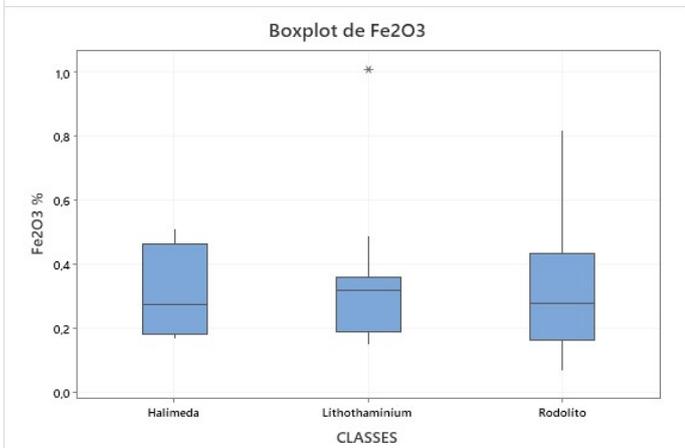
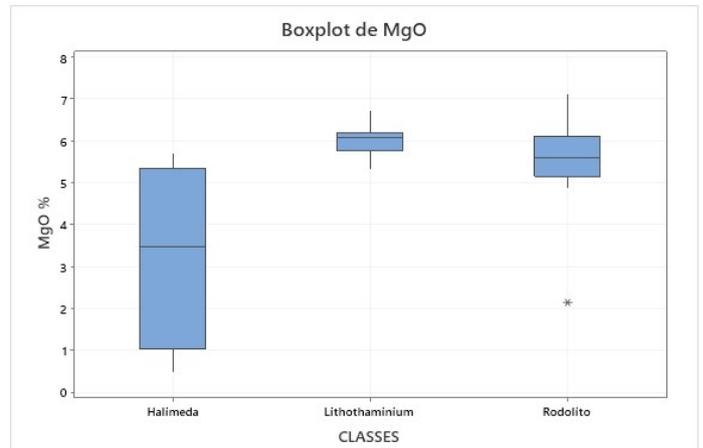
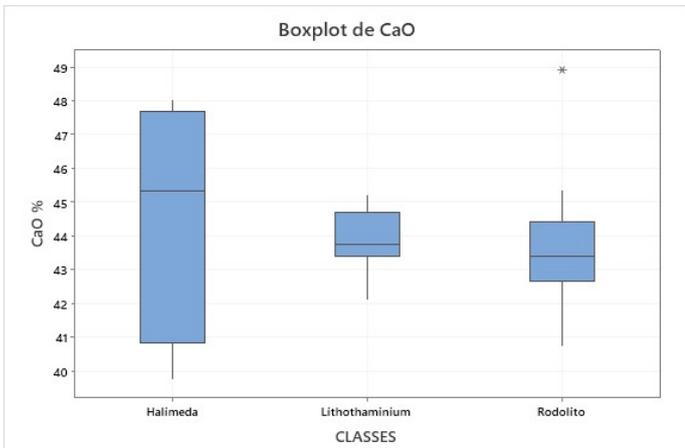


Figura 6.3 C: Distribuição espacial dos elementos maiores, menores e traços nos bioclastos.

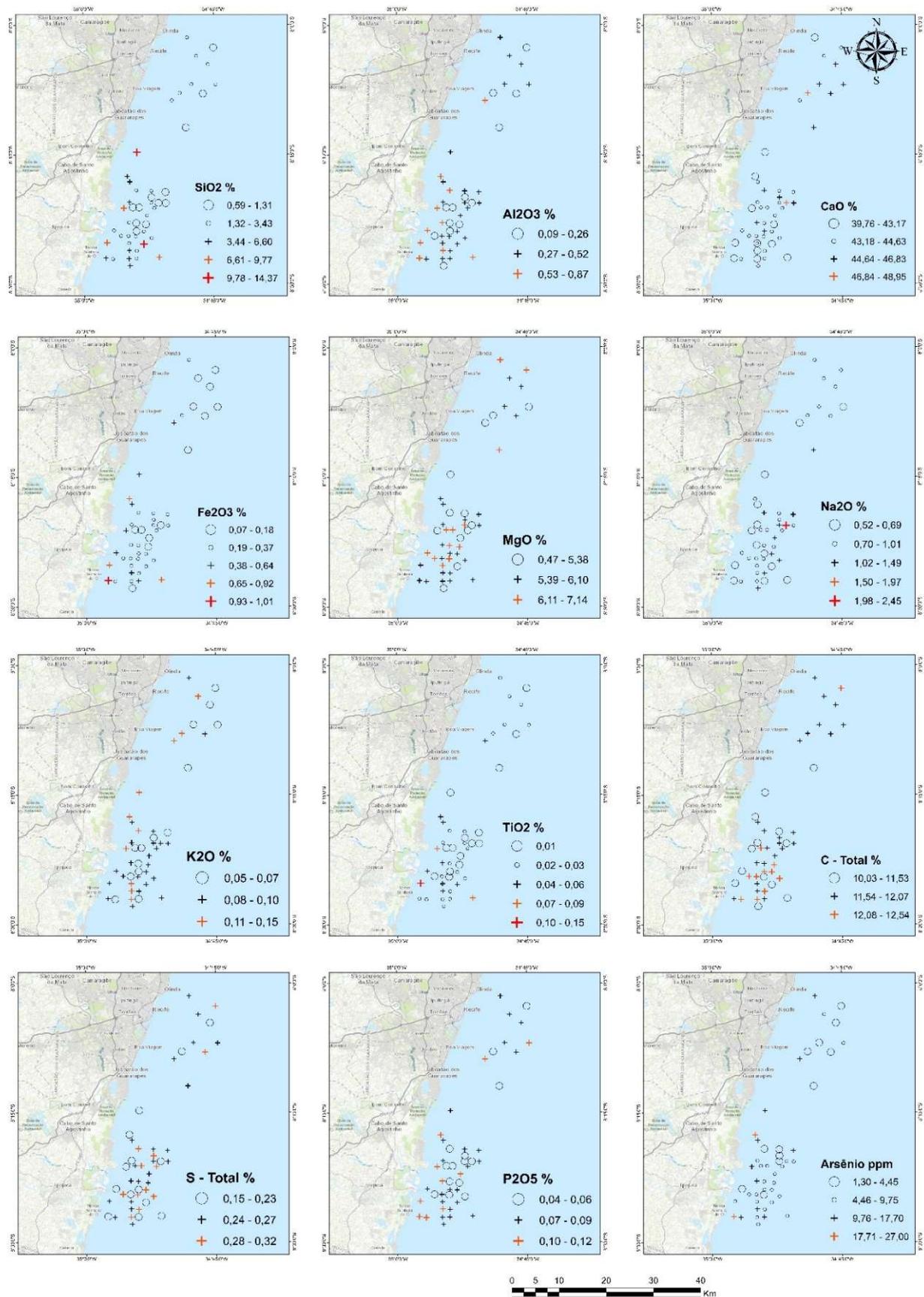
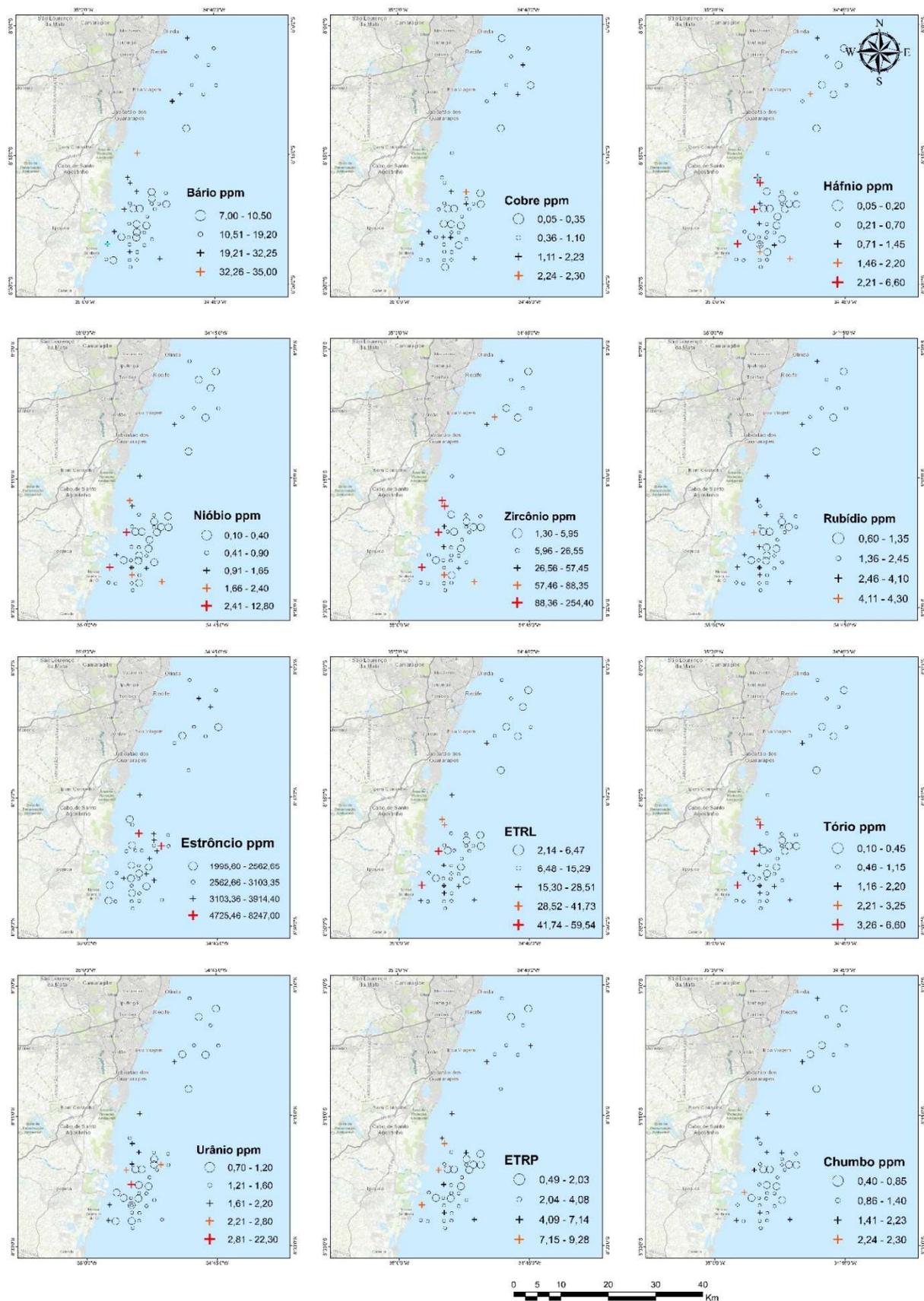


Figura 6.3 D: Distribuição espacial dos elementos maiores, menores e traços nos bioclastos.



6.4. Faciologia

A plataforma continental do Estado de Pernambuco é composta por seis fácies sedimentares: areia, sedimento cascalhoso, cascalho, lama, areia lamosa e lama arenosa (ANEXO 2). A carta de caracterização dos agregados marinhos da plataforma continental rasa do Estado de Pernambuco, produzida pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, descreve que a maior parte da cobertura sedimentar apresenta uma dominância textural de sedimento cascalhoso, principalmente entre as profundidades acima de 30 metros. Em domínios mais rasos (entre 6,5 a 21 metros de profundidade) há o predomínio de cascalho. As frações arenosa e lamosa (lama, areia lamosa e lama arenosa) se concentram em domínios proximais até a profundidade de 21 metros.

Esse predomínio das frações mais grosseiras nos sedimentos da plataforma continental de Pernambuco é reflexo do predomínio de sedimentos carbonáticos orgânicos amplamente distribuídos nessa plataforma continental, como as algas calcárias presentes nesse meio marinho.

7. DISCUSSÃO

7.1. Elementos maiores

Com base na concentração dos teores e na distribuição espacial dos elementos maiores ao longo da plataforma continental, foi evidenciada uma maior contribuição do aporte de sedimentos carbonáticos na área de estudo. Esse fato foi constatado analisando os teores de CaO e MgO com tendência desses elementos se concentrarem na porção centro norte e distal da área da plataforma de estudo. É bastante característico do ambiente plataformal o predomínio da sedimentação carbonática, principalmente em domínios distais pela presença significativa das atividades biológicas que propiciam a formação desses depósitos biogênicos, como as algas calcárias encontradas na área de estudo: halimedas, lithotaminiun e rodolitos. Esse fato foi confirmado pelas correlações positivas do CaO com MgO, Lol, TOT_C e TOT_S (Tabela 7.1) que são típicos da associação geoquímica dos depósitos carbonáticos que caracterizam os processos biogênicos dominantes nesses depósitos. Caracterizam também as associações geoquímicas dos depósitos carbonáticos as correlações positivas entre MgO e CaO, Lol, TOT_C e TOT_S; Na₂O e Lol, TOT_C e TOT_S; Lol com CaO, MgO, Na₂O TOT_C e TOT_S.

A sedimentação siliciclástica se distribuiu mais nas porções proximais ao centro-sul pelos teores de SiO₂ e ao sul pelos teores Fe₂O₃. Esse aporte sedimentar revela o padrão de sedimentação que ocorre em plataformas continentais, com predomínio de frações siliciclásticas em áreas mais rasas. Foram evidenciadas correlações positivas do SiO₂ com Fe₂O₃ apenas e correlações negativas do SiO₂ com CaO, MgO, Na₂O, Lol, TOT_C e TOT_S (Tabela 7.1). Essas associações geoquímicas denotam a incompatibilidade desses depósitos com os elementos do padrão da sedimentação carbonática e a afinidade com óxidos e hidróxidos de ferro de um possível aporte continental de sedimentos terrígenos. Ferro é considerado um elemento de suporte de influência do aporte continental e a associação entre SiO₂ e Fe₂O₃ corresponde a sedimentação terrígena de proveniência continental. Al₂O₃ como indicativo de argilominerais de correlaciona positivamente com Fe₂O₃, K₂O e TiO₂, pode haver uma possível influência do intemperismo de feldspatos potássicos; Fe₂O₃ se correlacionou com SiO₂, Al₂O₃ e TiO₂, podendo ser indicativo de associações com argilominerais e presença de ilmenitas nesses sedimentos terrígenos (Tabela 7.1).

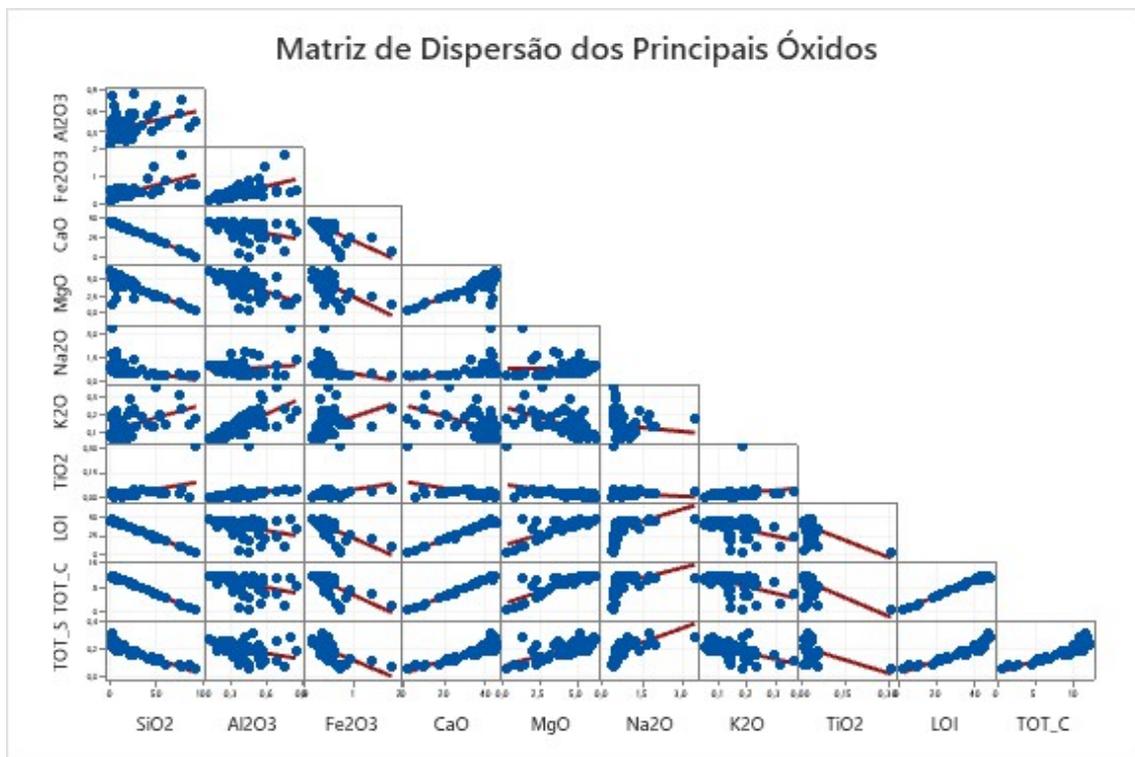
Neste trabalho foi utilizado o valor de spearman $>0,6$ e $<-0,6$ para correlações significativas positivas e negativas respectivamente.

Tabela 7.1: Matriz de correlação de Spearman dos óxidos analisados nos sedimentos.

Correlações											
%	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	LOI	TOT_C
Al2O3	0,481										
Fe2O3	0,733	0,74									
CaO	-0,96	-0,534	-0,738								
MgO	-0,78	-0,625	-0,705	0,779							
Na2O	-0,71	-0,286	-0,514	0,598	0,349						
K2O	0,537	0,849	0,561	-0,56	-0,62	-0,382					
TiO2	0,558	0,731	0,662	-0,64	-0,65	-0,168	0,583				
P2O5	0,074	0,119	0,219	-0,02	0,101	-0,134	-0,07	0,094			
LOI	-0,99	-0,448	-0,723	0,917	0,719	0,776	-0,51	-0,5	-0,088		
TOT_C	-0,96	-0,565	-0,76	0,953	0,869	0,604	-0,58	-0,65	-0,013	0,93	
TOT_S	-0,89	-0,489	-0,713	0,796	0,651	0,826	-0,54	-0,45	-0,132	0,92	0,833

Avaliando os dados na matriz de dispersão (Figura 7.1) é importante observar que os elementos que apresentam uma significativa correlação positiva e outros com significativa correlação negativa, coincide e corrobora com a análise executada pela matriz de correlação de Spearman, validando a confiabilidade dos dados.

Figura 7.1: Matriz de dispersão dos óxidos analisados nos sedimentos.



7.2. Elementos menores e traço

A distribuição espacial e concentração dos teores dos elementos menores e traço na área da plataforma de estudo evidenciou que mostraram predomínio dos elementos Sr, Ba, Zr e ETRL.

Os elevados teores de Sr (até 6.918,90 ppm) pode ser explicado pela presença de aragonita em depósitos carbonáticos, considerando que nas correlações estatísticas este elemento não obteve correlação com nenhum dos elementos menores ou traço que são indicativos de sedimentos siliciclásticos (Tabela 7.2 A). A distribuição espacial do Sr com tendência a se concentrar na porção centro-sul da área de estudo e em maiores profundidades, pode ser explicada pelo provável aporte desse elemento oriundo da ocorrência dos bancos de algas presentes na plataforma de estudo. Considerando que depósitos carbonáticos são fontes de estrôncio, Marques (2008), encontrou teores de Sr de até 6.400 ppm em fácies carbonática da plataforma continental do nordeste oriental do Brasil, atribuindo ainda esses altos teores às porções mais distais da plataforma e pela presença de aragonitas. Mantovanelli (2013) relata que o CaCO₃ de origem marinha contém quantidade significativa de Sr no sedimento, além deste

elemento substituir o cálcio em minerais cálcicos como: plagioclásio, apatita, e carbonato de cálcio, principalmente aragonita.

Os teores de Ba (até 148,00 ppm) mostraram correlações positivas com Hf, Rb, Th, Zr e ETRL. Esta associação faz parte da porção mais siliciclástica da plataforma desde as frações mais finas com os argilominerais podendo conter Ba associado a sulfatos e Rb, até os minerais pesados como zircão e monazita com os ETRL, Th, Zr e Hf. Os elementos háfnio e zircônio tem correlação positiva com o Th, ETRL, Rb, Nb, ETRP, Pb e Ba e correlação inversa com o Sr. Essas relações provavelmente reforçam a natureza siliciclástica dessas associações produzidas pelo intemperismo físico e químico das rochas provenientes do continente sendo a presença do chumbo podendo estar associada a contaminação antrópica. Aguiar et al., (2007) constatou que Ba está fortemente influenciado por deposições carbonáticas nos sedimentos da plataforma continental do Ceará, nordeste brasileiro, além de sugerir que este elemento esteja adsorvido em argilas e sedimentos enriquecidos em Fe e Mn em fundo oceânico. Deve-se ainda considerar que Ba está presente em efluentes da produção petrolífera em mar aberto (Neff, 2002).

Os teores de Zr (até 483,00 ppm) apresentaram correlações positivas com ETRL, ETRP e Pb. Se comporta de forma geralmente insolúvel em ambientes aquáticos, Kabatapendias (2001) explica que o Zr tem baixa a muito baixa mobilidade tanto em ambientes oxidantes como em ambientes redutores, sejam eles ácidos, neutros ou alcalinos. Dessa forma, trata-se de um elemento em essência associado aos sedimentos além de estar associado à presença do elemento háfnio em minerais pesados de zircão nos depósitos proximais da costa.

Tabela 7.2 A: Matriz de correlação de Spearman dos elementos menores e traços analisados nos sedimentos.

Correlações																			
	Ba	Ga	Hf	Nb	Rb	Sr	Th	U	V	Zr	ETRL	ETRP	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Sb
Ga	0,53																		
Hf	0,604	0,537																	
Nb	0,565	0,541	0,66																
Rb	0,862	0,62	0,696	0,646															
Sr	-0,48	-0,42	-0,63	-0,34	-0,48														
Th	0,63	0,622	0,74	0,718	0,757	-0,59													
U	0,016	-0,18	-0,12	0,018	0,032	0,382	-0,04												
V	0,296	0,467	0,431	0,23	0,398	-0,45	0,501	-0,08											
Zr	0,617	0,541	0,959	0,66	0,726	-0,67	0,787	-0,09	0,462										
ETRL	0,648	0,593	0,71	0,723	0,778	-0,51	0,926	0,029	0,529	0,75									
ETRP	0,568	0,462	0,638	0,555	0,702	-0,66	0,798	-0,01	0,554	0,71	0,862								
Mo	0,362	0,535	0,504	0,541	0,593	-0,26	0,602	0,108	0,441	0,52	0,576	0,484							
Cu	0,31	0,337	0,278	0,478	0,326	-0,08	0,337	-0,13	0,041	0,24	0,303	0,22	0,157						
Pb	0,579	0,608	0,627	0,479	0,719	-0,42	0,7	-0,06	0,549	0,62	0,798	0,737	0,484	0,32					
Zn	0,26	0,125	0,065	0,152	0,209	0,044	0,058	0,046	0,082	0,06	0,064	0,01	0,054	0,3	0,101				
Ni	0,214	0,183	0,349	0,184	0,331	-0,13	0,182	-0,01	0,131	0,3	0,225	0,24	0,213	0,31	0,408	-0,06			
As	0,34	0,306	0,419	0,314	0,464	-0,4	0,598	-0,15	0,692	0,44	0,684	0,658	0,393	0,02	0,673	0,083	0,08		
Sb	0,129	0,191	0,339	0,194	0,236	-0,58	0,492	-0,13	0,64	0,39	0,476	0,616	0,26	0,01	0,373	-0,02	0,03	0,676	
Se	-0,06	-0,21	-0,21	-0,09	-0,12	0,347	-0,23	0,11	-0,2	-0,27	-0,24	-0,304	-0,08	0	-0,096	-0,12	0,23	-0,25	-0,38

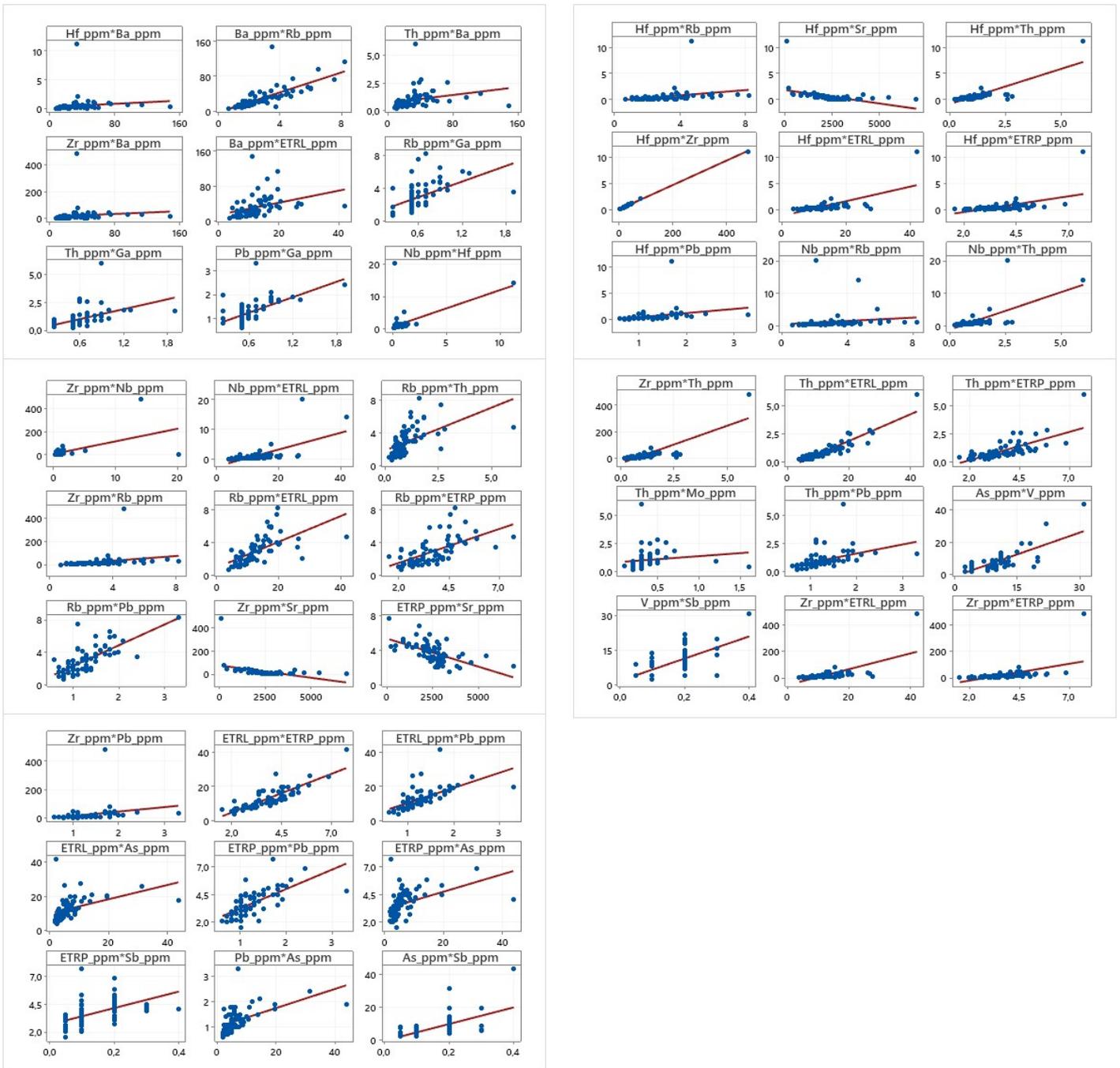
O Ga mostrou correlação positiva com Rb, Th e Pb e em geral o gálio ocorre como traços em minerais aluminosos. O Nb apresentou correlação positiva com ETRL, Th, Hf, Zr e Rb podendo ser indícios da erosão e deposição de frações de rochas pegmatíticas. O Rb se correlaciona positivamente com o Ba, ETRL, Th, Zr, Pb, ETRP, Hf, Nb e Ga. O Th obteve correlação direta com os elementos terras raras leves e pesados, Zr, Rb, Hf, Nb, Pb, Ba, Ga e Mo novamente mostrando uma assinatura de minerais pesados. É notório como essas associações geoquímicas caracterizam os sedimentos proximais e siliciclásticos da área da plataforma continental estudada.

O As possui correlação positiva com o V, ETRL, Sb, Pb e ETRP; essa relação direta do As com o Pb pode ser um indicativo de contaminação antrópica. O Pb se correlaciona diretamente com ETRL, ETRP, Rb, Th, As, Hf, Zr e Ga.

Os elementos terras raras leves apresenta correlação positiva com o Th, ETRP, Pb, Rb, Zr, Nb, Hf, As e Ba. Os elementos terras raras pesados mostra correlação direta com ETRL, Th, Pb, Zr, Rb, As, Hf e Sb e correlação inversa com o estrôncio, aqui é possível mais uma vez verificar a assinatura do estrôncio com teores mais elevados na plataforma distal.

Os elementos U, Ni, Cu, Zn e Se não apresentaram nenhuma correlação significativa com outro elemento químico neste estudo. Visando compreender melhor como as associações geoquímicas se comportam, estes elementos foram retirados da análise fatorial e de agrupamento na análise multivariada.

Figura 7.2 A: Diagramas de dispersão das melhores correlações encontradas valores ($>0,6$) e ($<-0,6$) entre os elementos menores e traços analisados, mostrando como estão correlacionados os elementos químicos encontrados na plataforma continental – Pernambuco, Brasil.



Os elementos Sb, Mo e Ga demonstraram um padrão dos teores distribuídos em vários patamares no diagrama Normal QQ-plot (Figuras 6.2 A e 6.2 B) o que foge muito de uma distribuição normal típica e, portanto, foram retirados da continuidade do tratamento estatístico na análise multivariada.

Pelos dados na matriz de dispersão (Figura 7.2 A) foram observados os elementos que apresentaram uma significativa correlação positiva e outros com significativa correlação negativa, em consonância com a análise executada pela matriz de correlação de Spearman, validando a confiabilidade dos dados.

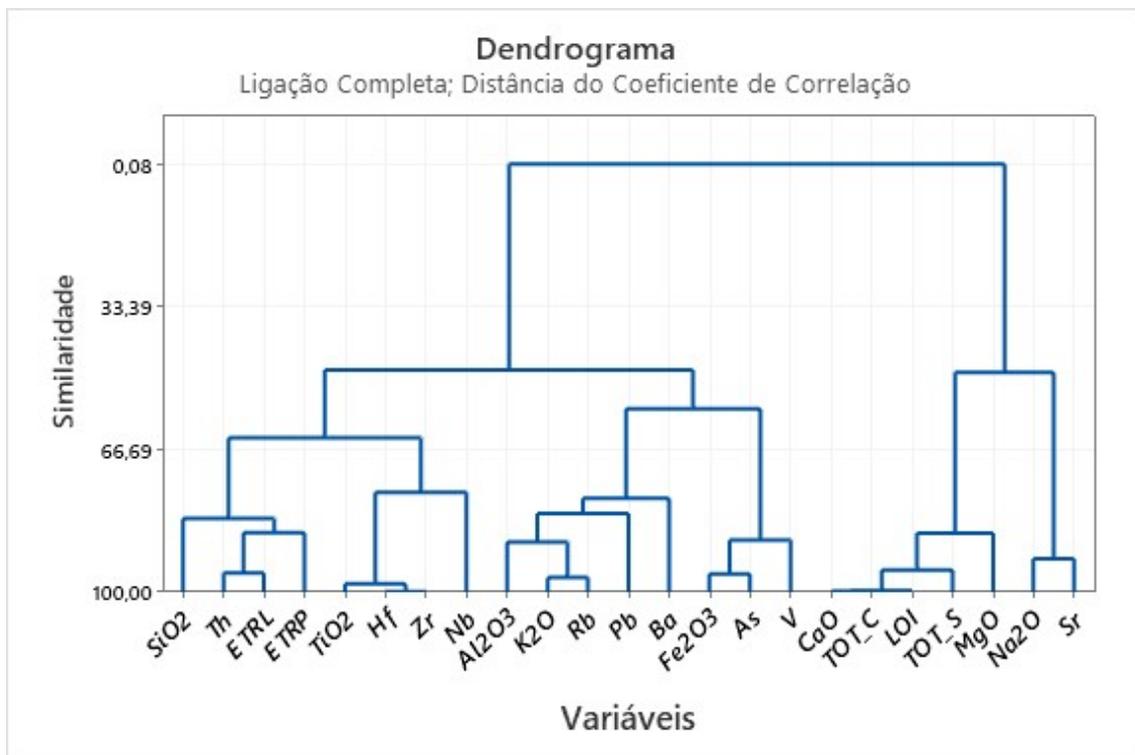
Por meio da análise de agrupamento foram evidenciados os dois tipos de ambientes de sedimentação presentes na plataforma continental do Estado de Pernambuco – Folha Recife: siliciclástico e carbonático (Figura 7.2 B).

O ambiente de sedimentação carbonático é representado pelas associações geoquímicas entre CaO, TOT_C, Lol, TOT_S, MgO, Na₂O e Sr (Figura 7.2 B). Essas associações geoquímicas refletem os processos orgânicos atuantes nos depósitos carbonáticos biogênicos relacionados aos organismos que pertencem a fauna e flora marinha da área de estudo, como as algas calcárias presentes: Halimedas, Rodolitos e Lithotaminiuns.

O ambiente de sedimentação siliciclástico foi representado por dois subgrupos que foi possível discriminá-los pelas associações geoquímicas com elementos terras raras (SiO₂, Th, ETRL, ETRP, TiO₂, Hf, Zr e Nb) e com argilominerais e óxidos/hidróxidos de ferro (Al₂O₃, K₂O, Rb, Pb, Ba, Fe₂O₃, As e V). Essas associações geoquímicas são constatações da heterogeneidade nesse ambiente de sedimentação com possíveis indicativos da proveniência desses sedimentos (Figura 7.2 B).

Considerando o subgrupo dos elementos terras raras, é possível caracterizar esses sedimentos como provenientes do intemperismo de rochas continentais que a partir da desagregação e transporte desses grãos para o ambiente marinho, ocorre a redistribuição em função da estabilidade mineralógica e densidade desses sedimentos. Kamitani (2006) explica que os elementos terras raras são encontrados em minerais das classes dos fosfatos, carbonatos, fluoretos e silicatos, ocorrendo principalmente em pegmatitos, granitos e rochas ígneas e metamórficas.

Figura 7.2 B: Dendrograma dos óxidos, elementos menores e traços analisados nos sedimentos.



Para o subgrupo dos argilominerais e óxidos/hidróxidos de ferro, esses sedimentos foram descritos como provenientes do intemperismo de feldspatos potássicos dando origem ao argilominerais com participação de óxidos de hidróxidos de ferro que, conjuntamente atuam na adsorção dos elementos Rb, Pb, Ba, As e V.

Com base nos dados geoquímicos foi realizada a análise fatorial identificando cinco fatores ao todo que variam em uma escala de -1 a 1, apresentando correlações significativas para os valores de carga acima de 0,7 nas correlações diretas ou positivas e para valores de carga menor que - 0.7 em correlações negativas ou inversas (Tabelas 7.2 B e 7.2 D). Para cada fator foram calculadas suas respectivas variâncias totais e acumuladas (Tabela 7.2 C).

Tabela 7.2 B: Carga de fatores pela análise fatorial dos elementos menores e traços analisados nos sedimentos (< -0.7 e/ou > 0.7 para as melhores correlações).

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5
SiO2	0,28	0,35	0,36	0,31	0,75
Al2O3	0,75	0,19	-0,34	0,43	0,16
Fe2O3	0,21	0,21	0,10	0,83	0,38
CaO	-0,28	-0,36	-0,33	-0,30	-0,76
MgO	-0,38	-0,33	0,14	-0,32	-0,74
Na2O	-0,07	-0,08	-0,95	-0,15	-0,03
K2O	0,92	0,08	0,03	0,07	0,27
TiO2	0,06	0,89	-0,01	-0,02	0,32
P2O5	0,03	-0,11	0,11	0,53	-0,72
LOI	-0,27	-0,35	-0,40	-0,32	-0,73
TOT_C	-0,29	-0,35	-0,30	-0,32	-0,76
TOT_S	-0,40	-0,31	-0,52	-0,38	-0,52
Ba	0,89	0,02	0,26	-0,06	0,03
Hf	0,05	0,85	0,12	-0,08	0,43
Nb	0,04	0,79	0,04	0,05	-0,09
Rb	0,86	0,17	0,15	0,24	0,28
Sr	-0,09	-0,19	-0,84	-0,19	-0,40
Th	0,25	0,82	0,17	0,20	0,34
V	0,14	-0,02	0,20	0,86	0,04
Zr	0,03	0,86	0,12	-0,09	0,41
ETRL	0,40	0,75	0,16	0,39	0,14
ETRP	0,37	0,54	0,43	0,43	0,10
Pb	0,66	0,21	0,12	0,48	0,12
As	0,13	0,00	0,12	0,91	0,17

Tabela 7.2 C: Autovalores e variâncias totais e acumuladas da análise fatorial.

Fatores	Autovalores	Variância Total %	Variância Acumulada %
1	12,45	51,87	51,87
2	3,48	14,51	66,38
3	2,30	9,58	75,96
4	1,85	7,69	83,65
5	1,50	6,23	89,88

O fator 1 explica 51,87 % da variância total dos dados e apresenta forte correlação positiva para a associação geoquímica $K_2O - Ba - Rb - Al_2O_3$, provavelmente seja correspondente a adsorção Ba e Rb nesses sedimentos a partir de argilominerais formados por intemperismo de feldspatos potássicos. Sua distribuição na área plataformal de estudo mostrou que esta associação geoquímica tendeu a se distribuir nas porções proximais, compatível com a predominância de sedimentos siliciclásticos (Figura 7.2 E).

O fator 2 explica 14,51 % da variância total dos dados e mostra forte correlação positiva para a associação geoquímica $TiO_2 - Zr - Hf - Th - Nb - ETRL$, marcada pela possível assinatura de minerais pesados como zircão, ilmenita e elementos terras raras. A distribuição desta assinatura positiva evidenciou que estão mais concentrados nas porções central e sul da área plataformal de estudo (Figura 7.2 E), podendo ser reflexo de ambiente de sedimentação siliciclástico juntamente com o fator 1, explicando grande parte da distribuição geoquímica e variância para esse ambiente.

O fator 3 explica 9,58 % da variância total dos dados e apresenta forte correlação negativa para a associação $Na_2O - Sr$. Esse fator pode ser em parte contemplado nos depósitos carbonáticos localizados na distribuição espacial em domínios distais (Figura 7.2 F) compatíveis com os depósitos carbonáticos biogênicos com presença de aragonitas com Sr na sua estrutura cristalina.

O fator 4 explica 7,69 % da variância total dos dados; apresenta forte correlação positiva para a associação $Fe_2O_3 - V - As$, indicativo de depósitos siliciclásticos com óxidos e hidróxidos de ferro com V e As adsorvidos nesses sedimentos, ocorrendo na porção proximal sul e proximal central (Figura 7.2 F).

O fator 5 explica 6,23 % da variância total dos dados e apresenta correlação positiva para SiO_2 e negativa para a associação $CaO - MgO - P_2O_5 - Lol - TOT_C$, imprimindo uma assinatura geoquímica de depósitos carbonáticos que se concentram na porção distal ao longo da plataforma pernambucana (Figura 7.2 G).

As associações geoquímicas identificadas pela análise fatorial revelaram correlações diretas e inversas que correspondem às características de ambientes de sedimentação carbonático e siliciclástico.

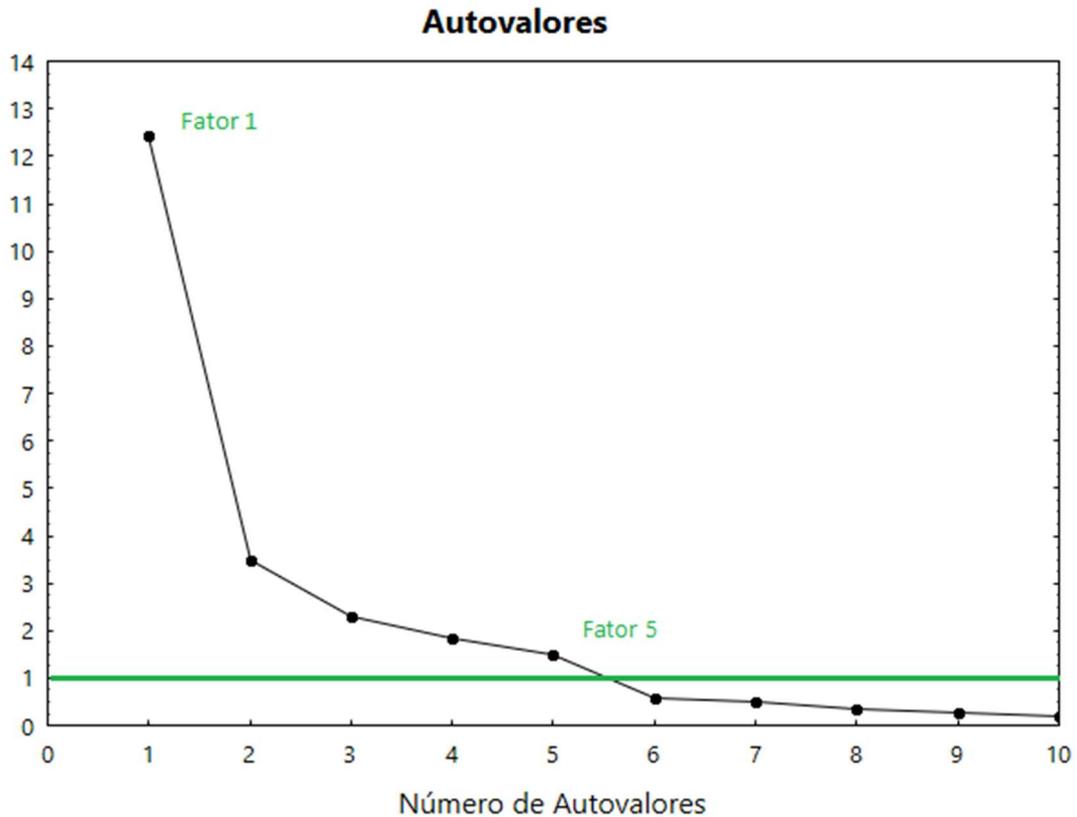


Figura 7.2 C: Autovalores como limite para os fatores relevantes (critério de Kaiser).

É possível individualizar inicialmente pelo menos dois ambientes de sedimentação: carbonático (proveniência marinha) associado ao MgO e Sr, e o siliciclástico com participação de óxidos de Fe, Al e K nas frações argilominerais (ao centro, proveniência continental), siliciclástico com participação de minerais pesados como areias monazíticas (à esquerda, proveniência continental) e zircão. (Figura 7.2 D).

O ambiente carbonático foi representado pelas associações geoquímicas CaO, C-total, LOI, S-total, MgO, Na₂O e Sr. O LOI foi mantido nas correlações como indicativo da quantidade de matéria orgânica e água presentes e sua relação nestes ambientes. No ambiente siliciclástico com óxidos e hidróxidos de Fe, Al e K estão associados ao Rb, Pb, Ba, As e V; e no ambiente siliciclástico associados à presença de areias monazíticas é marcante as associações SiO₂, Th, ETRL, ETRP, TiO₂, Hf, Zr e Nb (Figura 7.2 D).

Figura 7.2 D: Primeiro fator e segundo fator determinando ambientes de sedimentação carbonático e siliciclástico.

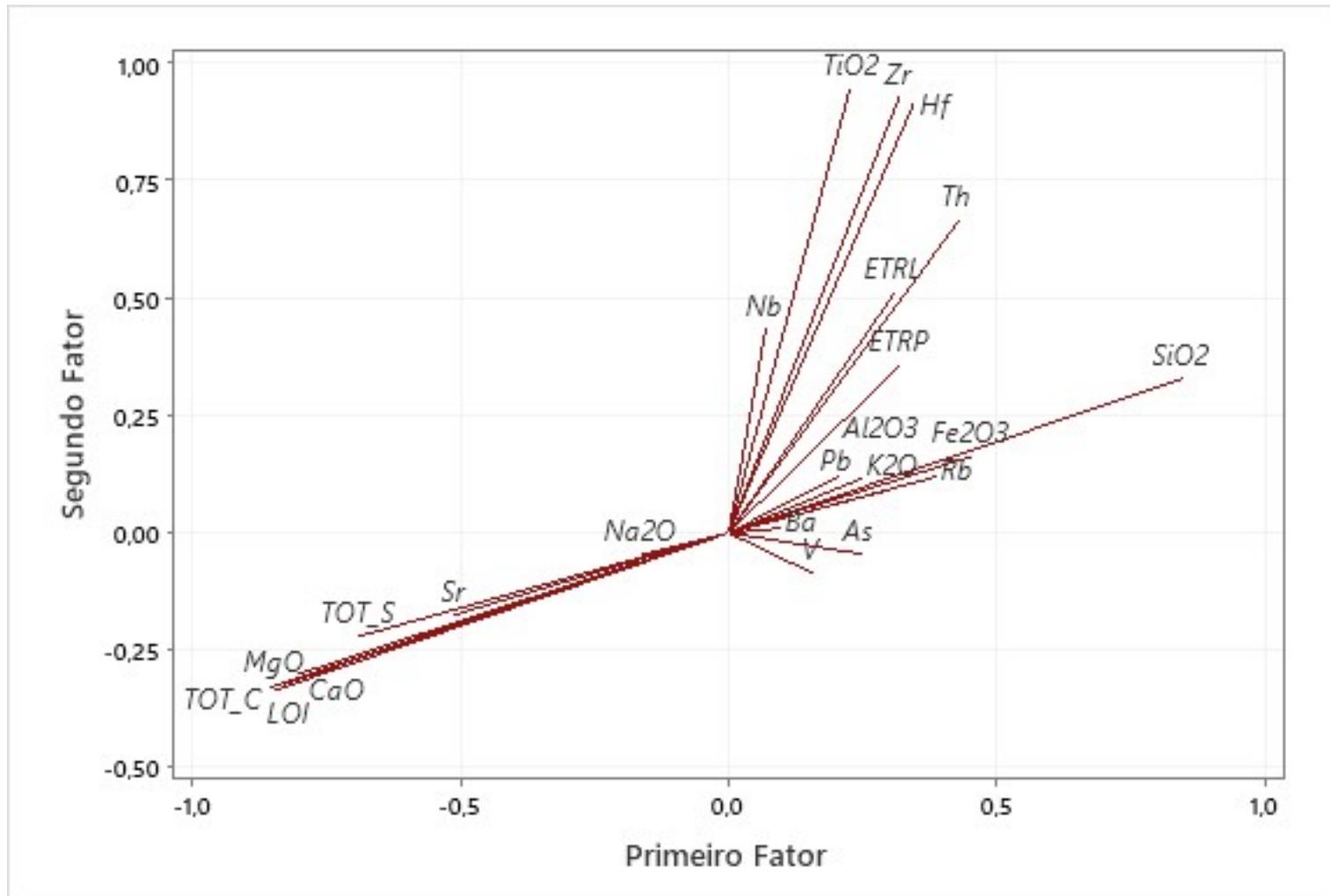


Figura 7.2 E: Mapa de distribuição dos fatores 1 e 2.

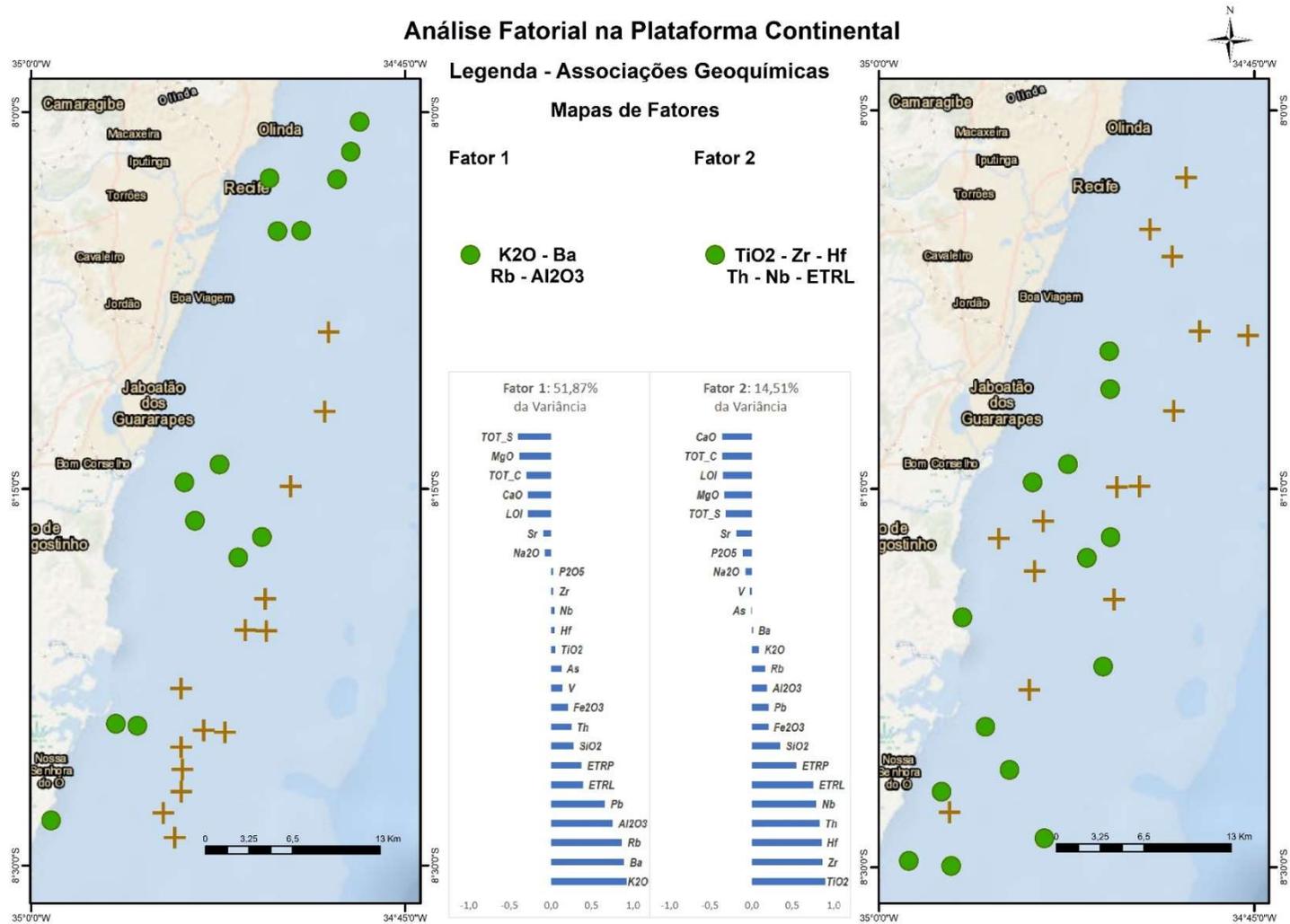
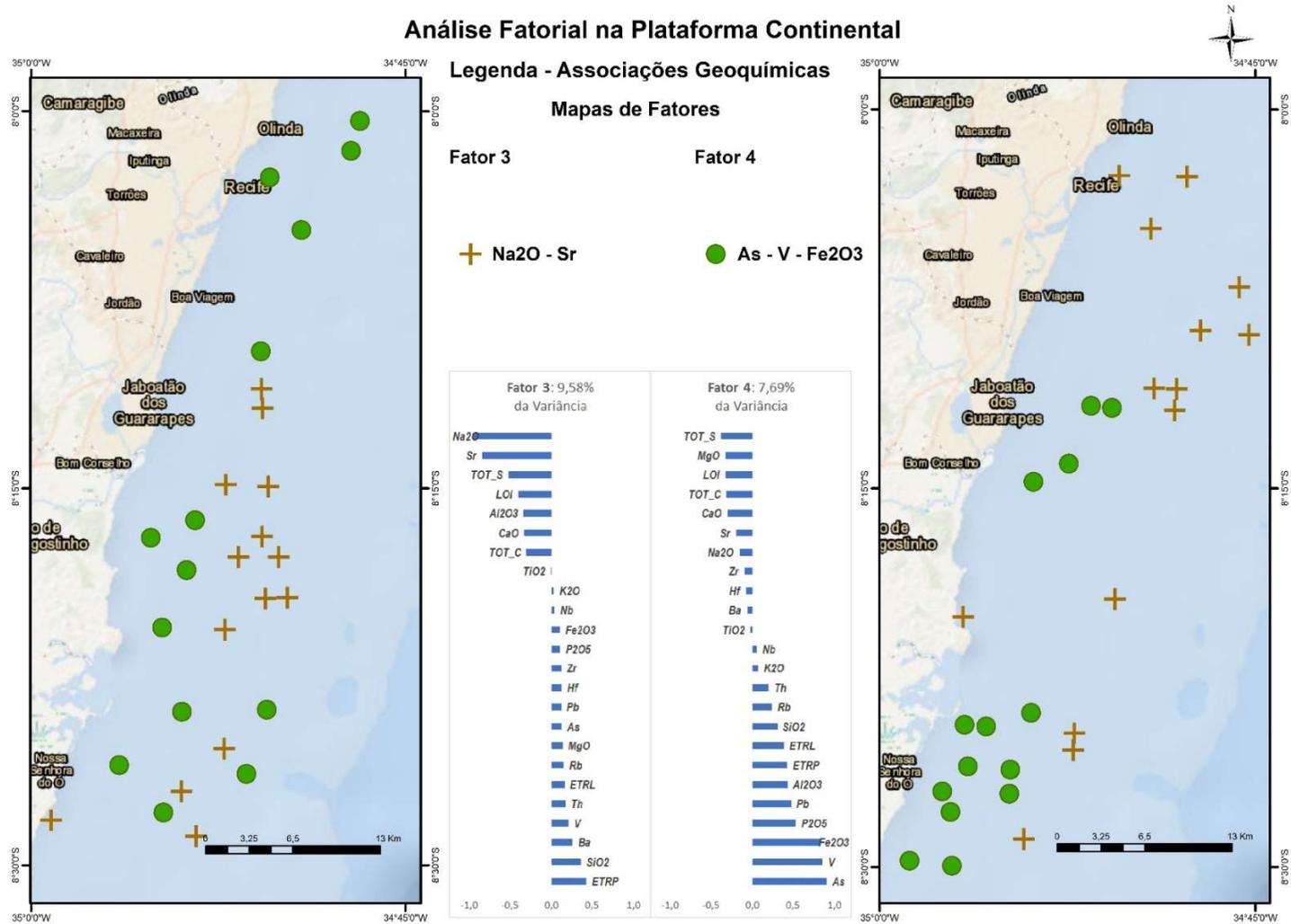


Figura 7.2 F: Mapa de distribuição dos fatores 3 e 4.



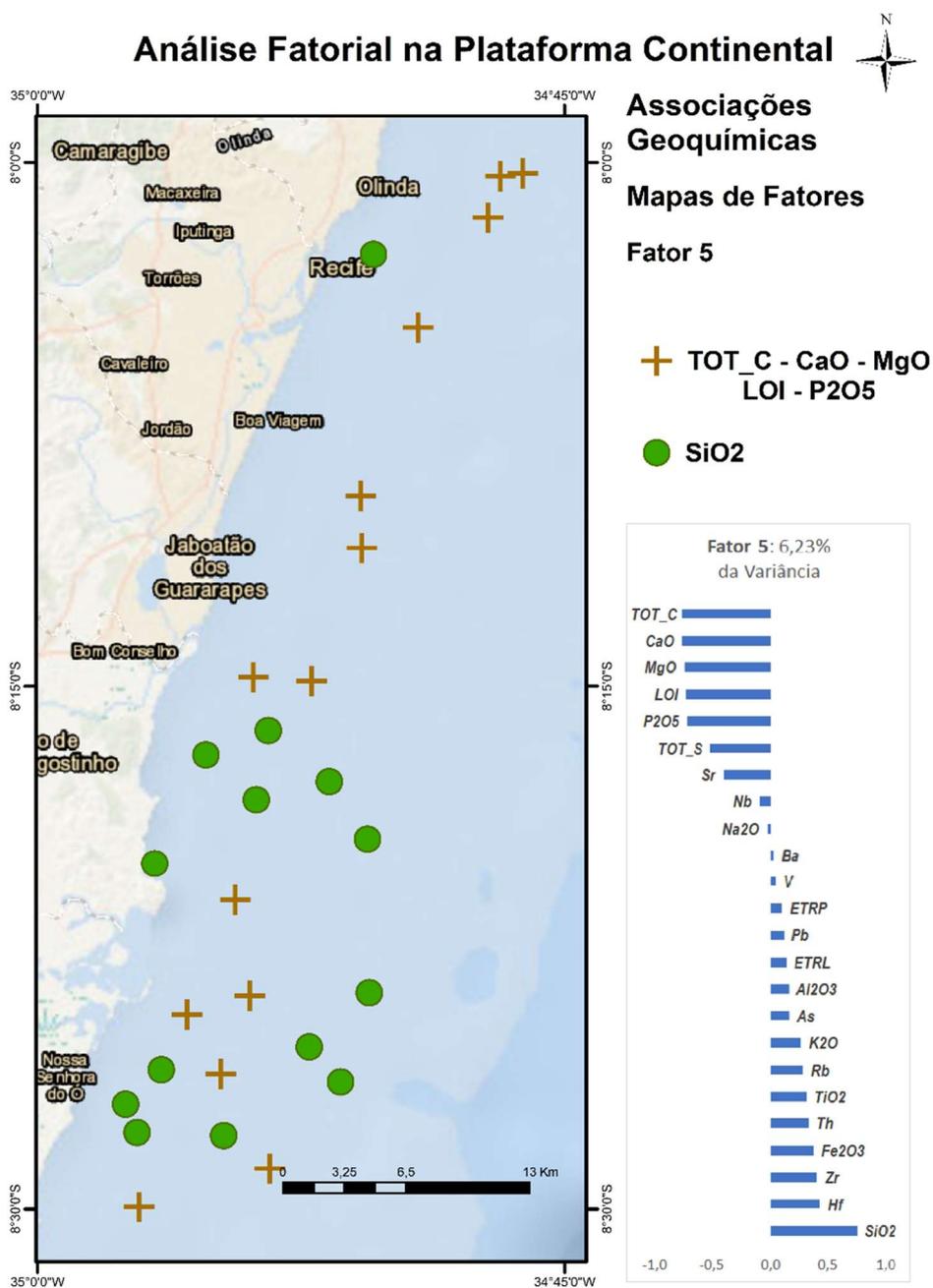


Figura 7.2 G: Mapa de distribuição do fator 5.

7.3. Bioclastos

O predomínio de CaO, MgO, SiO₂, Sr, carbono total e enxofre total no grupo das Halimedas pode ser explicado por concentrações carbonáticas com a presença de aragonitas e sílica contidas nos sedimentos, além do relato de Nascimento (2011) que constatou uma maior frequência de Halimedas na composição e distribuição dos bioclastos analisados na porção norte e central da plataforma continental de Pernambuco.

A possível explicação para uma maior participação de CaO, MgO e Sr se deva pela presença de aragonita, assim como foi confirmado por Marques (2008) ao estudar os carbonatos biogênicos da plataforma continental do nordeste oriental do Brasil, onde evidenciou em condições distais o franco predomínio da fração carbonática calcita com magnésio coexistindo com aragonitas. Vale ressaltar que a estrutura cristalina da aragonita favorece a entrada de átomos de raio atômico maior que o do cálcio, como o estrôncio. Klein e Dutrow (2012) citam que no grupo das aragonitas o cálcio pode ser substituído por estrôncio, chumbo e bário.

Foi possível identificar correlações positivas entre SiO₂ e Al₂O₃, SiO₂ e Fe₂O₃, SiO₂ e TiO₂, SiO₂ e P₂O₅ (Tabela 7.3 A). É possível que essas correlações estejam relacionadas com a influência de aporte terrígeno (Si com Al, Fe e Ti) e também de processos e aporte de matéria orgânica (P₂O₅). As correlações negativas do SiO₂ com CaO e Lol pode ser explicada pela incompatibilidade entre depósitos terrígenos e carbonáticos orgânicos. As correlações positivas do Al₂O₃ com Fe₂O₃, TiO₂ e P₂O₅ (Tabela 7.3 A) possivelmente seja influência da presença de argilominerais (Al₂O₃) na adsorção desses elementos e matéria orgânica. As associações referentes aos processos biogênicos que ocorrem nos bancos de algas foram evidenciadas pelas correlações entre Na₂O e Lol, Lol e carbono orgânico total e carbono orgânico total com enxofre total.

Tabela 7.3 A – Matriz de correlação de elementos maiores nos bioclastos.

Correlações

%	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	LOI	TOT_C
Al2O3	0,776										
Fe2O3	0,718	0,806									
CaO	-0,62	-0,473	-0,463								
MgO	-0,49	-0,335	-0,28	-0,03							
Na2O	-0,44	-0,376	-0,444	0,183	-0,06						
K2O	0,536	0,558	0,347	-0,41	-0,38	-0,041					
TiO2	0,733	0,815	0,644	-0,37	-0,31	-0,482	0,383				
P2O5	0,694	0,672	0,591	-0,34	-0,45	-0,488	0,257	0,58			
LOI	-0,86	-0,668	-0,664	0,306	0,413	0,661	-0,37	-0,71	-0,594		
TOT_C	-0,52	-0,383	-0,249	0,135	0,42	0,219	-0,37	-0,37	-0,178	0,64	
TOT_S	-0,46	-0,282	-0,375	0,111	0,3	0,555	-0,04	-0,4	-0,302	0,58	0,483

Principais Correlações Positivas

Principais Correlações Negativas

Tabela 7.3 B – Matriz de correlação de elementos menores e traços nos bioclastos.

Correlações

	Ba	Cs	Hf	Nb	Rb	Sr	Th	U	V	Zr	ETRL	ETRP	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	As
Cs	0,623																	
Hf	0,695	0,487																
Nb	0,802	0,605	0,854															
Rb	0,854	0,646	0,73	0,89														
Sr	-0,31	-0,15	-0,53	-0,45	-0,28													
Th	0,745	0,505	0,857	0,913	0,826	-0,5												
U	0,472	0,421	0,554	0,629	0,614	-0,09	0,579											
V	0,572	0,376	0,591	0,728	0,686	-0,39	0,694	0,618										
Zr	0,694	0,422	0,961	0,872	0,743	-0,59	0,889	0,519	0,64									
ETRL	0,75	0,544	0,855	0,944	0,867	-0,44	0,938	0,698	0,71	0,871								
ETRP	0,655	0,457	0,786	0,862	0,752	-0,44	0,851	0,679	0,76	0,806	0,879							
Mo	0,259	0,343	0,009	0,149	0,297	0,147	0,053	0,262	0,26	-0,08	0,128	0,24						
Cu	0,242	0,389	0,041	0,194	0,21	0,196	0,039	0,041	0,14	-0	0,117	0,114	0,337					
Pb	0,673	0,584	0,614	0,758	0,845	-0,18	0,704	0,551	0,59	0,599	0,777	0,72	0,325	0,332				
Zn	0,484	0,539	0,484	0,601	0,668	-0,1	0,544	0,413	0,57	0,439	0,576	0,611	0,419	0,438	0,814			
Ni	0,196	0,398	-0,05	0,074	0,088	0,208	-0,03	-0,05	0,03	-0,1	-0,027	0,047	0,424	0,722	0,217	0,336		
As	0,359	0,103	0,531	0,476	0,559	-0,42	0,512	0,502	0,55	0,552	0,59	0,511	0,086	-0,29	0,567	0,368	-0,43	
Sb	0,373	0,33	0,437	0,541	0,5	-0,35	0,509	0,497	0,595	0,402	0,564	0,613	0,377	0,269	0,622	0,614	0,248	0,459

Principais Correlações Positivas

Principais Correlações Negativas

Pela matriz de correlação percebe-se que a maioria dos elementos apresentam correlação com os elementos terras raras, exceto Cs, Sr, Mo, Cu, Ni e As. Essas associações amplas entre elementos terras raras e os elementos traços analisados pode ser explicada pelas fases que carregam os ETR nos sedimentos, conforme descritas por Sousa (2017) essas fases podem ser: litogênica (continental, clástico ou detrítico), carbonática ou óxidos de Fe e Mn.

Pelo gráfico de fatores foi identificada a existência de duas associações geoquímicas principais: carbonática (CaO, MgO, Na₂O, TOT_C, TOT_S, Lol, Sr, Mo e Ni) e siliciclástica (SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, TiO₂, K₂O, P₂O₅, ETRL, ETRP, Cu, Pb, As, Zn, Sb, Rb, Cs, V, Ba, Th, Hf, Zr, Nb e U). Percebe-se então a maior variedade em elementos nas associações siliciclásticas onde estão inseridos os ETR (Figura 7.3 A).

A análise de agrupamento corrobora com a discriminação em duas associações geoquímicas distintas: carbonática (CaO, Na₂O, Cu, Ni, MgO, TOT_S, Lol e TOT_C) e siliciclástica (SiO₂, Ba, K₂O, Al₂O₃, Rb, Cs, Fe₂O₃, Pb, Zn, TiO₂, Nb, Hf, Zr, Th, ETRL, ETRP, P₂O₅, V, As, U, Sb e Mo) (Figura 7.3 B).

É provável que ocorra uma quantidade significativa do aporte de material siliciclástico nos bancos de algas onde se localizam os bioclastos analisados nesse estudo.

Figura 7.3 A: Gráfico de fatores nos bioclastos analisados.

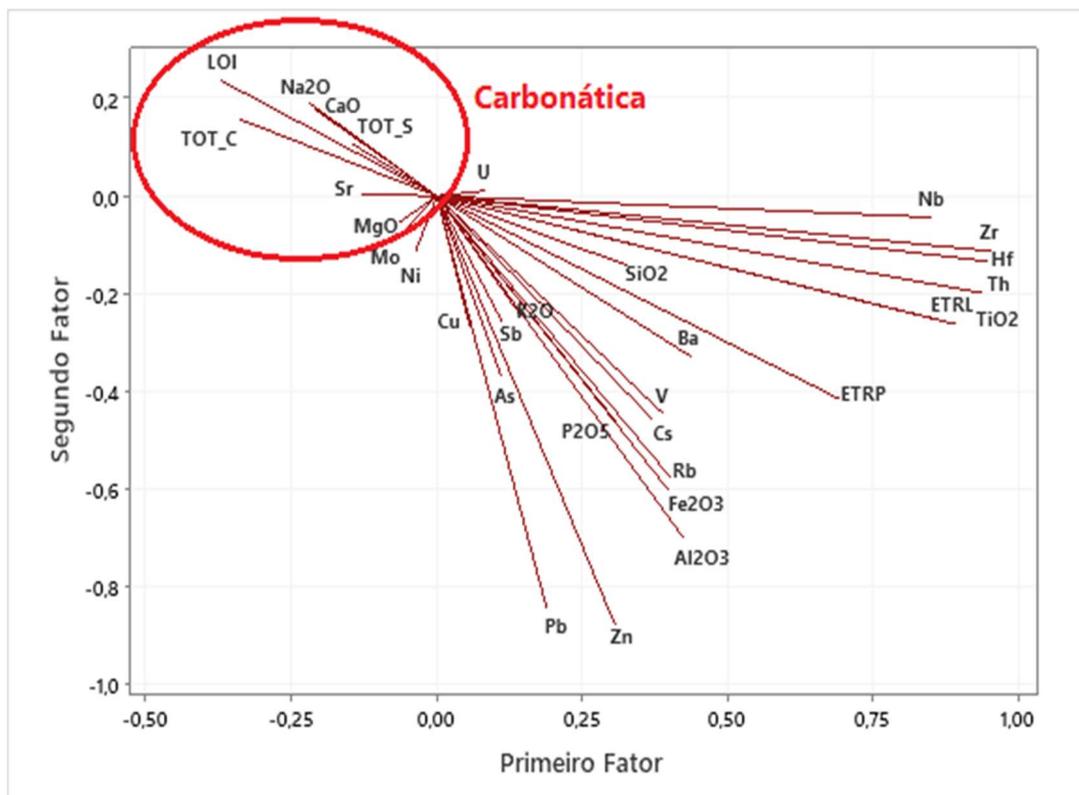
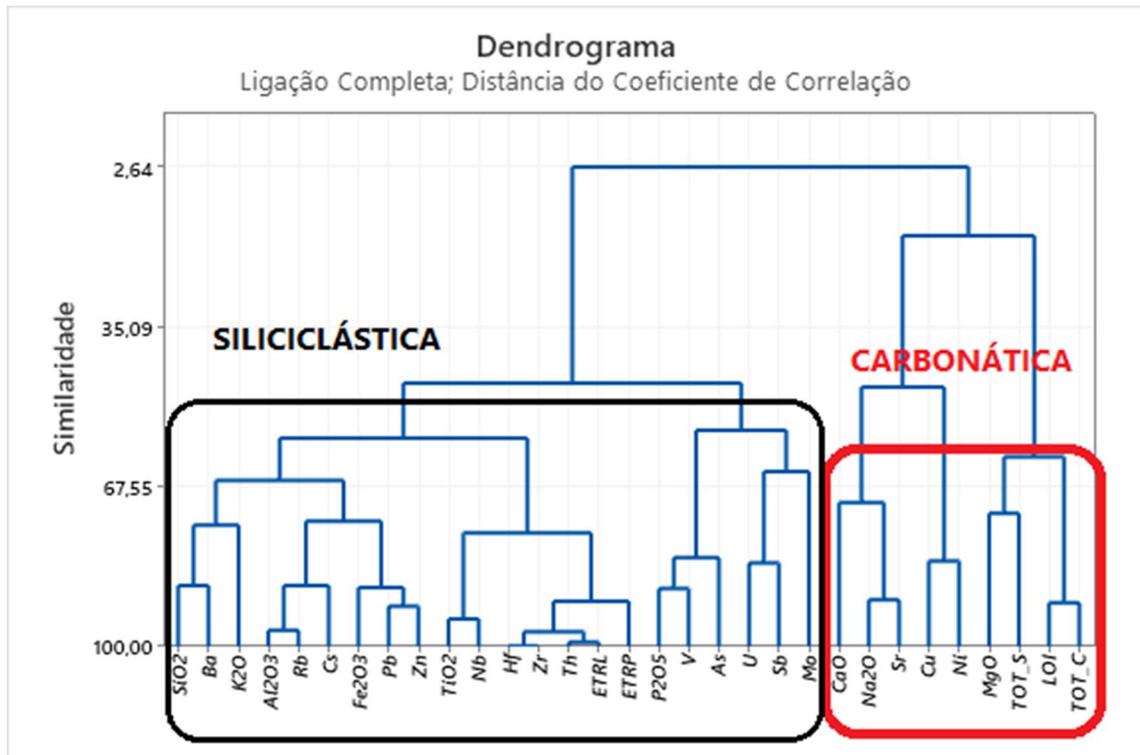


Figura 7.3 B: Análise de agrupamento nos bioclastos analisados.



8. CONCLUSÕES GERAIS

Foram identificados dois tipos de ambiente de sedimentação: siliciclástico e carbonático.

Pelas associações geoquímicas observou-se que o ambiente de sedimentação siliciclástico é composto por SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , K_2O e TiO_2 .

O ambiente de sedimentação carbonático é caracterizado pelas associações geoquímicas entre CaO , MgO , LOI , TOT_C , TOT_S e Na_2O .

Entre os elementos menores e traços determinados se destacam com os maiores teores Sr, Ba, Zr e ETRL.

Os elevados teores de Sr (até 6.918,90 ppm), com maior concentração na porção centro-sul e em domínios distais da área de estudo, pôde ser explicado pela presença de aragonita em depósitos carbonáticos. O provável aporte desse elemento oriundo da ocorrência dos bancos de algas presentes na plataforma de estudo seja sua possível proveniência.

Os teores de Ba (até 148,00 ppm) mostraram correlações positivas com Hf, Rb, Th, Zr e ETRL, compatível com associação geoquímica de sedimentação siliciclástica da plataforma, desde as frações mais finas como os argilominerais podendo conter Ba associado a sulfatos e Rb, até os minerais pesados como zircão e monazita com os ETRL, Th, Zr e Hf.

Os teores de Zr (até 483,00 ppm) apresentaram correlações positivas com ETRL, ETRP e Pb, se comportando geralmente de forma insolúvel em ambientes aquáticos e com baixa a muito baixa mobilidade tanto em ambientes oxidantes como em ambientes redutores, sejam eles ácidos, neutros ou alcalinos.

Os elementos terras raras leves apresentam correlação positiva com o Th, ETRP, Pb, Rb, Zr, Nb, Hf, As e Ba. Os elementos terras raras pesados mostra correlação direta com ETRL, Th, Pb, Zr, Rb, As, Hf e Sb e correlação inversa com o estrôncio.

Os elementos háfnio e zircônio tem correlação positiva com o Th, ETRL, Rb, Nb, ETRP, Pb e Ba e correlação inversa com o Sr. Essas relações provavelmente reforçam a natureza siliciclástica dessas associações produzidas pelo intemperismo físico e químico das rochas provenientes do continente sendo a presença do chumbo podendo estar associada a contaminação antrópica.

A análise de agrupamento evidenciou que o ambiente de sedimentação carbonático é representado pelas associações geoquímicas entre CaO, TOT_C, Lol, TOT_S, MgO, Na₂O. Essas associações geoquímicas refletem os processos orgânicos atuantes nos depósitos carbonáticos biogênicos relacionados aos organismos que pertencem a fauna e flora marinha da área de estudo, como as algas calcárias presentes: Halimedas, Rodolitos e Lithotaminiuns.

O ambiente de sedimentação siliciclástico foi representado por dois subgrupos discriminados pelas associações geoquímicas com elementos terras raras (SiO₂, Th, ETRL, ETRP, TiO₂, Hf, Zr e Nb) e com argilominerais e óxidos/hidróxidos de ferro (Al₂O₃, K₂O, Rb, Pb, Ba, Fe₂O₃, As e V). Essas associações geoquímicas são constatações da heterogeneidade nesse ambiente de sedimentação com possíveis indicativos da proveniência desses sedimentos.

Considerando o subgrupo dos elementos terras raras, é possível caracterizar esses sedimentos como provenientes do intemperismo de rochas continentais que a partir da desagregação e transporte desses grãos para o ambiente marinho, ocorre a redistribuição em função da estabilidade mineralógica e densidade desses sedimentos.

Para o subgrupo dos argilominerais e óxidos/hidróxidos de ferro, esses sedimentos foram descritos como provenientes do intemperismo de feldspatos potássicos dando origem ao argilominerais com participação de óxidos de hidróxidos de ferro que, conjuntamente atuam na adsorção dos elementos Rb, Pb, Ba, As e V.

As associações geoquímicas identificadas pela análise fatorial revelaram correlações diretas e inversas que correspondem às características de ambientes de sedimentação carbonático e siliciclástico.

Pelos dados dos bioclastos foi possível identificar o predomínio de CaO, MgO, Sr, carbono total e enxofre total no grupo das Halimedas que pôde ser explicado por um maior domínio dessas algas calcárias como principal elemento biogênico contido nos sedimentos.

As correlações presentes nos bioclastos incluem correlações positivas entre SiO_2 e Al_2O_3 , SiO_2 e Fe_2O_3 , SiO_2 e TiO_2 , SiO_2 e P_2O_5 . É possível que essas correlações estejam relacionadas com a influência de aporte terrígeno (Si com Al, Fe e Ti) e também de processos e aporte de matéria orgânica (P_2O_5).

Pelo gráfico de fatores dos bioclastos foi identificada a existência de duas associações geoquímicas principais: carbonática (CaO , MgO , Na_2O , TOT_C, TOT_S, Lol, Sr, Mo e Ni) e siliciclástica (SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 , K_2O , P_2O_5 , ETRL, ETRP, Cu, Pb, As, Zn, Sb, Rb, Cs, V, Ba, Th, Hf, Zr, Nb e U).

É provável que ocorra uma quantidade significativa do aporte de material siliciclástico nos bancos de algas onde se localizam os bioclastos analisados nesse estudo.

Pela maior predominância de depósitos carbonáticos na plataforma continental do Estado de Pernambuco – folha Recife, há uma maior potencialidade de granulados marinhos de origem biogênica.

Nessa pesquisa foram confirmadas as seguintes hipóteses:

Ocorrências de granulados marinhos siliciclásticos e bioclásticos com a predominância destes últimos com base na concentração de teores e distribuição espacial dos óxidos CaO e MgO , principalmente na porção centro-norte distal da área de estudo, o que corresponde a um significativo aporte de sedimentos carbonáticos nesses locais;

Os estudos geoquímicos permitiram caracterizar os depósitos de granulados marinhos por meio das assinaturas e associações geoquímicas, principalmente com relação aos depósitos de origem bioclástica pelas correlações positivas do CaO com MgO , Lol, TOT_C e TOT_S que são típicos da associação geoquímica dos depósitos carbonáticos;

A proveniência de origem continental para os granulados marinhos presentes na plataforma continental do Estado de Pernambuco foi confirmada pela concentração de sedimentos nas porções proximais ao centro-sul da área de estudo com presença marcante dos óxidos SiO_2 e Fe_2O_3 . As associações geoquímicas correspondentes com as correlações negativas do SiO_2 com CaO , MgO , Na_2O , Lol, TOT_C e TOT_S, denotam a incompatibilidade desses depósitos com os elementos do padrão da sedimentação carbonática e a afinidade com óxidos e hidróxidos de ferro de um possível aporte continental de sedimentos terrígenos. Ferro é considerado um elemento de suporte de

influência do aporte continental e a associação entre SiO_2 e Fe_2O_3 corresponde a sedimentação terrígena de proveniência continental. Pelo fator 1 que explicou 51,87 % da variância total dos dados, a forte correlação positiva representada pela associação geoquímica $\text{K}_2\text{O} - \text{Ba} - \text{Rb} - \text{Al}_2\text{O}_3$, provavelmente corresponda à adsorção de Ba e Rb nesses sedimentos a partir de argilominerais formados por intemperismo de feldspatos potássicos, corroborando com a proveniência de origem continental.

9. RECOMENDAÇÕES

Após avaliar de forma integral os dados obtidos nessa pesquisa e em posse das conclusões segue-se as recomendações e sugestões:

Tendo em vista o predomínio de depósitos carbonáticos biogênicos na área da plataforma estudada, recomenda-se pesquisas mais detalhadas com esses depósitos a fim de extrair ao máximo informações acerca da potencialidade econômica desses depósitos.

Nesse estudo contemplou a análise de algas calcárias halimedas, rodolitos e lithotaminiuns, com o objetivo de se obter uma melhor caracterização dos bancos de algas presentes na área de estudo. Considerando esse fato, recomenda-se proceder com estudos das demais algas e outros organismos da fauna e flora presentes para se ter um conhecimento mais aprofundado sobre esses depósitos carbonáticos biogênicos.

Sugere-se análises de difratometria de raio x para um melhor detalhamento das fases minerais presentes nos sedimentos e nos bioclastos.

Avaliar junto aos órgãos ambientais competentes a possibilidade de um aproveitamento desses depósitos de forma sustentável de modo a preservar e não interferir nas interações ecológicas que atuam nesse meio.

Prosseguir com o mapeamento da plataforma continental do Estado de Pernambuco contemplando domínios mais profundos no intuito de prospectar dados e avaliar a potencialidade dos granulados marinhos nas porções distais.

Aplicar métodos geofísicos poderão auxiliar num maior detalhamento do substrato marinho e suas camadas subjacentes, o que permitirá um dimensionamento tridimensional dos depósitos de granulados marinhos presentes.

Promover e executar programas de avaliação dos impactos ambientais inerentes à mineração em ambiente marinho, a fim de minimizar e remediar os efeitos nocivos que essas atividades podem ocasionar na fauna e flora marinha.

Fiscalizar de forma rigorosa as possíveis atividades de mineração marinha futuras para se evitar impactos indesejáveis nesse meio marinho, assim como, promover a educação ambiental com as comunidades locais conscientizando da importância de se preservar esses recursos.

Fomentar e respeitar as atividades das comunidades locais que utilizam os recursos marinhos como fonte de renda ou de sustento, permitindo que tenham seu direito assegurado de conviver num ambiente equilibrado, seguro e saudável.

BIBLIOGRAFIA

- Addad, J. E. (2010). *Minerais Pesados: uma ferramenta para prospecção, proveniência, paleogeografia e análise ambiental*. Imprensa Universitária.
- Aguiar, J. E., Marins, R. V., Almeida, M. D. (2007). Comparação de metodologias de digestão de sedimentos marinhos para caracterização da geoquímica de metais-traço na plataforma continental nordeste oriental brasileira. *Geochimica Brasiliensis*, 21(3), 304 – 323.
- Arz, H. W., Patzold, J., Wefer, G. (1999). The deglacial history of the western tropical Atlantic as inferred from high resolution stable isotope records off northeastern Brazil. *Earth and Planetary Science Letters*, 167, 105-117. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(99\)00025-4](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(99)00025-4)
- Azevedo, E. M. M. (2017). *Análise dos foraminíferos recentes da plataforma continental de Pernambuco, NE – Brasil* [Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal da Paraíba]. Repositório Institucional da UFPB. <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/2260>
- Barcellos, R. L., Camargo, J. M. R., Ferreira Jr., A. C., Araújo, T. C. M., Conti, L. A., Vital, E. (2013). Geomorfologia da Plataforma Continental Sul do Estado de Pernambuco. *XIV Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*
- Barreto, E. P., Manso, V. A. V., Gregório, M. V., Silva, C. F. A. & Ferreira, B. (2017). Análise sedimentológica da plataforma continental interna rasa da praia de São José da Coroa Grande – litoral sul de Pernambuco, nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10(1), 246-266. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20170014>
- Borges, L. (2007). Aspectos Economicos dos Recursos Minerais Marinhos. In: Estudo do Mar: importância econômica, política e estratégica dos recursos minerais da plataforma continental brasileira e áreas oceânicas adjacentes. *Parcerias Estratégicas*, 24, 191-230.

- Brasil (1967, 28 de fevereiro). Decreto-Lei 227, dispõe sobre o código de mineração. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del0227compilado.htm
- Brasil (1993, 04 de janeiro). Lei 8.617, dispõe sobre o mar territorial, a zona contígua, a zona econômica exclusiva e a plataforma continental brasileiros. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8617.htm
- Brasil (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm
- Camargo, J. M. R., Araújo, T. C. M., Maida, M., Ushizima, T. M. (2007). Morfologia da plataforma continental interna adjacente ao município de Tamandaré, sul de Pernambuco – Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica*, 25, 79-89. <https://www.scielo.br/j/rbg/a/xQmbnfCk8tzx8QqkyGnk5Lt/?format=pdf&lang=pt>
- Camargo, J. M. R. (2016). *Geodiversidade e paisagens submersas de uma plataforma continental tropical no nordeste do Brasil* [Tese de doutorado, Universidade Federal de Pernambuco]. Attena: Repositório Digital da UFPE. <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/18643>
- Cavalcanti, V. M. M. e Freire, G. S. S. (2007). A possibilidade de utilização de areias marinhas como agregado na construção civil na região metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará. *Gravel*, 5, 11-24. https://www.ufrgs.br/gravel/5/Gravel_5_02.pdf
- Cavalcanti, V. M. M. (2007). *Arcabouço legal nacional para pesquisa e lavra mineral no mar territorial, na plataforma continental e na zona econômica exclusiva*. Parcerias Estratégicas.
- Coutinho, P.N. (1976). *Geologia marinha da plataforma continental Alagoas- Sergipe*. [Tese de Livre Docência, Universidade Federal de Pernambuco].
- Cordoba, V. C. Jardim de Sá, E. F., Souza, D. C., Antunes, A. F. (2007). Bacia Pernambuco-Paraíba. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 15: 391-403.

- Cruz, F. W., Wang, X., Auler, A., Vuille, M., Burns, S. J., Edwards, L. R., Karmann, I. & Cheng, H. (2009). Orbital and millennial-scale precipitation changes in Brazil from speleothem records. *Past Climate Variability in South America and Surrounding Regions*, 14, 29-60. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.699.4798&rep=rep1&type=pdf>
- Ferreira, A. V., Jr. (2010). *Mapeamento e estudo petrológico de arenitos de praia (beach rocks): evidências da variação do nível do mar no Holoceno, na costa central de Pernambuco* [Tese de doutorado, Universidade Federal de Pernambuco]. Attena: Repositório Digital da UFPE. <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/6033>
- Figueiredo, Jr., Fontes, A.G.; L.C.S.; Santos, L.A.; Santos J.R.; Mendonça, J.B.S. E Vieira, L.R.S; (2011). Geomorfologia da Plataforma Continental da Bacia Sergipe-Alagoas [Artigo]. XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário ABEQUA III.
- Goes, E. R., e Ferreira, A. V., Jr. (2017). Caracterização morfossedimentar da plataforma continental brasileira. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10(5), 1595-1613. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v.10.5.p1595-1613>
- Govin, A., Holzwarth, U., Heslop, D., Keeling, Zabel, M., Mulitza, S., Collins, J. A. & Chiessi, C. M. (2012). Distribution of major elements in Atlantic surface sediments (36°N - 49°S): Imprint of terrigenous input and continental weathering. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 13(1), 1-23. <https://doi.org/10.1029/2011GC003785>
- Gregório, M. N. (2009). *Evolução da linha de costa de caracterização da plataforma continental interna adjacente à cidade do Recife – PE* [Tese de doutorado, Universidade Federal de Pernambuco] Attena: Repositório Digital da UFPE. <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/8241>
- Ibama (2004, 13 de agosto). Instrução Normativa 46, dispõe sobre a exploração, a comercialização e o transporte de algas marinhas no litoral brasileiro. https://www.normasbrasil.com.br/norma/instrucao-normativa-46-2004_75271.html
- Kabata-Pendias, A. & Pendias, H. (2001). *Trace elements in soils and plants*. 3. ed. Boca Raton, CRC Press.

- Kamitani, M. (2006). Rare earth minerals and resources in the world. *Journal of Alloys and Compounds*, v. 408-412, p. 1339-1343.
- Klein, C.; Dutrow, B. (2012). *Manual de ciência dos minerais; tradução e revisão técnica*: 23ª Ed. Bookman.
- Lacerda, L.D. e Marins, R.V. (2006). Geoquímica de sedimentos e o monitoramento de metais na plataforma continental nordeste oriental do Brasil. *Geoquímica brasiliensis*, 20 (1), 123-135.
<https://geobrasiliensis.org.br/geobrasiliensis/article/view/239/pdf>
- Lima Filho, M. F. (1998). Análise Estratigráfica e Estrutural da Bacia Pernambuco [Tese de doutorado, Universidade de São Paulo]. DOI 10.11606/T.44.1998.tde-03092013-090232
- Manso, V.A.V. (1997). *Geologia da planície costeira e da plataforma continental interna adjacente da região entre Porto de Galinhas e Tamandaré – litoral Sul de Pernambuco* [Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul].
- Manso, V. A., Corrêa, I. C. S., e Guerra, N. C. (2003). Morfologia e sedimentologia da plataforma continental interna entre as praias de Porto de Galinhas e Campos – litoral sul de Pernambuco, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 30(2), 17-25.
<https://doi.org/10.22456/1807-9806.19587>
- Mantovanelli, S. S. S. (2013). *Caracterização das fontes dos sedimentos marinhos da plataforma continental da região sudeste do Brasil, durante o Holoceno médio e superior, com base na composição isotópica de Sr, Nd e Pb: implicações nos estudos paleoclimáticos e de hidrodinâmica marinha* [Tese de doutorado, Universidade de São Paulo]. DOI 10.11606/T.44.2013.tde-05122013-103421
- Marques, W. S. (2008). *Geoquímica de carbonatos da plataforma continental do nordeste do Brasil* [Tese de doutorado, Universidade Federal de Pernambuco]. Attena: Repositório Digital da UFPE. <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/6294>

Mayal, E.M.; Gomes, P.B.; Afonso, A.P.S.; Pereira, L.C.C. (2000). *Reefs of Pernambuco – Brazil - Part I: scleractinia common in the region of Tamandaré (south coast of the state of Pernambuco)*. Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco. <https://www.researchgate.net/profile/LuciPereira/publication/268253088>

Michelli, M., Araújo, T., Maida, M., Vital, H. (2001). Indicatives of ancient conditions of sea level stability on the Southern Pernambuco continental shelf. *Pesquisas em Geociências*. 28, 25-33. DOI: <https://doi.org/10.22456/1807-9806.20266>

Mont'Alverne, A. A. F., e Coutinho, P. N. (1982, 12-18 de setembro). *Províncias sedimentares na plataforma continental de Pernambuco* [Artigo]. XXXII Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador, BA, Brasil.

Nascimento, V. F. (2016). *Análise dos bioclastos marinhos da região sul da plataforma continental de Pernambuco* [Monografia de Graduação, Universidade Federal da Paraíba]. Repositório Institucional da UFPB. <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/2365>

Nascimento, A. A. (2017). *Estrutura da macrofauna bentônica de fundo inconsolidado na plataforma continental de Sergipe, Nordeste do Brasil* [Tese de doutorado, Universidade Federal da Bahia]. Repositório Institucional da UFBA. <http://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/25828>

Nascimento, A. A. (2011). *Sedimentação Holocênica na Plataforma Continental de Sergipe, Nordeste do Brasil*. [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Bahia]. Repositório Institucional da UFBA. <http://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/16215>

Neff, J.M. (2002) Bioaccumulations in marine organisms. *Effect of contaminants from oil well produced water*. Elsevier, London 1a ed., 452p.

Oliveira, D. H. (2012). *Sedimentação biogênica da plataforma continental interna e média de Pernambuco com base na distribuição de foraminíferos e fauna associada*. [Tese de doutorado, Universidade Federal de Pernambuco]. Attena: Repositório Digital da UFPE. <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/12079>

- Poggio, C.A.; Souza, F.B.C.; Alves, O.F.S.; Domingueza, J.M.L.; (2009). *Distribuição dos componentes biogênicos nos sedimentos da área do Canal de Salvador, Baía de Todos os Santos, Bahia*.
- Rebouças, R.C. (2010). *Sedimentação Holocênica da plataforma continental de Salvador - BA. Salvador-Bahia*, [Tese de doutorado, Universidade Federal da Bahia]. Repositório Institucional da UFBA. <http://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/21482>
- Ritter, M. N. (2018). *Padrões espaço-temporais do registro fóssil com base em acumulações de moluscos da plataforma continental do sul do Brasil* [Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul]. Lume: Repositório Digital da UFRGS. <http://hdl.handle.net/10183/174169>
- Roeser, P. A. (2008). *Paleoreconstrução do aporte terrígeno ao longo do quaternário na plataforma continental brasileira (Cabo Frio – RJ e Depressão do Albardão – RS) e suas implicações ambientais*, [Dissertação de mestrado, Universidade Federal Fluminense]. Repositório Institucional da UFF <https://app.uff.br/riuff/handle/1/5862>
- Santos, J.R, Souza, R. M., Andrade, E. & Fontes, L. C. S. (2019). Componentes biogênicos como indicadores ambientais da plataforma continental do Estado de Sergipe e sul de Alagoas. *Revista Geociências*, 38(2), 409 – 425. <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/13658/11193>
- Serviço Geológico do Brasil – CPRM. (2015). Carta de caracterização dos agregados marinhos da plataforma continental rasa do Estado de Pernambuco. https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/21614/1/carta_agregados_marinhos_pe.pdf
- Silva, E. G. (2018). *Padrões de diversidade e distribuição espacial da macrofauna bentônica e bioclasto da plataforma continental do litoral sul de Pernambuco, Brasil*. [Tese de doutorado, Universidade Federal de Pernambuco]. Atena: Repositório Digital da UFPE. <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/32766>

- Smith, F. S. G. (2020). *Análise de proveniência sedimentar e evolução holocênica do delta do Parnaíba através de testemunho por vibração* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte]. Repositório Institucional da UFRN. <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/30269>
- Sousa, T. A. (2017). *Elementos terras raras como indicadores do aporte e proveniência sedimentar nos últimos 45 mil anos, bacia de Santos, Brasil* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal Fluminense]. Repositório Institucional da UFF. <https://app.uff.br/riuff/handle/1/3269>
- Tan, W. H., Tair, R., Ali, S. A. M., Talibe, A., Sualin, F., & Payus, C. (2016). Distribution of heavy metals in seawater and surface sediment in coastal area of Tuaran, Sabah. *Transactions on Science and Technology*, 3(1-2), 114-122.
- Vital, H., Esteves, L. S., Araújo, T. C. e Patchineelam, S. M. (2005). Oceanografia geológica e geofísica da Plataforma Continental Brasileira, *Quaternário do Brasil*. (pp. 153-175). Editora Holos.
- Wright, J. D., Sheridan, R. E., Miller, K. G., Uptegrove, J., Cramer, B. S. & Browning, J. V. (2009). Late Pleistocene sea level on the New Jersey margin: Implications to eustasy and deep-sea temperature. *Global and Planetary Change*, 66, 93-99. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2008.03.013>

ANEXOS

ANEXO 1

DECLARACIÓN JURADA

Fecha: 01-05-2021.

En Fortaleza, Brasil., yo, Felipe Rocha Abreu, identificado con documento de identidad N^o 98010169033, domiciliado encalle Ildefonso Albano 1708 AP302 distrito aldeota, estudiante del programa Máster en Ciencia y Tecnología Marina, titulado por la Universidad Europea del Atlántico. declaro:

Que la investigación Geoquímica dos granulados marinhos de uma porção da plataforma continental rasa do Estado de Pernambuco — Folha Recife, nordeste do Brasil cuyo objetivo principal es Avaliar a potencialidade dos granulados marinhos presentes numa porção da plataforma continental do Estado de Pernambuco — Folha Recife., y de la cualsoyen investigador principal, no necesita la aprobación del Comité de Ética por cuanto no involucra la participación de seres humanos.



_____ Felipe Rocha Abreu _____

Adjuntar imagede la firma enelrecuadro y colocar aquíelnombredelalumno.

