

PROGRAMA OCEANO, ZONA COSTEIRA E ANTÁRTICA
GEOLOGIA DO ESPAÇO MARINHO E COSTEIRO

NOTA EXPLICATIVA

MAPA DE ISOTEORES DE FOSFATO EM ROCHAS DO TERRAÇO DO RIO GRANDE

FORTALEZA - 2025

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

Alexandre Silveira de Oliveira

Secretaria Nacional de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Ana Paula Lima Vieira Bittencourt

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB-CPRM)

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretora-Presidente, interina

Sabrina Soares de Araújo Gois

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Francisco Valdir Silveira

Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial

Alice Silva de Castilho

Diretora de Infraestrutura Geocientífica

Sabrina Soares de Araújo Gois

Diretora de Administração e Finanças, interina

Sabrina Soares de Araújo Gois

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Chefe do Departamento de Geologia

Marcelo Esteves Almeida

Chefe da Divisão de Geologia Marinha

Valter Rodrigues Santos Sobrinho

Chefe do Departamento de Recursos Minerais

Maisa Bastos Abram

Chefe da Divisão de Geologia Econômica

Guilherme Ferreira da Silva

Chefe do Departamento de Informações Institucionais

Ney Ferreira dos Santos

Chefe da Divisão de Geoprocessamento

Hiran Silva Dias

Chefe da Divisão de Cartografia

Fábio Silva da Costa

Chefe da Divisão de Documentação Técnica

Jéssica dos Santos Gonçalves

Chefe do Departamento de Relações Institucionais e Divulgação

Andrea Sander

Chefe do Núcleo de Comunicação

Michelle de Aquino Araújo

Chefe da Divisão de Editoração Geral

Hemilton Moraes Cunha

RESIDÊNCIA DE FORTALEZA

Chefe da Residência

Maria da Guia Lima

Assistente de Produção de Geologia e Recursos Minerais

Tercyo Rinaldo Gonçalves Pinéo

Responsável Técnica do Projeto

Edlene Pereira da Silva

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA NACIONAL DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB-CPRM)
DIRETORIA DE GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS

I PROGRAMA OCEANO, ZONA COSTEIRA E ANTÁRTICA I

GEOLOGIA DO ESPAÇO MARINHO E COSTEIRO

MAPA DE ISOTEORES DE FOSFATO EM ROCHAS DO TERRAÇO DO RIO GRANDE

ORGANIZADOR
Felipe Rocha Abreu

NOTA EXPLICATIVA



Fortaleza
2025

REALIZAÇÃO

Residência de Fortaleza

TEXTO EXPLICATIVO

1. Introdução

Felipe Rocha Abreu

2. Metodologia

Felipe Rocha Abreu

3. Contexto Geológico

Felipe Rocha Abreu

4. Resultados Preliminares e Discussão

Felipe Rocha Abreu

5. Considerações Finais

Felipe Rocha Abreu

Referências

Felipe Rocha Abreu

PROJETO GRÁFICO/EDITORAÇÃO

Capa (DIEDIG)

Luiz Fernando do Valle Silvestre

Miolo (DIEDIG)

Andréia Amado Continentino

Agmar Alves Lopes

Diagramação (DIEDIG)

Andrea Machado de Souza

NORMALIZAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

Nelma Fabrícia da P. Ribeiro Botelho

REVISÃO DO PROJETO

Revisão do texto

Edgar Romeo Herrera de Figueiredo Iza

Revisão linguística

Irinéia Barbosa da Silva

Revisão final

Valter Rodrigues Santos Sobrinho

FOTO DA CAPA

Amostras de concreções fosfáticas coletas na área do projeto.

Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM)

www.sgb.gov.br

seus@sgb.gov.br

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM) – DIDOTE - Processamento Técnico

M297

Mapa de isotores de fosfato em rochas do terraço do Rio Grande : nota explicativa / Organizador Felipe Rocha Abreu. – Fortaleza : CPRM, 2025

1 recurso eletrônico: PDF

Geologia do espaço marinho e costeiro.

ISBN 978-65-5664-646-6

1. Geologia. 2. Fosfato I. Título.

CDD 551

Ficha Catalográfica elaborada pela bibliotecária Teresa Rosenhayme CRB-7/5662

Direitos desta edição: Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM)

Permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte.

APRESENTAÇÃO

O **Ministério de Minas e Energia**, por intermédio do **Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM)**, tem a grata satisfação de disponibilizar à comunidade técnico-científica e aos pesquisadores, o presente produto denominado **Mapa de isotores de fosfato em rochas do Terraço do Rio Grande**.

Este produto está vinculado ao Programa “**Oceano, Zona Costeira e Antártica**” e da Ação “**Geologia do Espaço Marinho e Costeiro**”. Os projetos de Geologia Marinha têm como objetivo fundamental produzir informações geológicas de caráter técnico, econômico e ambiental, a fim de subsidiar a tomada de decisão por parte de órgãos governamentais e empresas públicas e privadas quanto às atividades de exploração mineral, planejamento espacial e uso compartilhado da Zona Costeira (ZC), da Plataforma Continental Jurídica Brasileira (PCJB) e das áreas internacionais adjacentes (AREA).

Conforme estabelecido na Política Nacional para os Recursos do Mar (PNRM) e detalhado nos Planos Setoriais para os Recursos do Mar (PSRM), o Estado brasileiro considera o Atlântico Sul e Equatorial uma região de interesse nacional não apenas pelo aspecto econômico, mas também por sua importância política e estratégica. Dentro desses princípios, foram implementados, dentre outros, três programas instituídos pela Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM) nos quais o SGB-CPRM atua: o Programa de Avaliação da Potencialidade Mineral da Plataforma Continental Jurídica Brasileira (REMLAC), o Programa de Prospecção e Exploração dos Recursos Minerais da Área Internacional do Atlântico Sul e Equatorial (PROAREA) e o Programa de Levantamento da Plataforma Continental Brasileira (LEPLAC), no qual a empresa atua como órgão consultivo e de suporte.

O REMLAC foi criado por meio da Resolução nº 004/97/CIRM, com o objetivo de identificar a potencialidade dos recursos minerais da Plataforma Continental Jurídica Brasileira (PCJB). Suas atividades são conduzidas por um Comitê Executivo no âmbito da CIRM, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia, com a participação de ministérios e instituições relacionadas à ação. O programa conta com assessoria científica do Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM), enquanto o planejamento e a gerência operacional são realizados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

O Projeto de Prospecção e Exploração de Depósitos de Fosforitas Marinhas no Terraço do Rio Grande, executado por meio da Ação 20LC - Geologia do Espaço Marinho e Costeiro, é um dos projetos temáticos do REMLAC e atende às metas estabelecidas no XI PSRM, aprovado pelo Decreto nº 12.363.

Esta nota explicativa compõe a entrega 3281 (estudos geológicos, geofísicos e oceanográficos levantados na PCJB para avaliação de recursos minerais - Informações Básicas) nela são apresentados os resultados preliminares do Mapa de Isotores de Fosfato em Rochas do Terraço do Rio Grande, além de outros elementos químicos de destaque, como CaO, F e S. A continuidade do projeto ampliará o acervo de dados geológicos, possibilitando a estimativa do potencial mineral para fosfato e outros minerais de interesse econômico na região do Terraço do Rio Grande.

Com mais este lançamento, o Serviço Geológico do Brasil cumpre sua principal missão institucional, de “gerar e disseminar conhecimento geocientífico com excelência, contribuindo para melhoria da qualidade de vida e desenvolvimento sustentável do Brasil”.

Sabrina Soares de Araújo Gois

Diretora-Presidente, interina

Francisco Valdir Silveira

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

RESUMO

Esta nota explicativa está vinculada ao Mapa de Isotopos de Fosfato em Rochas do Terraço do Rio Grande. Ambos os produtos (nota explicativa e mapa de isotopos) integram o Projeto de prospecção e exploração de Fosforitas Marinhas no Terraço do Rio Grande, cujo objetivo é realizar o mapeamento e a estimativa do potencial mineral da área de estudo, com ênfase nos depósitos fosfáticos. A área de pesquisa foi avaliada por meio de ensaios geoquímicos de P_2O_5 , CaO, LOI, F e S, realizados em 124 amostras de substrato marinho (concreções). As análises geoquímicas permitiram identificar anomalias nas áreas mais profundas ao norte e ao sul da área. A anomalia na área norte ocorre entre 402 metros e 682 metros de profundidade, ao largo da costa, enquanto a anomalia na área sul está entre 443 metros e 568 metros. No total, 17 amostras apresentaram teores de P_2O_5 entre 15,15% e 19,31%.

ABSTRACT

This explanatory note is linked to the Phosphate Iso-grade Map of Rocks from the Rio Grande Terrace. Both products (the explanatory note and the iso-grade map) are part of the Project for Prospecting and Exploration of Marine Phosphorites in the Rio Grande Terrace, which aims to carry out the mapping and estimation of the mineral potential of the study area, with emphasis on phosphate deposits. The research area was evaluated through geochemical assays of P_2O_5 , CaO, LOI, F, and S, performed on 124 samples of marine substrate (concretions). The geochemical analyses allowed the identification of anomalies in the deeper areas to the north and south of the region. The anomaly in the northern area occurs between 402 m and 682 m water depth, offshore, while the anomaly in the southern area lies between 443 m and 568 m. In total, 17 samples presented P_2O_5 contents ranging from 15.15% to 19.31%.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. METODOLOGIA.....	10
3. CONTEXTO GEOLÓGICO	12
4. RESULTADOS PRELIMINARES E DISCUSSÃO	13
4.1. ESTATÍSTICA UNIVARIADA.....	13
4.1.1. Óxido de cálcio (CaO).....	13
4.1.2. Óxido de Fósforo (P ₂ O ₅)	15
4.1.3. LOI (<i>Loss on Ignition</i>).....	15
4.1.4. Flúor (F).....	15
4.1.5. Enxofre (S).....	18
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	19
REFERÊNCIAS.....	20

1. INTRODUÇÃO

Este informe tem como objetivo apresentar informações sobre ocorrências de fosfato na porção sul da Plataforma Continental Brasileira, mais especificamente no Terraço do Rio Grande (TRG). Nos últimos anos, a região tem sido estudada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), por meio da Divisão de Geologia Marinha (DIGEOM), com apoio técnico da Divisão de Geoquímica (DIGEOQ), no âmbito do Projeto Prospecção e Exploração de Depósitos de Fosforitas Marinhas na Plataforma Continental Jurídica Brasileira (Profos).

O projeto busca avaliar as ocorrências de rochas fosfáticas e seu potencial mineral na região do Terraço do Rio Grande, localizada adjacente ao litoral dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

A área de estudo (Figura 1.1) abrange aproximadamente 8.200 km² e está situada entre as isóbatas de 200 e 1.000 metros, além da quebra da plataforma, sobre o Arco de Torres. A região apresenta uma morfologia de relevo irregular e rugoso, sulcado por canais de largura variável.

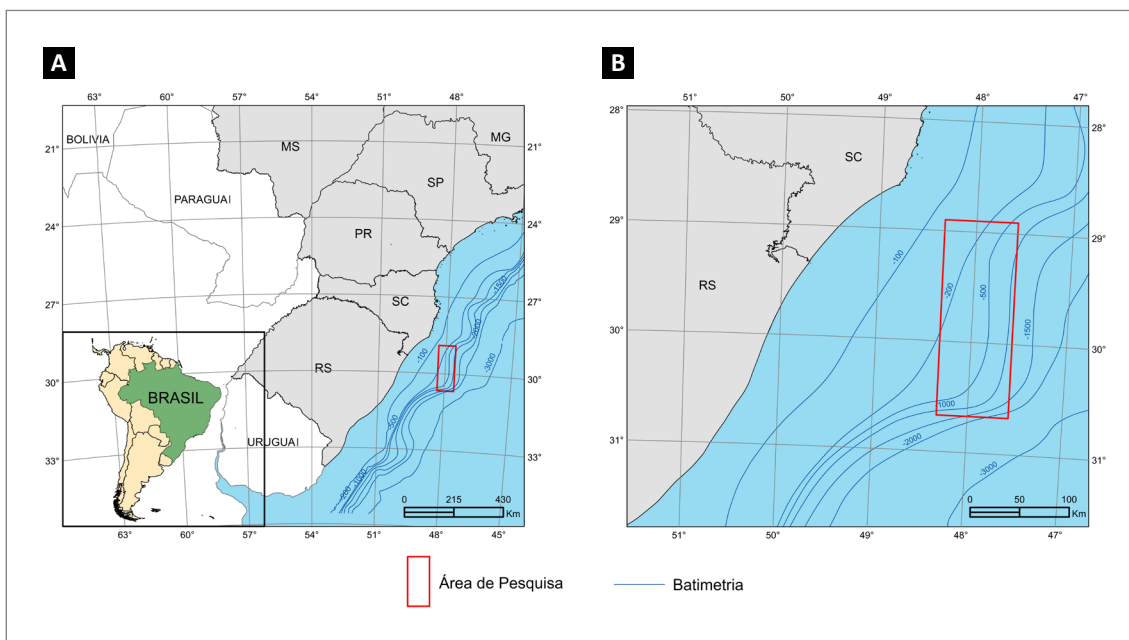


Figura 1.1 - (A) Mapa de localização e (B) área de pesquisa. Fonte: dados processados pela equipe do SGB-CPRM.

2. METODOLOGIA

Com o intuito de se alcançar o objetivo do projeto, foi realizada uma pesquisa voltada à caracterização dos depósitos fosfáticos, identificação dos possíveis alvos de interesse e avaliação geoquímica das concreções. As atividades foram desenvolvidas em três etapas: trabalho de campo, análises geoquímicas e tratamento de dados com interpretação dos resultados.

Na etapa de campo, foram realizados três embarques (27/02/2020 a 19/03/2020, 29/11/2022 a 12/12/2022 e 13/01/2023 a 25/01/2023) a bordo das embarcações NpqHO Vital de Oliveira e Atlântico Sul. Essas expedições permitiram a coleta de sedimentos e concreções (124 amostras) do substrato marinho do TRG (Figura 2.1). Para isso, foram utilizados os coletores do tipo Van Veen e Box Core.

A etapa de análise geoquímica teve como foco a avaliação dos teores de fosfato, elementos maiores, elementos menores e elementos terras-raras (ETR). A preparação inicial das amostras foi realizada no laboratório GEMAR, em Recife. A alíquota foi obtida a partir de uma amostragem composta, representativa do material coletado em cada estação. As alíquotas foram peneiradas e a fração acima de 2 mm foi separada para as análises.

No laboratório da SGS Geosol, procedeu-se com a seguinte preparação: secagem em estufa a 105°C, britagem com granulometria de 75% passante em uma peneira de 3 mm, homogeneização e quartejamento em Jones para obtenção de aproximadamente 300 gramas, seguido da pulverização de 300 gramas, com 95% passante em uma peneira de 150#.

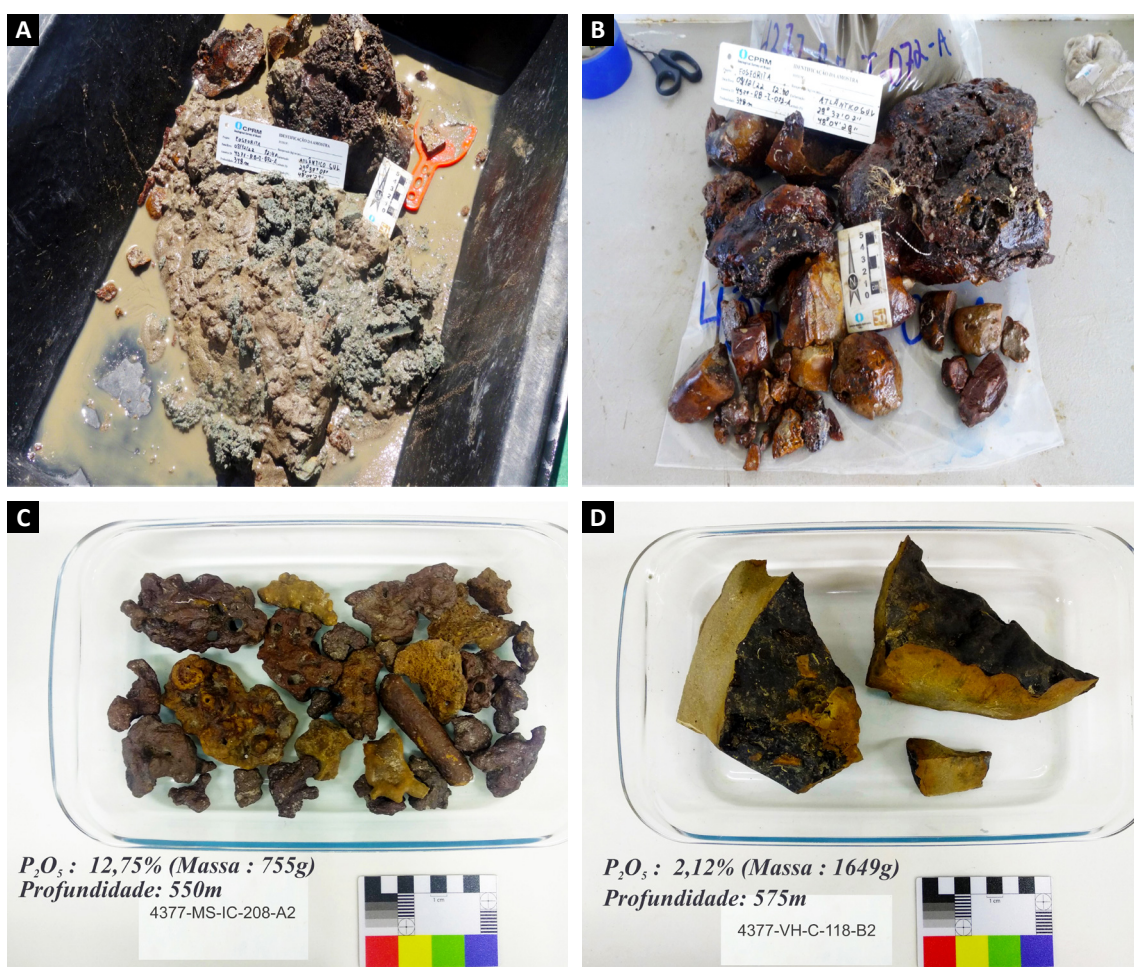


Figura 2.1 - (A) Coleta do substrato marinho (sedimentos e concreções), amostra 4377-MS-IC-208-A2; (B) Concreções coletadas, amostra 4377-VH-C-118-B2; (C) Alíquota analisada, amostra 4377-MS-IC-208-A2 e (D) Alíquota analisada, amostra 4377-VH-C-118-B2. Fonte: dados processados pela equipe do SGB-CPRM.

Os métodos analíticos empregados incluíram XRF72PO, ISE03A, CSA17V_S e PHY01E, realizados pela SGS Geosol Laboratórios Ltda. O método XRF72PO consiste na fusão com tetraborato de lítio e quantificação por fluorescência de raios X (XRF) para determinação dos principais óxidos presentes no minério de fosfato. Nesta nota explicativa, foram publicados apenas os resultados para P_2O_5 (%) e CaO (%).

O método ISE03A corresponde à análise química para flúor (F), realizada por decomposição da amostra via fusão,

seguida de dissolução com solução ácida e determinação do flúor por eletrodo de íon seletivo (ISE). O método CSA17V_S é utilizado para determinação do enxofre total, por meio de combustão e posterior leitura por infravermelho em um analisador LECO. Por fim, o método PHY01E consiste na calcinação da amostra a 1000°C, seguida da determinação da perda ao fogo (*Loss on Ignition* – LOI) por XRF.

Na etapa de tratamento de dados e interpretação, os resultados foram processados utilizando os *softwares* ArcMap 10.8 e Statistic 10.

3. CONTEXTO GEOLÓGICO

A área de estudo está inserida na Bacia de Pelotas, a qual é separada da Bacia de Santos pelo Alto de Florianópolis ou Plataforma Estrutural de Florianópolis, estendendo-se até o Alto de Polônio, na fronteira com o Uruguai (Machado, 2010).

A Bacia de Pelotas é do tipo *rift*, datada do Mesozoico. Sua estrutura se formou a partir do processo de abertura e formação do Oceano Atlântico Sul, balizada por esforços tectônicos que levaram à fragmentação do supercontinente Gondwana, culminando na separação da América do Sul e da África. A bacia recobre uma área total de 210.000 km², sendo 40.000 km² na porção emersa, estendendo-se *offshore* até a cota batimétrica de 2.000 metros (Dias *et al.*, 1994).

Segundo Martins, Martins e Corrêa (1985), as sequências sedimentares e os processos atuantes na plataforma externa e no talude superior resultam do material

proveniente das terras altas do Rio Grande do Sul (RS) e Santa Catarina (SC), bem como do complexo deltaico de influência do Rio de La Plata. Esses sedimentos, associados ao material autóctone originado por processos diagenéticos atuantes, formam a sedimentação encontrada na área da pesquisa.

Ainda de acordo com esses autores, é registrada uma sedimentação arenoquartzosa e arenoconglomerática bioclástica na borda da plataforma, além de registros de fluxo gravitacional na região do talude superior na área do RS. Na plataforma externa (SC e RS), há ocorrência de sedimentos bioclásticos lamosos pleistocênicos, turbiditos terrígenos e bioclásticos, além de depósitos por fluxo de grãos pleistocênicos e holocênicos. Essa sedimentação reflete eventos de glaciação e transgressão holocênica, com deposição e retrabalhamento dos sedimentos ao longo do tempo.

4. RESULTADOS PRELIMINARES E DISCUSSÃO

O levantamento geoquímico do TRG gerou produtos que permitiram o reconhecimento da cobertura sedimentar, com foco nos depósitos fosfáticos e seu potencial mineralógico. Nesta nota, são apresentadas a estatística descritiva das variáveis químicas CaO %, P_2O_5 %, LOI % (perda ao fogo), F ppm e S %, bem como a distribuição espacial desses elementos (vide Mapa de Isotores), com o objetivo de delimitar possíveis áreas promissoras para a mineralização de depósitos fosfáticos. Até o momento, 124 alíquotas das amostras coletadas (Figura 4.1) foram analisadas no laboratório analítico da SGS Geosol.

4.1. ESTATÍSTICA UNIVARIADA

Nesta seção, são apresentados os parâmetros estatísticos das variáveis químicas CaO %, P_2O_5 %, LOI % (perda ao fogo), F ppm e S %, referentes às amostras analisadas (Tabela 4.1). Esses parâmetros fornecem uma visão geral da dispersão e homogeneidade dos componentes em questão. Segundo Krauskopf (1972), a abundância de elementos maiores e traço em rochas fosfáticas pode ser explicada pela associação com matéria orgânica ou pela interação desses elementos com a estrutura da apatita.

4.1.1. Óxido de cálcio (CaO)

A concentração de CaO (óxido de cálcio) variou de 4,05% a 39,90%, com mediana de 24,35% (Tabela 4.1). O CaO revelou-se um dos óxidos mais abundantes nas amostras analisadas, indicando a presença de sedimentos carbonáticos. Pelo diagrama QQ-plot e o histograma do CaO (Figura 4.2) os dados apresentam uma distribuição próxima da normalidade, com maior frequência dos valores situados entre 20% e 25%. Foram identificados dois *outliers* (Figura 4.3), com valores de 39,7% e 39,9%, ambos localizados na porção distal centro-sul da área em estudo.

Esses *outliers* podem refletir regiões com maior concentração de sedimentos carbonáticos, característica típica da sedimentação em ambiente marinho plataformar. O baixo coeficiente de variação (CV) de 23,19% (Tabela 4.1) indica uma distribuição mais homogênea desse óxido nas amostras analisadas. Apesar da predominância de teores elevados, algumas amostras apresentam concentrações muito baixas de CaO, o que pode ser indicativo de interação com sedimentos siliciclásticos.

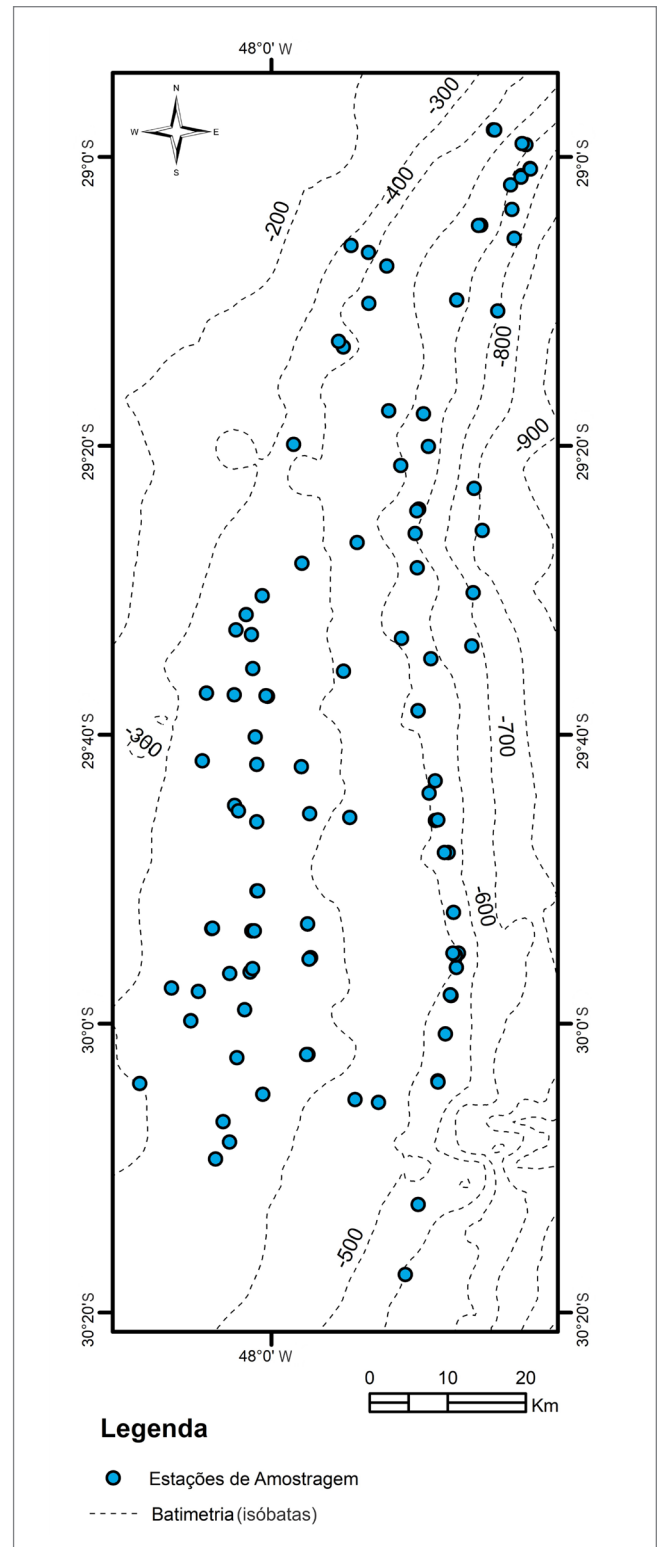


Figura 4.1 - Mapa das estações de amostragem.
Fonte: dados processados pela equipe do SGB-CPRM.

Tabela 4.1 - Sumário estatístico.

% / PPM	LIMITE DE DETECÇÃO	N VÁLIDOS	MÍNIMO	1° QUARTIL	MEDIANA	MÉDIA ARITMÉTICA	3° QUARTIL	MÁXIMO	LIMIAR DE 2° ORDEM $Q3+(Q3-Q1)*1,5$	LIMIAR DE 1° ORDEM $Q3+(Q3-Q1)*3,0$	DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO
CaO %	0,01	124	4,05	20,80	24,35	24,83	27,85	39,90	38,43	49,00	5,76	23,19
P ₂ O ₅ %	0,01	124	0,18	2,62	4,11	6,01	7,34	19,31	14,42	21,50	5,21	86,66
L.O.I %	-45	124	1,91	18,31	23,04	22,02	25,72	33,88	36,85	47,97	6,21	28,21
F ppm	30	123	15,00	1898,98	3246,96	4940,52	5991,75	18952,00	12130,91	18270,06	4602,70	93,16
S %	0,01	124	0,03	0,07	0,10	0,15	0,17	0,57	0,33	0,48	0,12	77,06

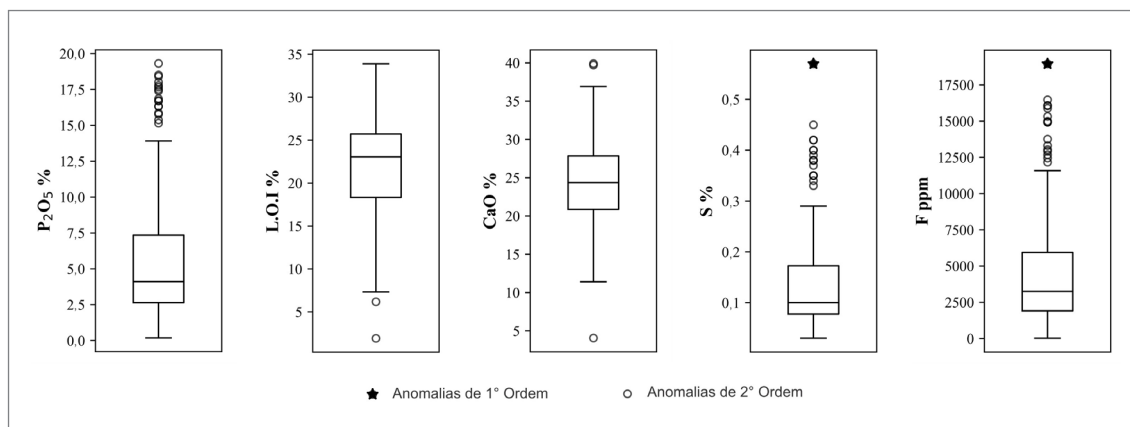


Figura 4.2 - Histogramas e diagramas qq-plot das variáveis analisadas.
Fonte: dados processados pela equipe do SGB-CPRM.

A distribuição do óxido de cálcio é relevante para a compreensão da composição mineralógica e geoquímica das rochas fosfáticas da região, devido à associação que ocorre entre esses componentes no processo de fosfogênese.

4.1.2. Óxido de Fósforo (P₂O₅)

O óxido de fósforo (P₂O₅) apresentou variação nos teores, de 0,18% a 19,31%, com mediana de 4,11%, média de 6,01% e coeficiente de variação de 86,66%, indicando alta dispersão dos dados (Tabela 4.1). O primeiro quartil foi registrado em 2,62% e o terceiro quartil em 7,34%, o que demonstra que metade das amostras está concentrada nesse intervalo.

O histograma de P₂O₅ revelou uma distribuição bimodal com assimetria positiva, sugerindo a existência de duas populações distintas em termos de concentração de fósforo (Figura 4.4). A primeira moda concentra 34% das amostras, com teores entre 2% e 4% de P₂O₅, enquanto a segunda, representando 7% das amostras, apresenta teores entre 16% e 18%. Essas duas modas indicam variações significativas nas concentrações de P₂O₅, devido a diferentes condições de deposição.

O diagrama QQ-plot reforça essa interpretação, apresentando uma curva sinuosa que sugere a existência de duas populações ou fácies distintas (Figura 4.4). No *box plot*, foram identificados dezessete *outliers* de 2º ordem, com concentrações de P₂O₅ variando entre 15,15% e 19,31% (Figura 4.2 e Tabela 4.2). Esses *outliers* estão distribuídos em duas áreas bem definidas: a primeira, localizada ao norte, contém seis *outliers*, com profundidades de coleta entre 402 metros e 682 metros; a segunda, na porção sudeste, apresenta onze *outliers*, com profundidades entre 443 metros e 568 metros. Esses *outliers* apontam para a presença de duas regiões de enriquecimento de P₂O₅.

4.1.3. LOI (*Loss on Ignition*)

O LOI (*Loss on Ignition*) apresentou teores variando de 1,91% a 33,88%, com mediana de 23,04%, média de 22,02% e coeficiente de variação de 28,21%, indicando dispersão moderada dos valores (Tabela 4.1). O primeiro quartil foi de 18,31% e o terceiro quartil de 25,72%, o que mostra que metade das amostras está concentrada nesse intervalo. A moda revelou que 39% das amostras possuem teores de LOI entre 20% e 25%, indicando que essa faixa de concentração é a mais representativa na área.

No diagrama *box plot*, dois *outliers* inferiores foram identificados com valores de 1,91% e 6,17%, representando amostras com perdas ao fogo consideravelmente mais baixas (Figura 4.2), provavelmente relacionadas a uma menor quantidade de minerais voláteis ou orgânicos. Em contraste, nove amostras apresentaram teores superiores a 30%, localizadas na porção distal da área de estudo. Essas amostras podem estar associadas a zonas onde as condições que favoreceram o acúmulo de materiais voláteis ricos em carbonatos, sulfatos ou matéria orgânica.

4.1.4. Flúor (F)

O flúor (F) apresentou teores variando de 15,00 ppm a 18.952,00 ppm, com mediana de 3.246,96 ppm e média aritmética de 4.940,52 ppm (Tabela 4.1). O primeiro quartil foi de 1.898,98 ppm e o terceiro quartil de 5.991,75 ppm. O coeficiente de variação de 93,16% reflete alta dispersão, indicando grande variabilidade nas concentrações de flúor entre as amostras.

O histograma revelou uma tênue distribuição bimodal (Figura 4.3). A primeira moda, que contém 33% das amostras, concentra-se entre 2.000 ppm e 4.000 ppm, enquanto a segunda moda, menor, representa 5% das amostras, com concentrações entre 12.000 ppm e 14.000 ppm.

O diagrama QQ-plot exibe uma curva sinuosa, sugerindo a existência de duas populações distintas (Figura 4.3), assim como observado no histograma.

No *box plot*, foram identificados 16 valores acima do limiar de 2ª ordem, com concentrações a partir de 12.130,91 ppm (Figura 4.2). A maior anomalia (1ª ordem) foi detectada com um valor de 18.952,00 ppm.

Esses *outliers* estão distribuídos em duas áreas geograficamente bem definidas: a primeira, localizada ao norte, contém cinco *outliers*; a segunda, na porção sudeste, contém doze *outliers*. É importante destacar que Abreu *et al.* (2014) constatou uma alta afinidade iônica entre o flúor e o fósforo em amostras de depósitos fosfáticos na margem continental sul-brasileira.

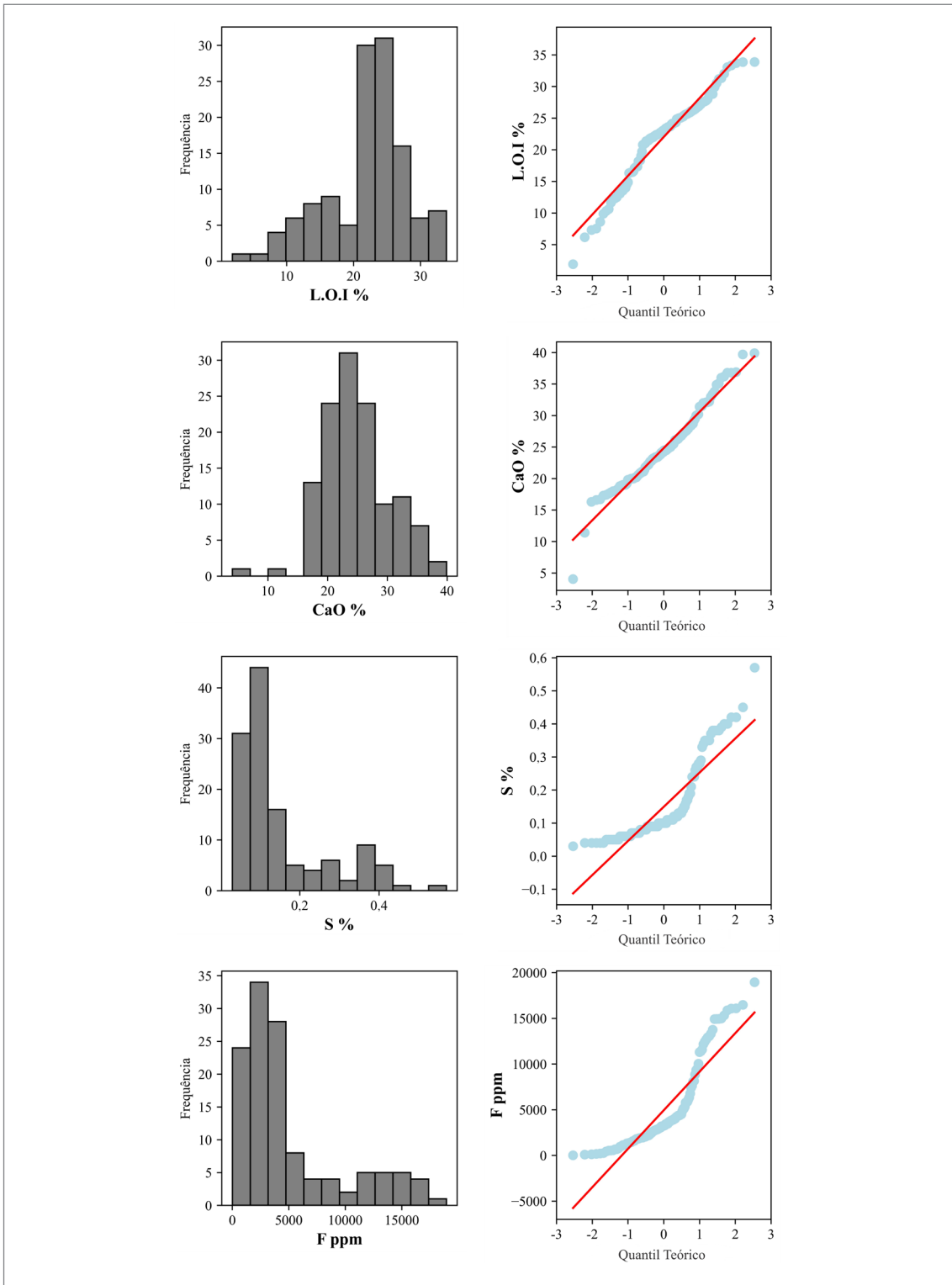


Figura 4.3 - Diagramas *box plot* das variáveis analisadas. Fonte: dados processados pela equipe SGB.

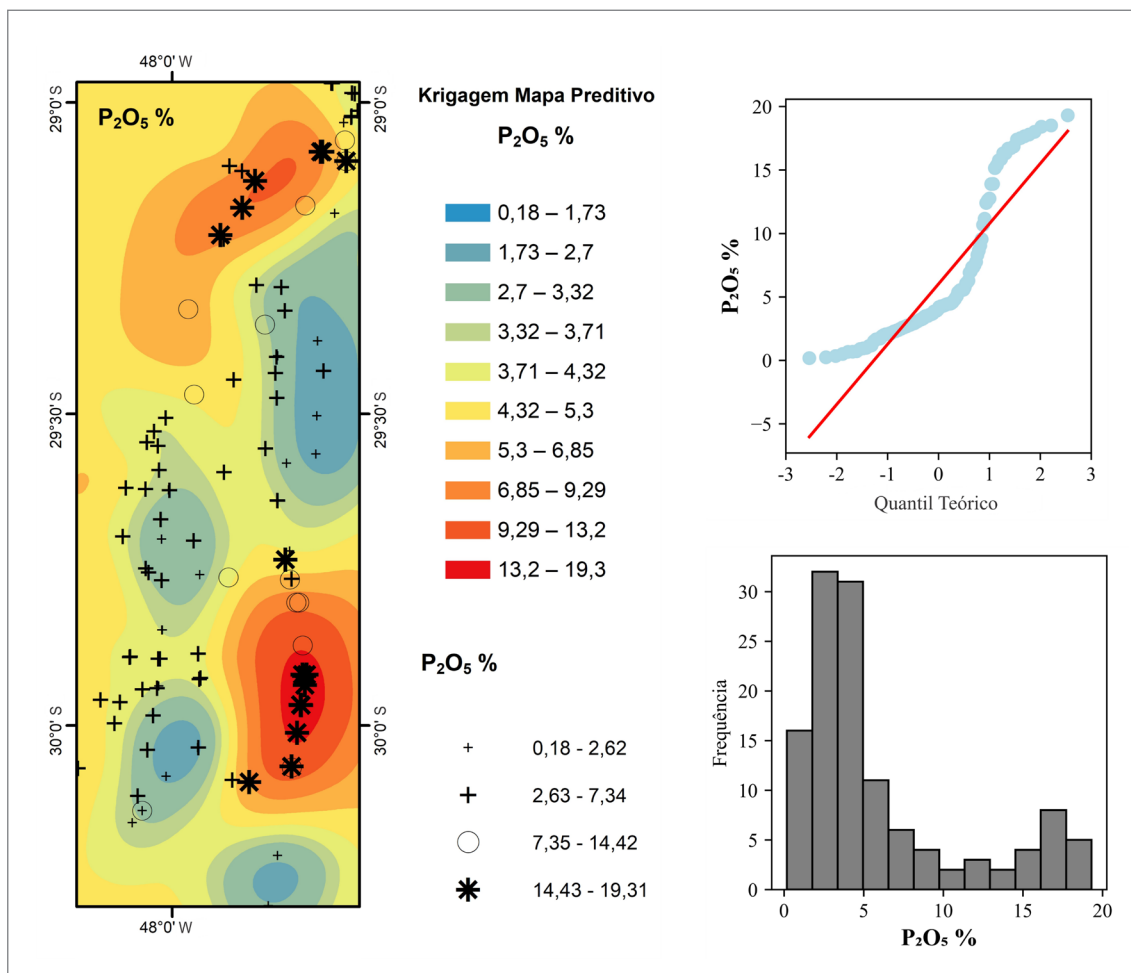


Figura 4.4 - Mapa de predição apresentando o diagrama QQ-plot e histograma do P_2O_5 %.
 Fonte: dados processados pela equipe do SGB-CPRM.

Tabela 4.2 - Coordenadas das amostras que apresentaram outliers para P_2O_5 % (Datum SIRGAS 2000).

AMOSTRA	LATITUDE	LONGITUDE	P_2O_5 %
4377-RBC-099A	-30,091111	-47,876667	19,31
4377-RM-C-009-a	-29,125800	-47,867100	18,51
4377-FAC-091B	-30,011944	-47,799444	18,41
4377-FAC-089B	-29,921111	-47,788056	18,01
4377-RB-C-022A-a	-29,935400	-47,787000	17,79
4377-FAC-089A	-29,918889	-47,784444	17,66
4377-FAC-092A	-30,066111	-47,808333	17,51
4377-FAC-090B	-29,966944	-47,793889	17,4
4377-RB-C-005-a	-29,169100	-47,887700	16,85
4377-VHC-123B	-29,212850	-47,922483	16,72
4377-MS-C-021-b	-29,734100	-47,818300	16,69
4377-MV-C-011B-a	-29,093900	-47,720300	16,32
4377-FAC-089D	-29,918889	-47,790833	16,32
4377-RB-C-022B-a	-29,935400	-47,787000	15,86
4377-FAC-090A	-29,967778	-47,793056	15,77
4377-MLC-030B	-29,079167	-47,761389	15,38
4377-MLC-030A	-29,078889	-47,758889	15,15

4.1.5. Enxofre (S)

O enxofre (S) apresentou teores entre 0,03% e 0,57%, com mediana de 0,10% e coeficiente de variação de 77,06% (Tabela 4.1). O histograma revelou distribuição lognormal com assimetria positiva, sugerindo que a maioria das amostras apresenta teores baixos de enxofre (Figura 4.3). Cerca de 53% das amostras possuem concentrações entre 0,0% e 0,1%.

No *box plot*, foram identificados nove *outliers*, com concentrações variando entre 0,38% e 0,45%, além de uma anomalia de 1ª ordem, com valor máximo de 0,57%, demonstrado na Figura 4.3.

Foram mapeadas duas zonas anômalas ao norte e ao sul da área de estudo (vide Mapa de Isotopes), onde se concentraram os *outliers* de enxofre.

A distribuição espacial desses valores sugere que, embora o enxofre esteja presente de forma incipiente na maior parte da área, essas zonas apresentam condições específicas que favorecem seu acúmulo. Esses resultados indicam que há ambientes de sedimentação distintos na região, alguns dos quais podem estar mais associados a depósitos de rochas fosfáticas. O H_2S é uma fonte de energia para bactérias sulfo-oxidantes que, ao decompor a matéria orgânica, promovem a concentração de fósforo na água conata (Pufahl, 2010).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A área de estudo apresentou ocorrências de fosforitas com maiores concentrações nas porções norte e sul. A primeira área, localizada ao norte, contém seis outliers, com profundidades de coleta variando entre 402 metros e 682 metros. A segunda, na porção sudeste, apresenta onze outliers, com profundidades entre 443 metros e 568 metros. Esses outliers indicam a presença de duas regiões de enriquecimento de P_2O_5 , possivelmente associadas a diferentes processos sedimentares ou condições deposicionais. Os altos teores

de P_2O_5 encontrados (>10%) ressaltam a necessidade de ampliação da área de estudo e aprofundamento das pesquisas com foco na gênese e viabilidade econômica dessas ocorrências. Os resultados apresentados podem ser consultados no Mapa de Isotopos de Fosfato em Rochas do Terraço do Rio Grande, disponível no site do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Destaca-se, ainda, que as atividades do projeto estão em andamento, e um segundo lote de amostras encontra-se em processo de análise química.

REFERÊNCIAS

- ABREU, J. G. N.; CORRÊA, I. C. S.; HORN FILHO, N. O.; CALLIARI, L. J. Phosphorites of the Brazilian Continental Margin, Southwestern Atlantic Ocean. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v. 32, n. 3, p. 539-548, 2014.
- DIAS, J. L.; SAD, A. R. E.; FONTANA, R. L.; FEIJÓ, F. J. Bacia de Pelotas. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 235-245, jan./mar. 1994.
- KRAUSKOPF, K. B. **Introdução a geoquímica**. São Paulo: Polígono, 1972. 2v.
- MACHADO, L. G. **Evolução morfo-tectônica do Alto de Florianópolis que segmenta as bacias de Santos e Pelotas, margem sudeste da costa brasileira**. 2010. 125f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geofísica Marinha) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2010.
- MARTINS L. R. S.; MARTINS, I. R.; CORRÊA, I. C. S. Aspectos Sedimentares da Plataforma Externa e Talude Superior do Rio Grande do Sul. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 17, n. 17, p. 68-90, jan./abr., 1985.
- PUFAHL, P. K. Bioelemental sediments. *In*: JAMES, N. P.; DALRYMPLE, R. W. (eds.). **Facies models 4**. St. John's [Canadá]: Geological Association of Canada, 2010. p. 477-503.

ISBN 978-65-5664-646-6



SERVIÇO
GEOLÓGICO
DO BRASIL

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



SGB.GOV.BR