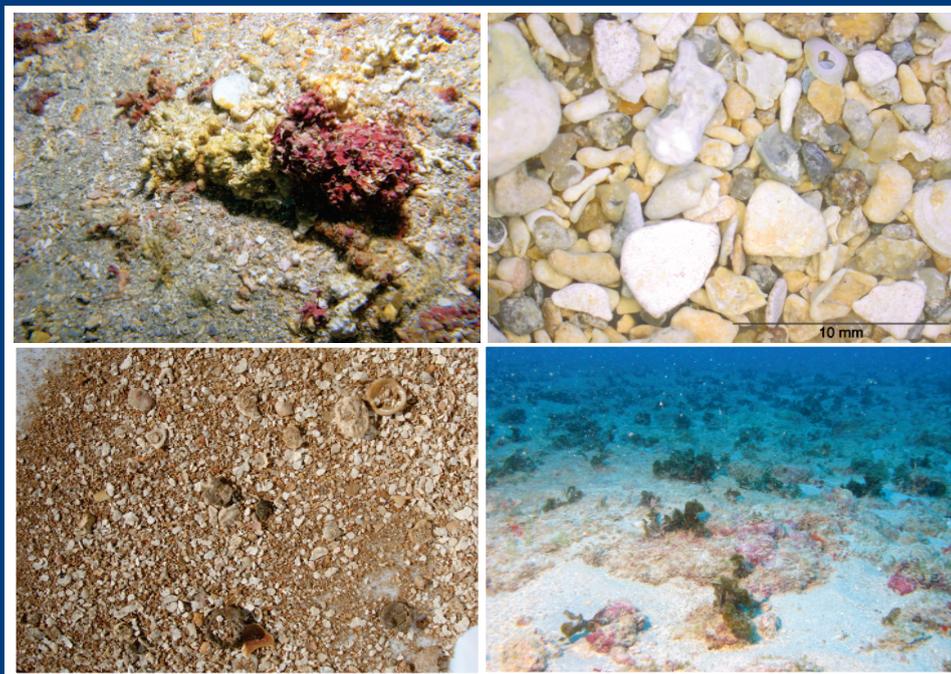


PROGRAMA OCEANOS, ZONA COSTEIRA E ANTÁRTICA

POTENCIALIDADE DOS GRANULADOS MARINHOS DA PLATAFORMA CONTINENTAL RASA DE PERNAMBUCO



INFORME DE RECURSOS MINERAIS

Série Recursos Minerais Marinhos, nº 03

Levantamento Geológico, Oceanográfico
e Ambiental do Potencial Mineral do
Espaço Marinho e Costeiro

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

Bento Albuquerque

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Alexandre Vidigal de Oliveira

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE RECIFE

Superintendente Regional

Vanildo Almeida Mendes

Gerência de Geologia e Recursos Minerais

Cleide Regina Moura da Silva

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor Presidente

Esteves Pedro Colnago

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Marcio José Remédio

Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial

Alice Silva de Castilho

Diretor de Infraestrutura Geocientífica

Paulo Afonso Romano

Diretor de Administração e Finanças

Cassiano de Souza Alves

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Chefe do Centro de Desenvolvimento Tecnológico

Neovaldo de Araujo Teixeira

Chefe do Departamento de Geologia

Lúcia Travassos da Rosa Costa

Chefe da Divisão de Geologia Básica

Vladimir Cruz de Medeiros

Chefe da Divisão de Sensoriamento Remoto e Geofísica

Luiz Gustavo Rodrigues Pinto

Chefe do Departamento de Recursos Minerais

Marcelo Esteves Almeida

Chefe da Divisão de Projetos Especiais e Minerais Estragégicos

Ioná de Abreu Cunha

Chefe da Divisão de Geologia Econômica

Felipe Matos Tavares

Chefe da Divisão de Geoquímica

Silvana de Carvalho Melo

Chefe do Departamento de Informações Institucionais

Edgar Shinzato

Chefe da Divisão de Geoprocessamento

Hiran Silva Dias

Chefe da Divisão de Cartografia

Fábio Silva da Costa

Chefe da Divisão de Documentação Técnica

Roberta Pereira da Silva de Paula

Chefe do Departamento de Relações Institucionais e Divulgação

Patrícia Duringer Jacques

Chefe da Divisão de Marketing e Divulgação

Washington José Ferreira Santos

Chefe da Divisão de Apoio Técnico

Maria José Cabral Cezar

Chefe da Divisão de Editoração Geral

Valter Alvarenga Barradas

Coordenação Técnica do Projeto

Hortencia Maria Barboza de Assis

Ronaldo Gomes Bezerra

Márcio Martins Valle

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
DIRETORIA DE GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO

I PROGRAMA OCEANOS, ZONA COSTEIRA E ANTÁRTICA I

**LEVANTAMENTO GEOLÓGICO, OCEANOGRÁFICO E AMBIENTAL
DO POTENCIAL MINERAL DO ESPAÇO MARINHO E COSTEIRO**

POTENCIALIDADE DOS GRANULADOS MARINHOS DA PLATAFORMA CONTINENTAL RASA DE PERNAMBUCO

ORGANIZADORES

Marcio Martins Valle
Valdir do Amaral Vaz Manso
Hortencia Maria Barboza de Assis
Ronaldo Gomes Bezerra
Rafael Correa de Melo

INFORME DE RECURSOS MINERAIS

Recursos Minerais Marinhos, nº 03



**SERVIÇO GEOLÓGICO
DO BRASIL - CPRM**

Recife
2020

REALIZAÇÃO

Superintendência Regional de Recife

ORGANIZAÇÃO

Marcio Martins Valle

AUTORES

Marcio Martins Valle
Valdir do Amaral Vaz Manso
Hortencia Maria Barboza de Assis
Ronaldo Gomes Bezerra
Rafael Correa de Melo

EQUIPE TÉCNICA DA PESQUISA**Coordenação Técnica Nacional**

Hortencia Maria Barboza de Assis

Coordenação UFPE

Valdir do Amaral Vaz Manso

COORDENAÇÃO CPRM- PIATAFORMA CONTINENTAL RASA DO BRASIL

Ronaldo Gomes Bezerra
Márcio Martins Valle

COLABORADORES

Katiane dos Santos Salviano – SUREG-RE/CPRM
Ludmila Bernardo Farias Pereira – SUREG-RE/CPRM
Núbia Siqueira Guerra – LABOGEO/UFPE
Equipe do Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha – LGGM/UFPE

PROJETO GRÁFICO/EDITORIAÇÃO**Capa (DIMARK)**

Washington José Ferreira Santos

Diagramação (ERJ)

Pedro da Silva

Estagiária

Ingrid Rodrigues Silva - SUREG-RE/CPRM

Compatibilização e Revisão Geral

Ronaldo Gomes Bezerra
Rafael Corrêa de Melo
Márcio Martins Valle
Hortencia Maria Barboza de Assis

Cartografia Digital

Betânia Queiroz da Silva

Revisão Final

Hortencia Maria Barboza de Assis

Serviço Geológico do Brasil - CPRM

www.cprm.gov.br
seus@cprm.gov.br

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

P861 Potencialidade dos granulados marinhos da plataforma continental rasa de Pernambuco : Organizadores Márcio Martins Valle [et al.].
... – Recife : CPRM, 2020.
1. recurso eletrônico : PDF. – (Informe de recursos minerais. Série recursos minerais marinhos ; 03)

Levantamento geológico, oceanográfico e ambiental do potencial mineral do espaço marinho e costeiro.
ISBN 978-65-5664-076-1

1.Geologia econômica. 2.Recursos minerais. I. Valle, Márcio Martins (org.). II. Manso, Valdir do Amaral Vaz (org.). III. Assis, Hortência Maria Barboza de (org.). IV. Bezerra, Ronaldo Gomes (org.). V. Melo, Rafael Corrêa de (org.). VI. Série. VII. Título.

CDD 553.0981

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Teresa Rosenhayme CRB 5662

Direitos desta edição: Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte.

APRESENTAÇÃO

Este exemplar faz parte da série intitulada “Série de Recursos Minerais Marinhos”, cuja abordagem temática está relacionada à potencialidade estratégica dos bens minerais marinhos da plataforma continental rasa do Brasil.

Este informe compõe, portanto, o **3º volume** da Série Recursos Minerais Marinhos da Diretoria de Geologia e Recursos Minerais, que passa a contar com os seguintes títulos:

- 1) **Potencialidade dos granulados marinhos da plataforma continental leste do Ceará**
- 2) **Potencialidade dos granulados marinhos da plataforma continental do Rio Grande do Norte: setor Touros**
- 3) **Potencialidade dos granulados marinhos da plataforma continental rasa de Pernambuco**

A aquisição de exemplares deste informe poderá ser efetuada diretamente na Superintendência Regional de Recife ou podem ser adquiridos na rede de bibliotecas da CPRM, através do SEUS (Serviço de Atendimento aos Usuários). Os endereços e e-mails correspondentes estão listados na contracapa.

Esteves Pedro Colnago

Diretor-Presidente

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Marcio José Remédio

Noevaldo de Araujo Teixeira

Chefe do Centro de Desenvolvimento Tecnológico

RESUMO

O Projeto Plataforma Rasa do Brasil, iniciado no litoral nordestino na primeira década do século XXI, desenvolve seus estudos com o objetivo de produzir e difundir informações geológicas sobre a plataforma continental brasileira, especialmente em sua porção mais rasa, entre a linha de costa e profundidades menores do que 30 m. Com isso, pretende-se instrumentalizar os diversos atores governamentais, privados, acadêmicos e da sociedade civil, que participam do gerenciamento do ambiente marinho, com informações acerca da potencialidade dos recursos minerais ali presentes, mantendo-se sempre a preocupação com os impactos ambientais da eventual atividade mineradora no mar. Estes estudos contemplam levantamentos geológicos e geofísicos, não só detalhando sítios de potencial interesse geoeconômico, mas também podendo servir de subsídio para estudos futuros de viabilidade técnica, econômica e ambiental para a região.

Inseridos neste Projeto, os setores Itamaracá, Recife e Sirinhaém, que compõem toda a plataforma rasa do estado de Pernambuco, são caracterizados neste volume da Série Recursos Minerais Marinhos, editada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), a partir da análise de expressiva quantidade de dados coletados em campo especificamente para este projeto e processados e interpretados em laboratórios da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e da Superintendência Regional de Recife da CPRM. Com base nas análises realizadas, foram produzidos mapas temáticos na escala 1:100.000 de batimetria, diâmetro médio dos sedimentos, distribuição dos teores de cascalho, areia, lama e de carbonato de cálcio e, a partir da integração destas informações, foi produzida a Carta de Caracterização dos Agregados Marinhos da Plataforma Continental Rasa do Estado de Pernambuco, disponível no website do Repositório Institucional de Geociências da CPRM (<http://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/21614>).

De forma geral, a plataforma de Pernambuco é coberta por sedimentos predominantemente arenosos (diâmetros entre 0,063 mm e 2,0 mm) com destaque para areias grossas (0,5 – 1,0 mm) e muito grossas (1,0 – 2,0 mm), também com marcante presença de cascalhos (diâmetros maiores do que 2,0 mm), sendo que o diâmetro médio diminui de norte para sul da plataforma. Quanto à sua composição química, os sedimentos superficiais apresentam altos teores de carbonato de cálcio (CaCO_3), frequentemente acima de 75% em massa, sendo compostos principalmente por fragmentos de algas calcárias verdes do gênero *Halimeda* ou vermelhas não-articuladas da ordem *Corallinales*. Os sedimentos mais ricos em grãos siliciclásticos ficam restritos às proximidades das desembocaduras fluviais na plataforma interna.

Atualmente, diversos países do mundo já aproveitam os granulados marinhos em variadas atividades econômicas, com destaque para as indústrias da construção civil e agropecuária, onde são usados para a produção de fertilizantes e suplementos alimentares para a criação de animais.

Assim, os recursos minerais da plataforma continental rasa contribuem para agregar valor socioeconômico às já valorizadas localidades litorâneas, embora estudos mais detalhados sejam necessários a fim de se minimizar os custos de produção e, especialmente, o impacto ambiental da atividade de modo que sua exploração possa ser economicamente viável e ambientalmente sustentável.

ABSTRACT

The “Brazil’s Shallow Continental Shelf Project”, which started on the northeastern coast in the first decade of the 21st century, has been developing studies with the purpose of producing and spreading geological information about the Brazilian continental shelf, especially on its shallowest portion, between the coastline and 30 m isobaths. The final aim is to provide information on the potential of shallow water marine mineral resources to the agents enrolled in marine environment management, including governmental, industrial, academic and civil society sectors, always keeping in mind the concern with the environmental impacts of the mining activity at sea. These studies include geological and geophysical surveys, that not only detail potentially interesting geoeconomic sites, but also subsidize future studies of technical, economic and environmental feasibility for the region.

Included within this Project, Itamaracá, Recife and Sirinhaém sectors, which make up the entire Pernambuco shallow continental shelf (NE Brazil), are featured in this volume of the Marine Mineral Resources Series, edited by the Geological Survey of Brazil (CPRM). Based on the analysis of a significant amount of field data collected specifically for this project and processed and interpreted in laboratories of Federal University of Pernambuco (UFPE) and CPRM facility in Recife, a set of thematic maps were produced on a scale of 1: 100,000: bathymetry, average sediment grain sizes, distribution of gravel, sand, mud and calcium carbonate contents. From the integration of these information, CPRM published in 2015 a chart called “Carta de Caracterização dos Agregados Marinhos da Plataforma Continental Rasa do Estado de Pernambuco” (Marine aggregates from the shallow continental shelf off Pernambuco State chart), available on the CPRM Institutional Geosciences Repository website (<http://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/21614>).

In general, Pernambuco shallow continental shelf is covered by sandy sediments (grain diameters ranging from 0.063 mm to 2.0 mm) highlighting coarse (0.5 - 1.0 mm) and very coarse (1.0 - 2, 0 mm) sands, also with a marked presence of gravel (grain diameter larger than 2.0 mm), with the average diameter decreasing from north to south of the shelf. As for their chemical composition, surface sediments have high levels of calcium carbonate (CaCO_3), often above 75% by mass, being mainly composed of fragments of green calcareous algae of the genus *Halimeda* or non-articulated red algae from the *Corallinales* order. Sediments richer in siliciclastic grains are restricted to the river mouths' vicinities on inner shelf.

Currently, several countries of the world already use marine aggregates in various economic activities, with emphasis on applications in the construction and agricultural industries, where it is used for the production of fertilizers and food supplements for livestock. Also, the marine aggregates are used worldwide in beach nourishment, an old problem that raises growing concern in the Brazilian coastal cities.

Thus, the mineral resources of the shallow continental shelf contribute to add socioeconomic value to the already valued coastal locations, although more detailed studies are necessary in order to minimize production costs and, especially, the environmental impact of the activity so that its exploration can be economically viable and environmentally sustainable.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. ÁREA DA PESQUISA	8
2.1. Aspectos da geologia regional	8
2.2. Aspectos meteoceanográficos.....	10
3. ZONA COSTEIRA E PLATAFORMA CONTINENTAL DE PERNAMBUCO	12
3.1. Sedimentação quaternária na zona costeira pernambucana	13
4. MÉTODOS	17
4.1. Batimetria.....	17
4.2. Sedimentologia	17
4.2.1. Amostragem	17
4.2.2. Análise granulométrica e classificação textural	17
4.2.3. Análise composicional	19
4.2.4. Análise morfooscópica	19
4.3. Cartografia	20
4.3.1. Cartas batimétricas	20
4.3.2. Distribuição textural e composicional da cobertura sedimentar.....	20
5. MAPEAMENTO DOS RECURSOS MINERAIS MARINHOS	21
5.1. Morfologia do leito marinho.....	21
5.1.1. Setor Itamaracá	21
5.1.2. Setor Recife.....	21
5.1.3. Setor Sirinhaém	25
5.2. Distribuição dos teores de cascalho, areia e lama	25
5.2.1. Setor Itamaracá	25
5.2.2. Setor Recife	26
5.2.3. Setor Sirinhaém	27
5.3. Distribuição do diâmetro médio das amostras coletadas.....	27
5.4. Classificação textural das amostras e sua distribuição.....	30
5.5. Distribuição dos teores de carbonato de cálcio (CaCO ₃)	37
5.5.1. Setor Itamaracá	38
5.5.2. Setor Recife	38
5.5.3. Setor Sirinhaém	38
6. AVALIAÇÃO DA POTENCIALIDADE DOS GRANULADOS MARINHOS DA PLATAFORMA CONTINENTAL RASA DE PERNAMBUCO DE PERNAMBUCO	43
6.1. Granulados bioclásticos	43
6.2. Granulados siliciclásticos	45
6.3. Aspectos ambientais	46
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
REFERÊNCIAS.....	50
ANEXOS.....	53

1. INTRODUÇÃO

Segundo Velegrakis *et al.* (2010), agregados marinhos formam depósitos de sedimentos não-metálicos compostos por sedimentos grossos (cascalho e areia) que se acumulam tanto por processos sedimentares contemporâneos quanto pretéritos. Diversos países do mundo já exploram este material, principalmente, para utilizá-lo na indústria da construção civil (HETHERINGTON; HIGHLEY, 2010), mas também para atividades de recuperação de praias afetadas pela erosão (DEAN, 2003) e na indústria de insumos agrícolas (MELO; FURTINI NETO, 2003), no caso de sedimentos de composição carbonática. Segundo Bonne (2010), por exemplo, no início do século XXI, os países membros da União Europeia já extraíam a cada ano aproximadamente 40 milhões de m³ de areia e cascalho da plataforma interna do norte daquele continente. Ainda de acordo com o mesmo autor, esta demanda tende a crescer no futuro próximo devido à pressão provocada pela maior urbanização e pelas necessidades de recuperação de ambientes degradados na zona costeira.

Quanto à sua origem, estes materiais podem ser classificados em (i) terrígenos, quando se formam a partir da fragmentação de rochas do continente e da zona costeira e são carregados por rios e retrabalhados por processos hidrodinâmicos costeiros (ondas, correntes e marés), e (ii) biogênicos, quando são formados localmente através da fragmentação de esqueletos minerais dos mais diversos organismos, dentre os quais se destacam algas calcárias verdes e vermelhas, corais, poríferos e conchas de moluscos. Por sua vez, quanto à sua composição, os agregados marinhos podem ser siliciclásticos, quando predominam materiais silicosos (e.g. quartzo e feldspato) – usualmente de origem terrígena – ou carbonáticos, quando ricos em carbonatos de cálcio e/ou magnésio (e.g. dolomita, calcita e aragonita) – normalmente de origem biogênica.

A plataforma continental nordeste e leste do Brasil é predominantemente coberta por sedimentos carbonáticos de origem biogênica, que ocupam os setores médio e externo da plataforma (DIAS, 2001). Estes sedimentos

apresentam-se nas frações cascalho e areia, sendo constituídos por algas coralinas ramificadas, fragmentos de *Halimeda*, moluscos, briozoários e foraminíferos (REBOUÇAS, 2010).

A pesquisa na plataforma continental de Pernambuco foi conduzida a partir de uma parceria entre pesquisadores da Superintendência Regional de Recife da CPRM (SUREG-RE) e do Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha da Universidade Federal de Pernambuco (LGGM/UFPE), regida pelo contrato nº 034/PR/04 firmado entre a CPRM e a Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da UFPE (FADE/UFPE), contando também com a colaboração de pesquisadores das Universidades Federais do Ceará (UFC) e do Rio Grande do Norte (UFRN). Para fins de planejamento, o limite mar adentro da área pesquisada foi estabelecido na isóbata de -30 m, segundo cartografia da Divisão de Hidrografia e Navegação (DHN), da Marinha do Brasil.

O trabalho se dividiu em etapas de campo, laboratório e escritório, com a finalidade de produzir mapas temáticos básicos (textura da cobertura sedimentar, teor de carbonato de cálcio e batimetria) que permitissem aos diversos atores da sociedade pernambucana a identificação de áreas com potencial interesse para ocorrências de agregados marinhos.

Nas etapas de campo, foram realizadas coletas sistemáticas de amostras de sedimento do leito marinho e o levantamento de dados batimétricos. Em laboratório, estas amostras e dados foram processados e tratados de modo a serem integrados em um banco de dados georreferenciados. A partir destas informações foram feitas interpolações e interpretações que culminaram na publicação pela CPRM, em 2015, da Carta de Caracterização dos Agregados Marinhos da Plataforma Continental Rasa do Estado de Pernambuco, em escala 1:250.000, e deste terceiro volume da Série Informe de Recursos Minerais Marinhos, que visa detalhar todos os aspectos da pesquisa realizada que culminou naquela carta.

2. ÁREA DA PESQUISA

A linha de costa pernambucana estende-se por aproximadamente 187 km entre as divisas com os estados de Alagoas, ao sul, e Paraíba, ao Norte (Figura 1). As praias arenosas ocupam aproximadamente 156 km da costa, apresentando grande continuidade e sendo apenas eventualmente interrompidas pela desembocadura de pequenos rios ou pela presença de poucos costões rochosos.

Na costa pernambucana, é marcante a presença de pequenos estuários com manguezais, característicos de ambientes dominados por marés, e a quase ausência de dunas na planície costeira, devido ao pequeno aporte de sedimentos de origem continental. Tais características conferem à costa pernambucana caráter transgressivo recente, que também se reflete nos problemas de erosão costeira observados em grande parte do litoral do estado (PEREIRA, *et al.*, 2015).

2.1. ASPECTOS DA GEOLOGIA REGIONAL

A província costeira e a plataforma continental adjacente ao estado de Pernambuco está dividida entre duas bacias geológicas, separadas pelo lineamento Pernambuco (LIMA FILHO *et al.*, 2005): Bacia Paraíba, ao norte de Recife, e Bacia Pernambuco, ao Sul.

A bacia Paraíba constitui-se de uma sucessão de estratos cretácicos, paleógenos, neógenos e quaternários, entre o sul de Recife (PE) até o norte de João Pessoa (PB) e apresenta topografia de relevo rebaixado (BARBOSA *et al.*, 2007). Sua faixa sedimentar apresenta largura média de 25 km, espessura máxima de 400 m e estratos sub-horizontais inclinados suavemente em direção ao mar com gradientes entre 5 e 25 m/km. Os processos iniciais de sedimentação se sucederam entre as fases continental, transicional e marinha representadas, respectivamente, pelas Formações Beberibe, Itamaracá e Gramame, todas do período Cretáceo Superior, além da Formação Maria Farinha, também característica da fase marinha da bacia, porém ligeiramente mais recente, já no Paleógeno. Mais recentemente, depositaram-se os sedimentos da Formação Barreiras, datados da transição entre os períodos Neógeno e Quaternário e característicos de sistemas fluviais de canais entrelaçados e de ambientes marinho raso (BARBOSA, 2004; BARBOSA *et al.*, 2007; MABESOONE; ALHEIROS, 1988).

A bacia Pernambuco, por sua vez, se estende do sul de Recife até o alto de Maragogi, no extremo norte

do litoral de Alagoas. Assim como a bacia Paraíba, a bacia Pernambuco também tem sua origem na separação entre as placas africana e sulamericana, porém é ligeiramente mais antiga, com seus sedimentos basais datados do período Cretáceo Inferior. Destacam-se da base ao topo desta bacia a Formação Cabo, cortada pela suíte vulcânica Ipojuca e as formações Estiva e Algodais, estas últimas já do período Cretáceo Superior. Aparentemente, a bacia apresenta um hiato deposicional que se estende durante todo o Paleógeno até o fim do Neógeno e a transição para o Quaternário, quando se observa a deposição da Formação Barreiras de ambientes transicionais, apresentando estratificações plano-paralelas e cruzadas-acanaladas e com seus sedimentos areníticos a cascalhosos e até seixosos de cor predominantemente branca, embora intercaladas por pequenas camadas argilosas ricas em óxidos de ferro avermelhados (LIMA FILHO, 1998; MABESOONE; ALHEIROS, 1988).

Quanto aos aspectos fisiográficos, a província costeira Pernambucana pode ser dividida em três setores (adaptado de (Coutinho, 2000):

(i) **Setor sul:** Localizado entre a divisa com o estado de Alagoas, no município de São José da Coroa Grande, e a foz do Rio Jaboatão entre os municípios de Cabo de Santo Agostinho e Jaboatão dos Guararapes, este trecho da província costeira é marcado pelo afloramento próximo à costa do embasamento cristalino pré-Cambriano de composição granítica e migmatítica, marcando uma planície costeira pouco desenvolvida, orientada na direção geral SW-NE e que se estreita à medida em que se aproxima do seu limite sul (DOMINGUEZ *et al.*, 1990). Bordejando as rochas do embasamento, aparecem as formações Cabo, Estiva e Algodais, todas de origem sedimentar. Além destas, merece destaque a presença de rochas vulcânicas extrusivas da Formação Ipojuca, que eventualmente chegam até o litoral. Em consequência, a linha de costa é irregular e marcada pela presença de enseadas, limitadas por recifes em franja, estuários, restingas ou costões rochosos. Neste setor, está localizada a única falésia ativa do litoral pernambucano, na praia de Guadalupe (Sirinhaem), onde estão expostos arenitos e folhelhos estratificados das formações Cabo e Barreiras e um terraço de abrasão marinha na zona intermareal (MANSO *et al.*, 2018).

(ii) **Setor médio:** Trata-se do setor de maior desenvolvimento da planície costeira Quaternária no estado de Pernambuco e localiza-se entre os municípios de

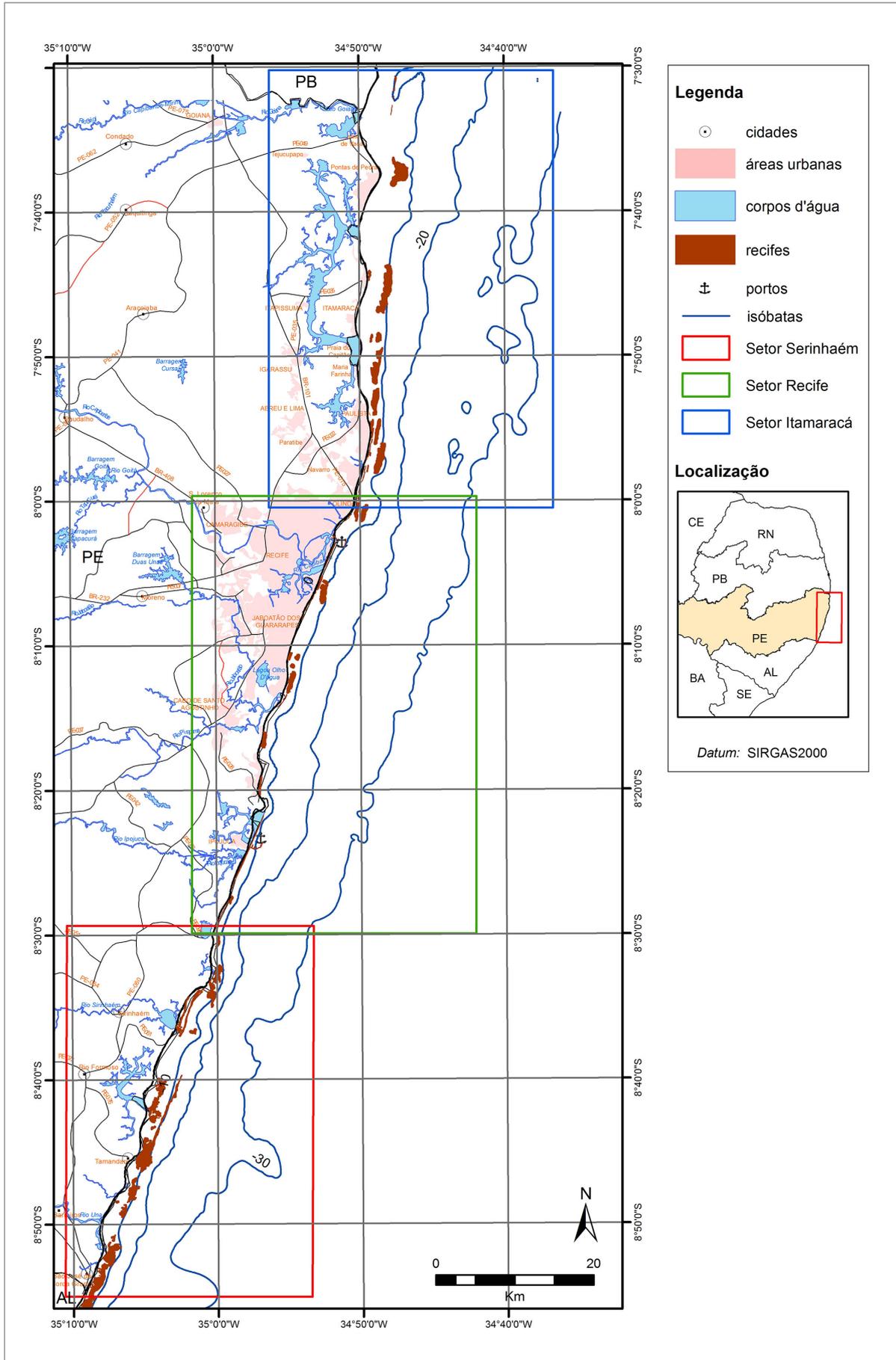


Figura 1 - Área pesquisada na plataforma continental de Pernambuco entre a costa e a isóбата de -30 m.

Jaboatão dos Guararapes e Olinda, incluindo a capital Recife construída, majoritariamente, sobre os sedimentos da planície de inundação do sistema estuarino dos rios Capibaribe e Beberibe. A linha de costa apresenta-se orientada na direção SW-NE, com praias arenosas bastante lineares devido à presença quase constante de rochas praias ao largo que afloram nas marés baixas (MANSO *et al.*, 2018).

(iii) **Setor norte:** Limitado pelos municípios de Paulista e Goiana, na divisa de estado com a Paraíba, este setor é caracterizado pelo pouco desenvolvimento da planície costeira quaternária que bordeja afloramentos das formações Beberibe, Itamaracá, Gramame, Maria Farinha e Barreiras. A linha de costa assume direção geral S-N e é recortada por estuários cobertos por manguezais e marcada por praias arenosas retilíneas, bem desenvolvidas e protegidas por bancos recifais localizados na plataforma interna (DOMINGUEZ *et al.*, 1990; PEREIRA; ARAÚJO; MANSO, 2016).

2.2. ASPECTOS METEOCEANOGRÁFICOS

Atualmente, a DHN disponibiliza previsões de maré para dois portos no estado de Pernambuco: um na capital Recife, instalado na desembocadura do estuário dos rios Capibaribe e Beberibe, e outro no antigo estuário do rio Suape, localizado a cerca de 45 km ao sul da capital, entre os municípios de Ipojuca e Cabo de Santo Agostinho. As marés nestes dois portos oscilam entre limites muito semelhantes, mostrando apenas uma defasagem inconstante de poucos minutos entre seus tempos de estofa. De modo geral, a amplitude de maré varia aproximadamente entre 0,7 m, na quadratura, e 2,7 m, na sizígia, com período médio de 12,42 h, sendo a forçante astronômica predominante sobre a meteorológica (MANSO *et al.*, 2018). Segundo estes valores, a costa pernambucana está submetida a um regime de mesomarés semidiurnas e, sendo assim, as correntes de maré podem exercer alguma influência na modelagem das feições da costa e das porções mais rasas da plataforma interna.

O clima de ondas no litoral de Pernambuco decorre do regime de ventos locais sob a influência constante dos ventos alísios, que sopram ao largo da plataforma predominantemente entre E e SE durante todo o ano. Entretanto, entre os meses de outubro e março, quando a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) migra para o sul, ocorrem inversões ocasionais de vento para as direções do quadrante E-NE em períodos de poucos dias. Os ventos mais intensos alcançam aproximadamente 4,7 m/s entre os meses de abril e setembro (PIANCA; MAZZINI; SIEGLE, 2010).

Segundo dados de reanálise de modelos oceânicos consagrados, as ondas incidem predominantemente

de SSE e atingem alturas significativas ao largo da plataforma continental de Pernambuco que variam entre 1,5 m e 2 m e períodos de pico médios entre 8 s e 9 s. As maiores e mais longas ondas chegam a 4,8 m e 14,3 s de altura e período de pico, respectivamente, e as menores e mais curtas, 0,2 m e 4,7 s (PEREIRA; ARAÚJO; MANSO, 2016).

As correntes marinhas na zona costeira e sobre a plataforma continental tem importante papel no transporte de sedimentos e, portanto, na modelagem das feições geomorfológicas da região. Estas correntes resultam da interação mútua entre ondas, marés e ventos com a conformação da costa e do leito. Na plataforma pernambucana, destacam-se (i) as correntes de deriva litorânea que atuam longitudinalmente na linha de costa a partir da incidência oblíqua de ondas na praia; (ii) correntes de maré que são bastante regulares e se devem a diferenças de altura de maré observadas na medida em que a onda de maré adentra a plataforma continental em momentos diferentes a cada ponto; e (iii) correntes geradas pelo regime dos ventos alísios que sopram quase constantemente do quadrante SE (MANSO *et al.*, 2018). Os poucos trabalhos que trazem dados de correntes medidas na plataforma pernambucana apontam para correntes superficiais que raramente ultrapassam 0,5 m/s e com direção predominantemente para N e NE sobre a plataforma média e externa, indicando atuação principalmente das forçantes de ventos e marés. Na linha de costa e plataforma interna, por sua vez, as correntes predominam em direção contra a plataforma no setor médio, para SW no setor sul e para N, indicando uma provável crescente contribuição do mecanismo de deriva litorânea, decorrente da difração das ondas nos recifes característicos da plataforma interna (FINEP/UFPE, 2009).

A temperatura da superfície do mar sobre a plataforma pernambucana apresenta pequena amplitude ao longo do ano, variando de 27,0°C a 28,7°C. A camada de mistura se estende desde a superfície até a profundidade aproximada de 50 m e, desta forma, a água na área da pesquisa apresenta temperatura aproximadamente constantes tanto espacial quanto temporalmente. O início da termoclina, marcado por um decréscimo na temperatura da água com o aumento da profundidade, coincide com a quebra da plataforma a cerca de 60-70 m de profundidade (MANSO *et al.*, 2006) e está, portanto, fora da área desta pesquisa.

A salinidade apresenta um padrão sazonal bem definido sendo inversa à sazonalidade das chuvas na região costeira, que apresenta acumulados mensais mínimos abaixo de 70 mm em novembro e máximos que ultrapassam 550 mm em junho de acordo com dados da agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), disponíveis em <http://www.apac.pe.gov.br> (Figura 2). Os valores

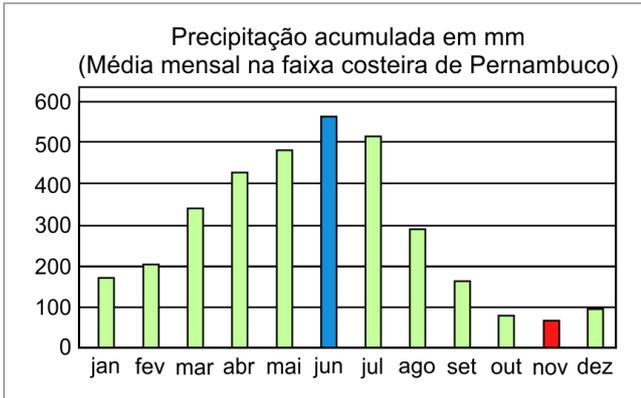


Figura 2 - : Médias mensais de precipitação acumulada na Zona da Mata Pernambucana e na Região Metropolitana de Recife. Em destaque, o mês mais chuvoso, junho em azul, e o mais seco, novembro em vermelho. (Fonte: APAC, 2020).

máximos de salinidade (37,16 g/kg) foram observados no período seco e os mínimos (28,88 g/kg), no período chuvoso (MANSO *et al.*, 2006).

A concentração de material particulado em suspensão (MPS) nas águas da plataforma pernambucana – e mesmo de grande parte do nordeste brasileiro – é geralmente baixa, inferior 0,5 mg/L (MANSO *et al.*, 2006). Neste aspecto, embora ainda apresentem baixas concentrações de MPS, as regiões mais próximas das desembocaduras dos rios principais apresentam as águas mais turvas, como é o caso da área à jusante do estuário dos rios Capibaribe e Beberibe na região metropolitana do Recife, onde a concentração atinge aproximadamente 4,5 mg/L (MANSO *et al.*, 2018). Apenas a título de comparação, na foz do rio São Francisco, a concentração de MPS chega a 270 mg/L.

3. ZONA COSTEIRA E PLATAFORMA CONTINENTAL DE PERNAMBUCO

As plataformas continentais são as porções mais internas das margens continentais conforme definidas por Heezen, Sharp e Ewing (1959). Trata-se de uma feição aproximadamente plana e sub-horizontal que se estende da praia até a quebra da plataforma, seu limite externo onde se observa um abrupto aumento do gradiente. Os processos erosivos mais expressivos ocorrem na zona de surfe e antepraia e se devem a atuação de ondas sobre o leito marinho. Estes processos são responsáveis por retrabalhar os sedimentos que se acumulam nas praias, conferindo à antepraia o aspecto geral aplainado que também é característico do restante da plataforma continental. Desta forma, a morfologia e o capeamento sedimentar das porções da plataforma localizadas mar adentro, para além da atual antepraia, podem ser consideradas relíquias de processos de deposição e erosão que ocorreram em momentos de nível do mar mais baixo do que o atual. Vale considerar que, durante os últimos 2,58 milhões de anos, período conhecido como Quaternário, ciclos de transgressão e regressão marinha repetiram-se aproximadamente a cada 100 mil anos e que atualmente vivemos um momento de máxima transgressão. Sendo assim, durante o Quaternário, os períodos de nível médio do mar abaixo do atual foram marcadamente predominantes sobre aqueles períodos em que o nível médio do mar esteve acima do atual.

O clima semi-árido característico do sertão nordestino faz com que a maioria dos rios que deságuam no trecho da costa leste brasileira entre o sul da Bahia e o cabo do Calcanhar, no Rio Grande do Norte sejam de pouca competência para o aporte de sedimentos continentais para a plataforma e explicam os aspectos mais gerais da geomorfologia da plataforma continental pernambucana. Esta tem relevo suave, com declividade raramente maior do que 0,5° e largura média de 35 km, sendo relativamente estreita quando comparada a outros trechos da plataforma brasileira, como aqueles da foz do Rio Amazonas e da Região sudeste, onde ela ultrapassa os 200 km (ARAÚJO; SEOANE; COUTINHO, 2004; VITAL, 2014). Esta característica das bacias hidrográficas que deságuam na costa pernambucana também explica a baixa concentração de MPS na água, o estabelecimento de condições ideais para o desenvolvimento de organismos formadores de recifes (especialmente, algas vermelhas incrustantes e corais) e a predominância de bioclastos carbonáticos no capeamento sedimentar que recobre o leito (MANSO *et al.*, 2018).

A profundidade de quebra da plataforma também é rasa (50-60 m) em comparação a outros exemplos brasileiros (VITAL, 2014) e pode ser explicada pela ineficiência dos processos erosivos ocorridos durante os períodos de mar baixo, quando a plataforma esteve predominantemente exposta a ambiente subaéreo (DOMINGUEZ *et al.*, 1990; MANSO *et al.*, 2018).

Na direção perpendicular à linha de costa, a compartimentação mais usada atualmente divide a plataforma nordestina em três setores bem definidos por suas características de relevo, batimetria e cobertura sedimentar: plataforma interna, média e externa (ARAÚJO; SEOANE; COUTINHO, 2004; ASSIS, 2007; COUTINHO, 1981; MANSO *et al.*, 2018; VITAL, 2014). No caso da plataforma pernambucana, estes compartimentos podem ser caracterizados como se segue, a partir de adaptação dos trabalhos dos autores citados.

A plataforma interna é limitada entre a antepraia e a isóbata aproximada de -20 m e apresenta relevo majoritariamente suave. Entretanto, sua porção mais rasa é marcadamente caracterizada pela presença de recifes, especialmente nas regiões adjacentes aos setores sul e médio da costa pernambucana. Estes recifes são formados principalmente a partir do crescimento de organismos incrustantes que secretam esqueletos carbonáticos – com destaque para algas calcárias vermelhas e colônias de corais – sobre rochas praias (também conhecidos como arenitos de praia ou *beachrocks*). A plataforma interna pode ainda ser recortada por pequenos canais e apresentar bancos longitudinais nas porções mais rasas de praias expostas à ação de ondas. Quanto ao recobrimento sedimentar, observa-se a predominância de sedimentos quartzosos de origem continental com granulometria que varia de areia média a grossa, salpicado por esparsas manchas de sedimento fino (argila e silte) que se depositam em depressões do substrato entre a praia e a primeira linha de recifes, onde o aprisionamento de água durante as marés mais baixas possibilita a ocorrência de condições hidrodinâmicas de baixa energia necessárias à deposição deste material. O sedimento de composição carbonática encontrado na plataforma interna constitui em média apenas cerca de 25% do material inconsolidado que recobre o leito, mas tem importância crescente na medida em que se afasta da costa. Usualmente, esta porção carbonática é formada por uma mistura de fragmentos bioclásticos oriundos de retrabalhamento

pela ação das ondas sobre conchas de moluscos, algas coralinas vermelhas e algas verdes do gênero *Halimeda*.

A plataforma média, por sua vez, limitada aproximadamente pelas isóbatas de -20 m a -40 m, é o setor mais largo da plataforma pernambucana com cerca de 20 km de largura e apresenta relevo mais irregular do que o compartimento anterior, apesar da declividade mais suave. Geomorfologicamente, destacam-se neste compartimento, a presença de paleocanais esculpidos por antigos cursos d'água que cortavam a plataforma continental quando dos períodos de mar baixo, durante o Quaternário. Quanto ao capeamento sedimentar, a plataforma média pernambucana é dominada por sedimentos carbonáticos biogênicos que mostram pouco ou nenhum sinal de retrabalhamento, com granulometria entre areia e cascalho. São formados, predominantemente, por algas calcárias vermelhas de diferentes gêneros da família das coralináceas, apresentando formas ramificadas ou maciças, de vida livre, e que também são conhecidas na literatura geológica por rodolitos, *lithothamnium* ou *mäerl*.

Finalmente, a plataforma externa pernambucana se estende da isóbata de -40 m até a quebra da plataforma, que ocorre entre -50 m e -60 m e onde se inicia a transição para o talude continental. O relevo é suave, embora a declividade seja crescente em direção ao seu bordo externo e, em média, maior do que na plataforma média. A cobertura sedimentar é predominantemente carbonática, com teores de CaCO_3 usualmente maiores do que 75%, e composta por uma mistura rica de areias e cascalhos biodetríticos, apresentando manchas esparsas de sedimentos com teores de lama de cor cinza-azulada que chegam ao máximo de 15%.

3.1. SEDIMENTAÇÃO QUATERNÁRIA NA ZONA COSTEIRA PERNAMBUCANA

Segundo Dominguez *et al.* (1990), a sedimentação quaternária costeira de Pernambuco é composta pelas litologias descritas a seguir:

(i) Terraços marinhos pleistocênicos.

São depósitos de sedimentos marinhos localizados entre 8 e 10 m acima do nível do mar atual e datados da penúltima transgressão marinha, cujo pico ocorreu há cerca de 123 mil anos (BARRETO; LIMA FILHO; ALHEIROS, 1998; DOMINGUEZ *et al.*, 1990; DOMINGUEZ; BITTENCOURT; MARTIN, 1992; MARTIN *et al.*, 1996). Estes depósitos são formados por areias quartzosas de granulometria média e caracterizados pela presença de estruturas sedimentares e sinais de bioturbação que atestam sua origem marinha. Ocorrem na porção mais interna da planície costeira, parcialmente paralelos à linha de costa e possuem largura variável entre 0,5 e 1 km (MADRUGA FILHO, 2004).

(ii) Terraços marinhos holocênicos.

São terraços mais externos da planície costeira e sua deposição está relacionada à última transgressão marinha, que teve seu ápice há 5600 anos. São areias quartzosas inconsolidadas que marcadamente formam cordões litorâneos pouco espessos com alturas variando desde poucos centímetros a até cerca de 4 metros acima da preamar atual (DOMINGUEZ *et al.*, 1990; MADRUGA FILHO, 2004; BITTENCOURT *et al.*, 2005). Formam corpos alongados sub-paralelos à linha de praia atual e podem ser reconhecidos em campo ou em imagens de satélite, como ocorre entre as praias de Mamucabinhas e Porto da Barra, nas imediações da foz do Rio Mamucaba, em Tamandaré (Figura 3).

(iii) Rochas praias.

Como já citado, estas rochas são também comumente referidas como *beachrocks* ou arenitos de praia e formam os recifes mais característicos da costa pernambucana, sendo, em última análise, os responsáveis pelo nome da capital do estado. Eles ocorrem na forma de corpos retilíneos descontínuos, dispostos em linhas aproximadamente paralelas entre si e à atual linha de costa (Figura 4) e servem de substrato para o desenvolvimento de organismos como corais e algas calcárias (Figura 5).

São formados principalmente por areias quartzosas cimentadas por carbonato de cálcio quimicamente precipitado da água do mar em ambiente de saturação e podem incluir clastos maiores de origem orgânica ou não, tais como fragmentos de conchas e seixos de quartzo, refletindo a composição dos sedimentos do sistema praias de quando se formaram.

Geralmente, apresentam dois tipos de estruturas sedimentares que sugerem sua origem em ambiente típico de antepraia: laminação plano paralela sub-horizantal, mais comum, e/ou estratificação cruzada de baixo ângulo com mergulho em direção ao mar, mais rara. No caso das linhas de rochas praias localizadas mais próximo da praia, seus topos são comumente expostos durante as marés baixas e podem apresentar feições erosivas arredondadas tipicamente produzidas por processos bioquímicos erosivos e chamadas localmente de marmitas.

Nos flancos destes recifes também é comum encontrar buracos formados pela ação erosiva de ouriços-do-mar e, quando estes buracos estão localizados nas partes mais expostas do recife, são indicadores de nível médio do mar pretérito acima do atual.

(iv) Recifes biogênicos.

A localização e a morfologia desses recifes que, em Pernambuco, normalmente formam corpos alongados em direção aproximadamente paralela à linha de costa, indicam que sua origem está intimamente ligada às rochas praias (Figura 5a), que servem de substrato para a colonização e desenvolvimento de organismos bioconstrutores. Dentre tais organismos, merecem destaque os



Figura 3 - (a) Terraços marinhos holocênicos ao sul de Tamandaré; (b) as linhas evidenciam antigos cordões litorâneos formados após a suave descida do nível do mar iniciada há cerca de 5.600 anos. (Fonte: Google Earth).

corais (corais hermatípicos, duros ou verdadeiros e corais de fogo), e algas vermelhas incrustantes, mas também estão presentes briozoários (atualmente, ectoprocta), poríferos, moluscos, poliquetas e algas verdes.

Em algumas localidades, como é o caso de Porto de Galinhas, no município de Ipojuca, a presença de recifes próximos à costa afeta o padrão de ondas que incide na praia, causando acumulação de sedimentos no trecho de praia localizado na zona de sombra do recife, formando saliências na linha de costa (Figura 5b).



Figura 4 - (a) Duas linhas de rochas praias na praia de Piedade, Jaboatão dos Guararapes; (b) três linhas paralelas de rochas praias marcando antigas posições da linha de praia entre o Pina e Brasília Teimosa, no Recife. (Fonte: Google Earth).

(v) Depósitos de praias atuais.

Formam a porção mais externa da planície costeira, entre os terraços marinhos holocênicos e a linha de baixamar, e são compostas predominantemente por areias quartzosas inconsolidadas, com a presença eventual de minerais pesados e de bioclastos. Estas faixas estreitas apresentam pequena inclinação em direção ao mar e

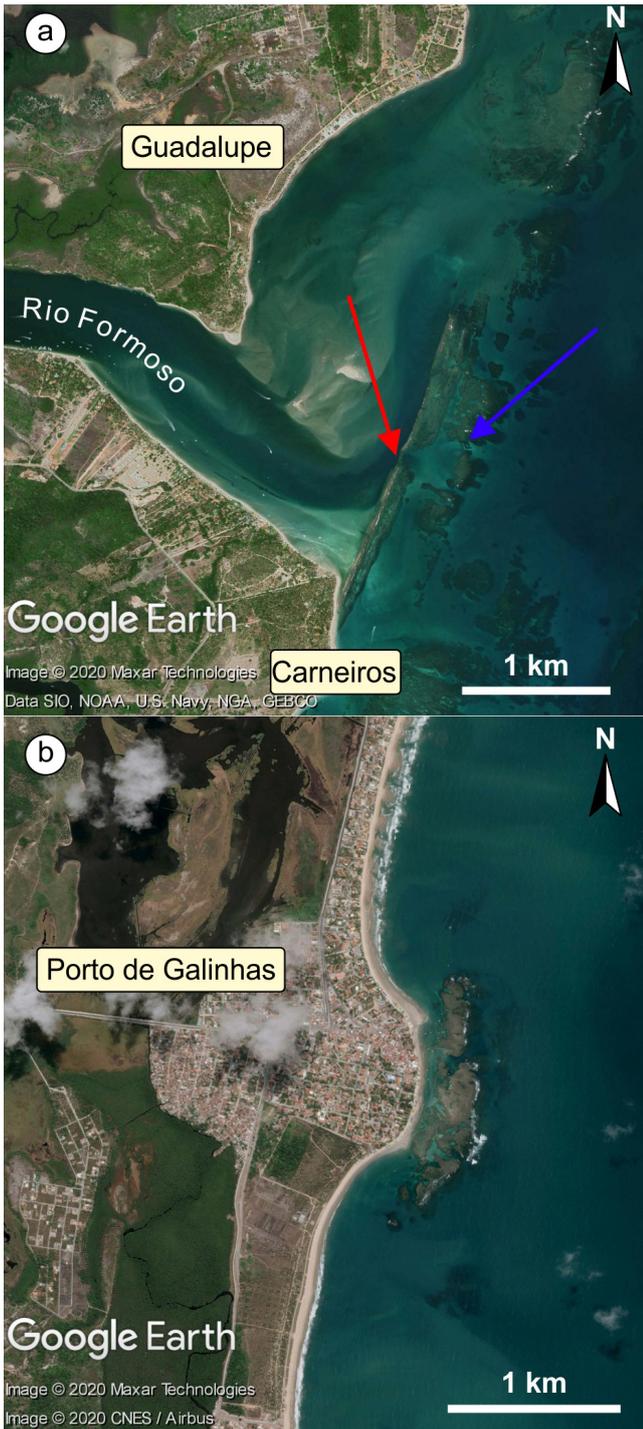


Figura 5 - (a) Na foz do Rio Formoso, entre as localidades de Guadalupe e Carneiros, rochas praias (seta vermelha) servindo de substrato para o desenvolvimento de recifes biogênicos (seta azul) de corais e/ou algas calcárias; (b) saliência formada na zona de sombra dos recifes em franja de Porto de Galinhas, município de Ipojuca. (Fonte: Google Earth).

estão continuamente sujeitas à ação de ondas, marés e da deriva litorânea.

(vi) Depósitos de mangues.

Nas desembocaduras costeiras de rios que apresentam declividade quase nula e, conseqüentemente, onde a ação das marés predomina sobre a ação das ondas, são formados depósitos de mangues, compostos de materiais argilosos de coloração cinza-escuro a preto, evidenciando-se os altos teores de matéria orgânica.

Na costa de Pernambuco, existem aproximadamente 27.000 hectares de manguezais e a tabela a seguir lista os principais deles:

Tabela 1- área de manguezal encontrada nos diferentes estuários do estado.

ESTUÁRIO	ÁREA (HA)	MUNICÍPIOS
Rios Goiana e Megaó	4.776	Goiana
Rio Itpessoca	3.998	Goiana
Rio Jaguaribe	212	Itamaracá
Canal de Santa Cruz	5.292	Itamaracá
Rio Timbó	1.387	Abreu e Lima
Rios Paratibe e Fragoso		Paulista e Olinda
Rio Beberibe		Olinda
Rio Capibaribe		Recife
Rio Jaboatão	1.284	Cabo do Santo Agostinho
Rio Sirinhaém	3.335	Ipojuca
Rio Formoso	2.724	Sirinhaém
Rio Mambucabas	402	Tamandaré
Rio Uma	553	Barreiros

Fonte: CPRH/PE, 2010.

(vii) Dunas costeiras.

Dunas costeiras são acumulações de areias quartzosas e tem gênese relacionada aos processos eólicos de transporte sedimentar da face de praia para o pós-praia. Na costa pernambucana, as dunas costeiras são quase inexistentes com exceção de algumas ocorrências entre as praias do Pina e Boa Viagem, em Recife (Figura 6).

(viii) Esporões.

Esporões são depósitos arenosos em flecha que se desenvolvem paralelamente a praia separando o mar de um corpo fluvial que desemboca nas imediações. São formados em decorrência do “molhe hidráulico” representado pela desembocadura do rio que impede o transporte sedimentar por deriva litorânea de uma margem a outra da desembocadura. As praias de Maria Farinha, na desembocadura do Rio Timbó, e do Paiva, na desembocadura do Rio Jaboatão, são exemplos de feições do tipo esporão (Figura 7).



Figura 6 - Dunas costeiras nas praias de Boa Viagem (a) e do Pina (b), em Recife. Observa-se que a faixa de dunas do Pina, embora mais larga do que a de Boa Viagem, está sendo mais ocupada por equipamentos públicos de lazer, o que pode afetar, futuramente, o processo erosivo experimentado por grande parte da linha de costa da Região Metropolitana de Recife. (Fonte: Google Earth).



Figura 7 - Estruturas do tipo esporão encontradas nas praias de Marinha Farinha (a), no município de Paulista, e do Paiva (b), no município de Cabo de Santo Agostinho. (Fonte: Google Earth).

4. MÉTODOS

A seguir, serão apresentados os métodos envolvidos nas etapas de coleta, processamento e análise dos dados batimétricos bem como das amostras sedimentológicas.

4.1. BATIMETRIA

Por motivos operacionais e para melhor apresentação dos mapas, a área total da pesquisa foi dividida em três setores de modo a representar as áreas marinhas adjacentes às cartas planialtimétricas da SUDENE na escala 1:100.000 (Figura 1).

- **Setor Itamaracá** (folha SB.25-Y-C-VI): setor norte da litoral pernambucano, entre os municípios de Olinda e Itamaracá.
- **Setor Recife** (folha SC.25-V-A-III): setor central do litoral, entre os municípios de Recife e Cabo de Santo Agostinho.
- **Setor Sirinhaém** (folhas SC.25-V-A-V/VI) setor sul do litoral, entre os municípios de Sirinhaém e São José da Coroa Grande.

Os trabalhos de campo foram realizados utilizando-se uma embarcação do tipo traineira de pesca com aproximadamente 12,5 m de comprimento e 1,2 m de calado, equipada com uma ecossonda batimétrica monofeixe modelo GP-1650F acoplada a um receptor GPS diferencial GP35-DGPS, ambos fabricados pela Furuno Eletric Co. Os perfis batimétricos foram tomados em direção aproximadamente perpendicular à costa entre a menor cota segura para a navegação e a isóbata de -30 m, de forma que a distância entre dois perfis vizinhos fosse de cerca de 1km, totalizando 1288 km de levantamento. Os dados foram coletados a taxa de 1 Hz (um ponto batimétrico por segundo) e o seu tratamento foi realizado pela equipe do Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha (LGGM) com a colaboração de pesquisadores da UFC utilizando, dentre outros, os softwares Surfer® 8, da Golden Software, e ArcMap® 9.0, da ESRI.

As posições foram adquiridas em coordenadas geográficas em referência ao Sistema Geodésico Mundial de 1984 (WGS84) e, posteriormente, foram convertidos para o datum oficial brasileiro atual (SIRGAS 2000).

As profundidades foram extraídas em metros e passaram por correções de maré e de movimentos de mais alta frequência da embarcação, causados por ondas e ventos atuantes durante a aquisição. Para as correções de maré, utilizaram-se as tábuas de marés divulgadas pela DHN para os Portos de Suape e de Recife, nos dias

de coleta. Os dados da DHN foram interpolados para se obter a posição prevista da maré meteorológica no horário exato da aquisição de cada ponto e, assim, poder-se reduzir as profundidades obtidas ao nível de redução das cartas da DHN.

4.2. SEDIMENTOLOGIA

As amostras dos sedimentos que recobrem o leito da área de estudo foram coletadas durante os mesmos cruzeiros destinados ao levantamento batimétrico. A coleta e análise granulométrica das amostras foram realizadas pela equipe do LGGM, coordenado pelo Professor Doutor Valdir do Amaral Vaz Manso, do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). A classificação dos sedimentos amostrados e a integração dos dados em ambiente SIG e a sua interpretação final foram feitas pelos pesquisadores da CPRM nas dependências da Superintendência Regional do Recife (SUREG-RE) da CPRM.

4.2.1. Amostragem

As amostras foram obtidas com amostrador pontual de superfície do tipo Van Veen com capacidade aproximada de 8 litros durante 5 cruzeiros entre os meses de setembro/2004 e março/2005. Os pontos amostrados foram distribuídos em 107 perfis perpendiculares à costa com cerca de 16 km cada, entre o ponto mais raso que permitisse segurança à navegação nas proximidades da praia e a isóbata de -30 m. Ao todo, foram visitados 890 pontos espaçados de 1 a 2 km entre si.

Na embarcação, as amostras foram identificadas através de etiquetas plásticas ou metálicas numeradas e tiveram seus dados de coleta (data, hora, posição, profundidade) anotados em planilha específica. Foram também fotografadas e descritas sucintamente antes de serem acondicionadas em sacos plásticos lacrados para transporte até o laboratório.

4.2.2. Análise granulométrica e classificação textural

No laboratório, as amostras receberam os primeiros tratamentos para serem analisadas e, posteriormente, armazenadas. Para a dessalinização, cada amostra foi depositada em um recipiente onde foi adicionada água

destilada e sofreu agitação. Após período aproximado de 16 horas de decantação, o líquido sobrenadante, com sal diluído foi retirado através de sifonamento e o procedimento foi repetido mais duas vezes, até que o conteúdo de sal remanescente na amostra fosse desprezível. Após esta etapa, as amostras foram secas em estufa com circulação forçada a 60°C.

Para se realizar as análises granulométricas, cada amostra teve uma alíquota de cerca de 100 g selecionada através de quarteamento manual, de forma a maximizar sua representatividade. Em seguida, as alíquotas foram submetidas a peneiramento úmido com água destilada através de uma peneira de aço inoxidável com malha de 0,063 mm, de modo a separar os sedimentos grossos (areia e cascalho) dos finos (silte e argila). Ambas as porções foram novamente secas em estufa a 60°C e pesadas em balança semi-analítica com precisão de 0,01 g. A fração mais grossa foi processada em um agitador mecânico de peneiras através de um conjunto sequencial de 13 peneiras,

com malhas variando de -1,0 φ (2 mm) a 4,0 φ (0,063 mm), com incrementos de 0,5 φ. As frações retidas em cada peneira foram pesadas e classificadas no esquema de Udden-Wentworth (UDDEN, 1914; WENTWORTH, 1922), adaptado de acordo com o mostrado na tabela 2. Por se tratar de uma região tipicamente coberta por sedimentos grossos, com predominância de areia e cascalho, a fração mais fina do que 0,063 mm não foi analisada e seu conteúdo foi agrupado na classe lama, significando silte e/ou argila.

De posse das quantidades retidas em cada peneira, os dados foram processados na planilha Gradistat v8.0 (BLOTT; PYE, 2001) para obter análises estatísticas da distribuição dos sedimentos em cada amostra e os percentuais de cascalho, areia e lama. O conjunto destes resultados foi analisado através do programa Sedplot (POPPE; ELIASON, 2008), desenvolvido pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), que classifica os sedimentos de acordo com a escolha do usuário entre o esquema proposto por Shepard (1954), modificado por Schlee (1973) e por Poppe, Eliason, Hastings (2004) e o esquema proposto por Folk e Ward (1957).

Neste trabalho, foi escolhido o sistema de classificação de Shepard (1954), como modificado por Schlee (1973) e por Poppe (2004), doravante referido como esquema de classificação textural de Shepard-Schlee-Poppe, pois trata-se de um sistema que possibilita a representação e análise de sedimentos ricos em grãos mais grossos (areia e cascalho), tais como os sedimentos predominantes na plataforma nordestina em geral e pernambucana em especial, em oposição ao esquema original de Shepard (1954), que desconsidera a presença de cascalhos. O esquema original de classificação de Shepard (1954) emprega um único diagrama ternário

Tabela 2 - Classificação granulométrica de Udden-Wentworth empregada (adaptada de Blair e McPherson (1999).

D, DIÂMETRO (MM)	Φ, PHI (-Log ₂ D)	CLASSE DE WENTWORTH
> 2	< -1	Cascalho
2,000 até 1,000	-1 até 0	Areia muito grossa
1,000 até 0,500	0 até 1	Areia grossa
0,500 até 0,250	1 até 2	Areia média
0,250 até 0,125	2 até 3	Areia fina
0,125 até 0,063	3 até 4	Areia muito fina
< 0,063	> 4	Lama (silte e argila)

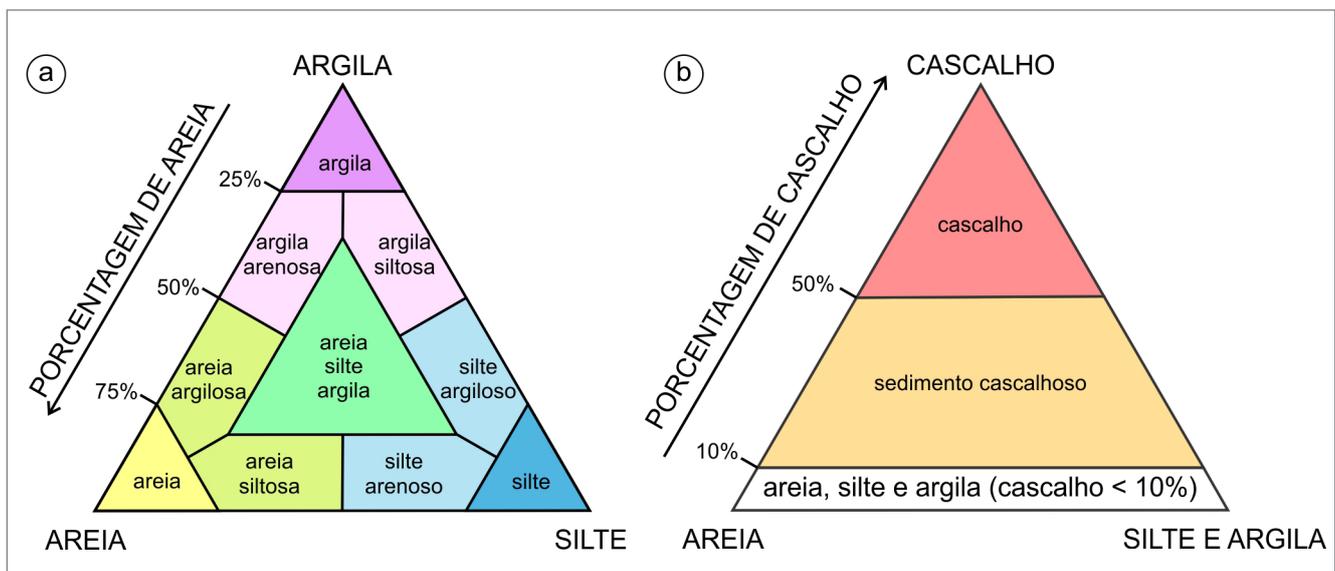


Figura 8 - Diagramas da classificação de Shepard (1954) (a) conforme modificação proposta por Schlee (1973) e Poppe (2004) (b). (Adaptado de Poppe e Eliason (2008)).

com teores de areia, silte e argila e classifica graficamente os sedimentos em 10 categorias que mostram as proporções entre estas três frações em cada amostra (Figura 8a). A modificação sugerida por Schlee (1973) e aprimorada por Poppe (2004), entretanto, introduz um segundo diagrama ternário com teores de cascalho, areia e lama (silte e argila) que é utilizado somente para amostras com teores de cascalho superiores a 10% (Figura 8b). Nos casos em que o teor de cascalho não alcança os 10%, emprega-se o diagrama de Shepard original, de 1954.

4.2.3. Análise composicional

Para verificar a natureza composicional do material coletado, 220 amostras foram escolhidas aleatoriamente de modo a cobrir toda a área de estudo. Tais amostras foram novamente quarteadas manualmente até se obter uma alíquota representativa com cerca de 100g. Em seguida, após serem secas em estufa a 60 °C por 24h e homogeneizadas, as amostras foram pesadas em balança semi-analítica e imediatamente submetidas a ataque ácido com ácido clorídrico (HCl) a 20% até que não mais fosse observada efervescência. O material residual deste processo foi acondicionado em béquer e deixado em repouso por 12 h para assegurar a completa dissolução do conteúdo carbonático. Após esta etapa, o material foi centrifugado a 3000 RPM por 5 minuto de modo a eliminar a solução ácida e o material restante nos tubos da centrífuga foi transferido com auxílio de água deionizada para placas de petri previamente limpas e pesadas, que foram transferidas novamente à estufa a 60 °C por 24 h. Finalmente, após esta última secagem, cada placa foi novamente pesada e a diferença entre seus pesos com e sem amostra foi atribuída ao conteúdo residual do ataque ácido. Calculando a razão entre a massa do resíduo e a massa inicial da amostra seca, medida antes do ataque ácido, obteve-se o percentual do material residual e, fazendo a diferença para 100%, o percentual de carbonatos totais.

4.2.4. Análise morfoscópica

A análise da forma dos grãos sedimentares (morfoscopia) é útil na interpretação do ambiente de formação dos depósitos sedimentares, especialmente no tocante aos aspectos das forças físicas do ambiente. Sendo assim, a partir da análise da forma dos grãos, do seu grau de arredondamento, de esfericidade e de sua textura superficial, pode-se inferir características da quantidade de energia envolvida no transporte dos grãos até a sua sedimentação final no depósito em questão.

Para esta análise morfoscópica, foram selecionados por quarteamento manual aproximadamente 10 g de

sedimento de cada amostra a ser analisada. Os grãos foram observados em uma lupa binocular Coleman, modelo XTB-2B, com aumento continuamente variável entre 10 e 40 vezes.

A classificação dos grãos quanto à sua forma ou grau de esfericidade, na prática, mostra o grau de aproximação da forma do grão com a de uma esfera perfeita. Isso depende fortemente de sua composição mineral e tem implicação sobre sua velocidade de decantação em meio fluido, ou seja, à facilidade com que o grão pode ser depositado no leito ou recolocado em suspensão após a deposição. Seguindo metodologia sugerida por Suguio (2003), os grãos foram classificados quanto à sua forma ou grau de esfericidade através da comparação visual com imagens tabeladas desenvolvidas originalmente por Zingg (1935, *apud* Suguio (2003)), que propôs quatro formas básicas: (i) esférica ou equidimensional; (ii) discoidal ou oblata; (iii) laminar ou triaxial; e (iv) bastonada ou prolata.

O grau de arredondamento do grão, por sua vez, embora também esteja relacionado à sua composição mineral, pode trazer informações importantes acerca da distância entre a rocha fonte e o sítio de deposição e sobre a energia dos agentes de transporte do grão. Esta medida reflete o quão agudas são as arestas dos grãos, sendo que os grãos com arestas mais agudas sofreram menor desgaste durante o transporte do que aqueles grãos com arestas mais suavizadas. Segundo este critério, os grãos foram classificados em uma das seguintes seis classes, sugeridas por Shepard (1967), a partir de comparação visual com imagens tabeladas em Suguio (2003): (i) muito angular; (ii) angular; (iii) subangular; (iv) subarredondado; (v) arredondado; e (vi) muito arredondado (Figura 9).

Finalmente, a textura das partículas pode ser traduzida pela presença ou ausência de sinais de fosqueamento,

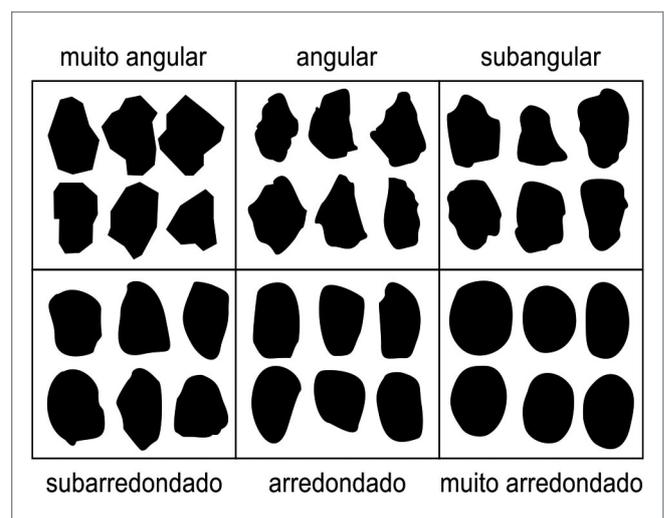


Figura 9 - Classificação do grau de arredondamento dos grãos. (Adaptado de Krumbein (1941)).

corrosão, polimento ou marcas estriadas na superfície dos grãos e reflete a natureza dos agentes de transporte. Sendo assim, embora não seja consenso na comunidade científica, grãos foscos são geralmente associados a transporte eólico, enquanto que as marcas estriadas são associadas ao transporte glacial e os grãos polidos são usualmente transportados em meio líquido (SUGUIO, 2003).

4.3. CARTOGRAFIA

A elaboração final da Carta de Caracterização dos Agregados Marinhos da Plataforma Continental Rasa do Estado de Pernambuco (ASSIS *et al.*, 2015) foi feita usando o programa ArcMap® 10 nos laboratórios da Divisão de Geologia Marinha (DIGEOM) da SUREG-RE a partir dos dados levantados em campo e processados pelos pesquisadores do LGGM/UFPE e seus colaboradores.

4.3.1. Cartas batimétricas

Para a interpolação dos dados batimétricos, necessária à posterior geração de um modelo digital de terreno (MDT) e cartas de linhas isobatimétricas, foi o escolhido o método da *krigagem* universal pontual com deriva linear, tal como implementado pelo Surfer® 8, e se obteve um erro residual quadrático médio da ordem de 1 m². Para o melhor ajuste dos variogramas usados no processo de interpolação, a área foi dividida nos três setores já citados (Itamaracá, Recife e Sirinhaém) e as cotas batimétricas foram selecionadas de modo a se ter uma cota a cada 500 m em cada perfil.

4.3.2. Distribuição textural e composicional da cobertura sedimentar

Os teores de cascalho, areia e lama de cada amostra analisada foram interpolados no ArcMap® 10 através do método de inverso da distância quadrática (IDW²), considerando-se para o cálculo de cada ponto interpolado os valores das 12 amostras mais próximas, para a produção de mapas contínuos de cada um destes parâmetros. Procedimento análogo foi realizado para o diâmetro médio de cada amostra que, em seguida, foi enquadrado na classificação simplificada de Udden-Wentworth mostrada na tabela 2, para a produção de mapas de distribuição do diâmetro médio.

Finalmente, para cada um dos setores da área pesquisada, estes mapas de teores de cascalho, areia e lama, bem como o mapa de distribuição do diâmetro médio, foram confrontados com um mapa da distribuição amostral das texturas de Shepard-Schlee-Poppe, com o mapa das linhas isóbatas e com os recifes, biogênicos e de rochas praias, mapeados através de imagens de satélite do Google Earth. A partir desta confrontação de informações no ambiente do ArcMap®, foram produzidos os polígonos de cada classe textural como resultaram no mapa textural da Carta de Caracterização dos Agregados Marinhos da Plataforma Continental Rasa do Estado de Pernambuco (ASSIS *et al.*, 2015).

Procedimento análogo foi realizado para a confecção do mapa de distribuição de teores de carbonato constante na mesma Carta de Caracterização dos Agregados Marinhos da Plataforma Continental Rasa do Estado de Pernambuco (ASSIS *et al.*, 2015).

5. MAPEAMENTO DOS RECURSOS MINERAIS MARINHOS

5.1. MORFOLOGIA DO LEITO MARINHO

Os produtos gerados a partir da análise e interpolação dos dados de batimetria foram três cartas batimétricas na escala de 1:100.000, com isóbatas equidistantes de 2 m (Ane-xos 1, 2 e 3). Ao todo, foram navegados cerca de 1290 km e de modo geral, o resultado mostrou que o trecho estudado da plataforma continental de Pernambuco apresenta morfo-logia de fundo homogênea, sem maiores irregularidades topográficas e declive suave. A figura 10 a seguir mostra as rotas navegadas para levantamento batimétrico e os pontos visitados para coleta de amostras em cada setor.

5.1.1. Setor Itamaracá

O levantamento batimétrico no setor Itamaracá tota-lizou cerca de 544 km, abrangendo uma área planar apro-ximada de 1.200 km². A profundidade máxima corrigida alcançada foi de -34,6 m e a média do setor, de -21,6 m.

Como se pode observar na Figura 11, de forma geral, com exceção da porção mais ao norte deste setor, ao norte da localidade de Ponta de Pedras, a plataforma interna apresenta relevo homogêneo evidenciado pelo paralelismo das isóbatas, especialmente entre a costa e a isóbata de -14 m, com gradiente médio entre 1:565 e 1:744. Trata-se de relevo esculpido durante o Holoceno até os dias atuais, quando o nível relativo do mar esteve relativamente esta-bilizado em torno da cota atual, permitindo que a troca de sedimentos entre a plataforma interna e o continente suavizasse o relevo, a partir da ação de ondas, correntes costeiras e de marés.

Além desta profundidade em direção à plataforma média, o gradiente se reduz para um valor médio em torno de 1:985, chegando a 1:1.240 em alguns trechos. Entretanto, o relevo torna-se mais acidentado, com a presença de pequenos paleocanais com a presença de pequenos paleocanais indicados pela inflexão das isó-batas de -12 m a -26 m (Figura 11) que, presumivelmente, foram esculpidos por antigas drenagens fluviais que por ali corriam nos períodos de nível do mar abaixo do atual, ocorridos durante as glaciações Quaternárias, quando a plataforma esteve exposta à erosão em ambiente suba-éreo. A rápida taxa de subida do nível do mar durante a última deglaciação¹ não permitiu que estes canais fossem

totalmente preenchidos por sedimentos, o que causaria a suavização do relevo.

No extremo norte deste setor, nas proximidades da foz do Rio Goiana, entre as profundidades de -8 m e -12 m, encontra-se uma estrutura do tipo esporão, estendendo-se de sul para norte, com cerca de 6 km de comprimento por 3 km de largura. Trata-se de uma feição formada pelo acúmulo de sedimentos transpor-tados por correntes de deriva litorânea, nas margens de desembocaduras fluviais de costas dominadas por ondas. Deve ter sido formada quando o nível do mar esteve entre -13 m e -14 m em relação ao atual e é semelhante à formação encontrada no pontal de Maria Farinha, que se encontra próxima ao nível do mar atual, no município de Paulista (Figura 7).

5.1.2. Setor Recife

Neste setor central da plataforma pernambucana, entre os municípios de Olinda e Ipojuca, os dados bati-métricos levantados totalizaram aproximadamente 396 km de dados batimétricos, cobrindo uma área planar aproximada de 1330 km². A profundidade máxima alcançada foi de -31,8 m e a profundidade média do setor é de -20,5 m, com declive médio mais suave do que o anterior, variando entre 1:687 e 1:988.

Nas proximidades da praia de Pedra de Xaréu, pode-se observar uma feição que quebra abruptamente o paralelismo da isóbata de -12 m com a linha de costa. É uma feição típica de uma antiga baía atualmente afogada, com arco de 4,5 km e corda 2,2 km. Esta situação caracte-riza uma paleopraia ancorada nas extremidades por promontórios rochosos, como é o que ocorre atualmente entre as praias de Enseada dos Corais e Gaibu (Figura 13), ancorada nas extremidades por rochas vulcânicas da suíte Ipojuca de idade cretácica.

Este afloramento de rochas duras e antigas do embasa-mento cristalino nas proximidades da costa atual é também responsável pelo gradiente acentuado que é observado na plataforma interna, especialmente nos arredores do Cabo de Santo Agostinho até a profundidade de -16 m. Conforme fica evidenciado pelo estreitamento da distân-cia entre as isóbatas (Figura 12), este pequeno trecho da plataforma apresenta o maior gradiente de declividade observado na costa pernambucana, chegando a 1:63, embora a declividade média de todo o setor seja menor do que aquela observada no setor Itamaracá.

¹A última deglaciação ocorreu aproximadamente entre aproximadamente 22 mil e 6 mil anos atrás. Neste período, o nível relativo do mar na costa leste do Brasil subiu cerca de 120 m em não mais do que 16 mil anos (SUGUIO, 2010).

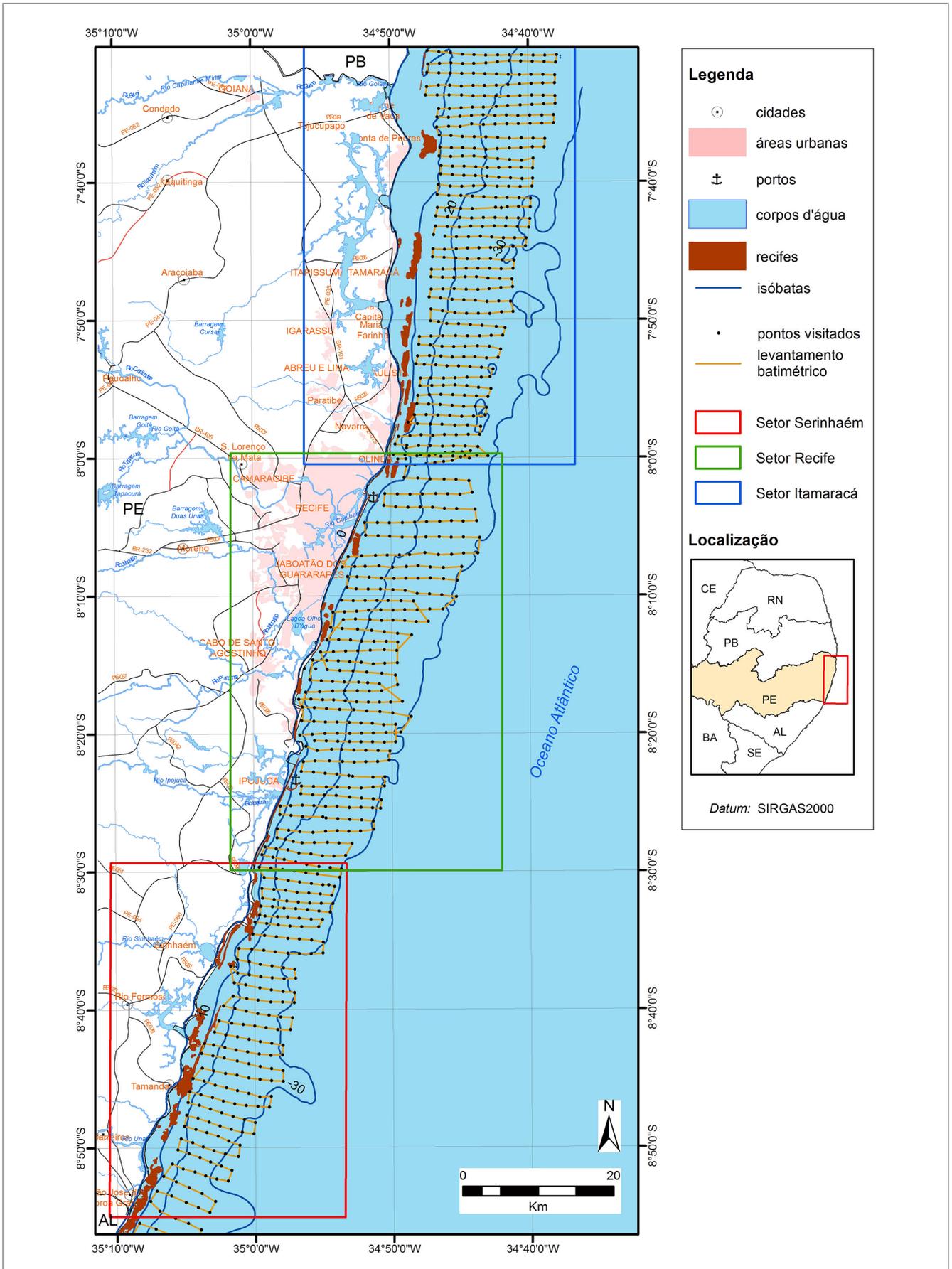


Figura 10 - Localização dos pontos visitados e dos perfis batimétricos levantados na plataforma pernambucana. Ao todo visitados 890 pontos para amostragem geológica, perfazendo total aproximado de 1290 km de dados batimétricos monofeixe.

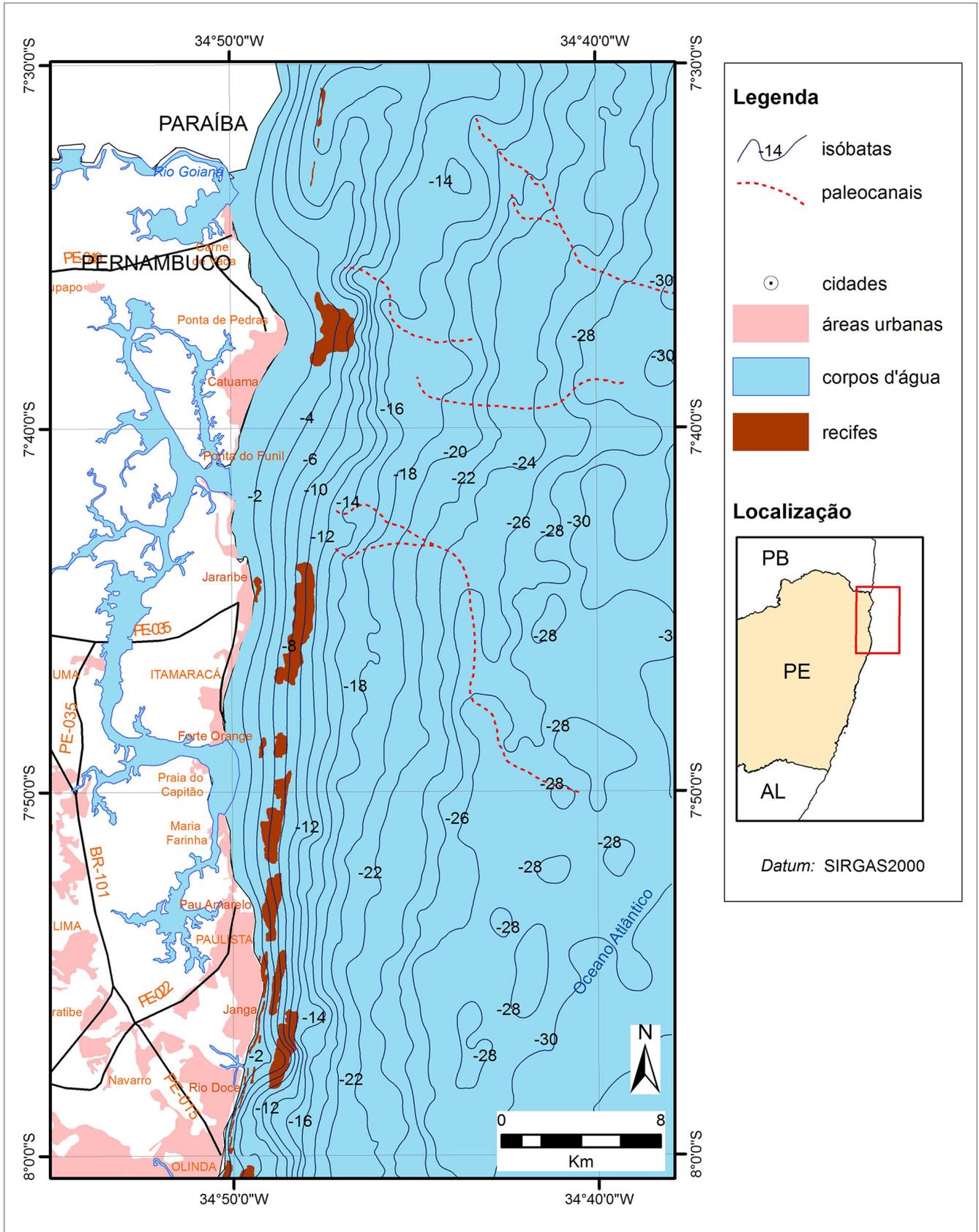


Figura 11 - Batimetria do setor Itamaracá.

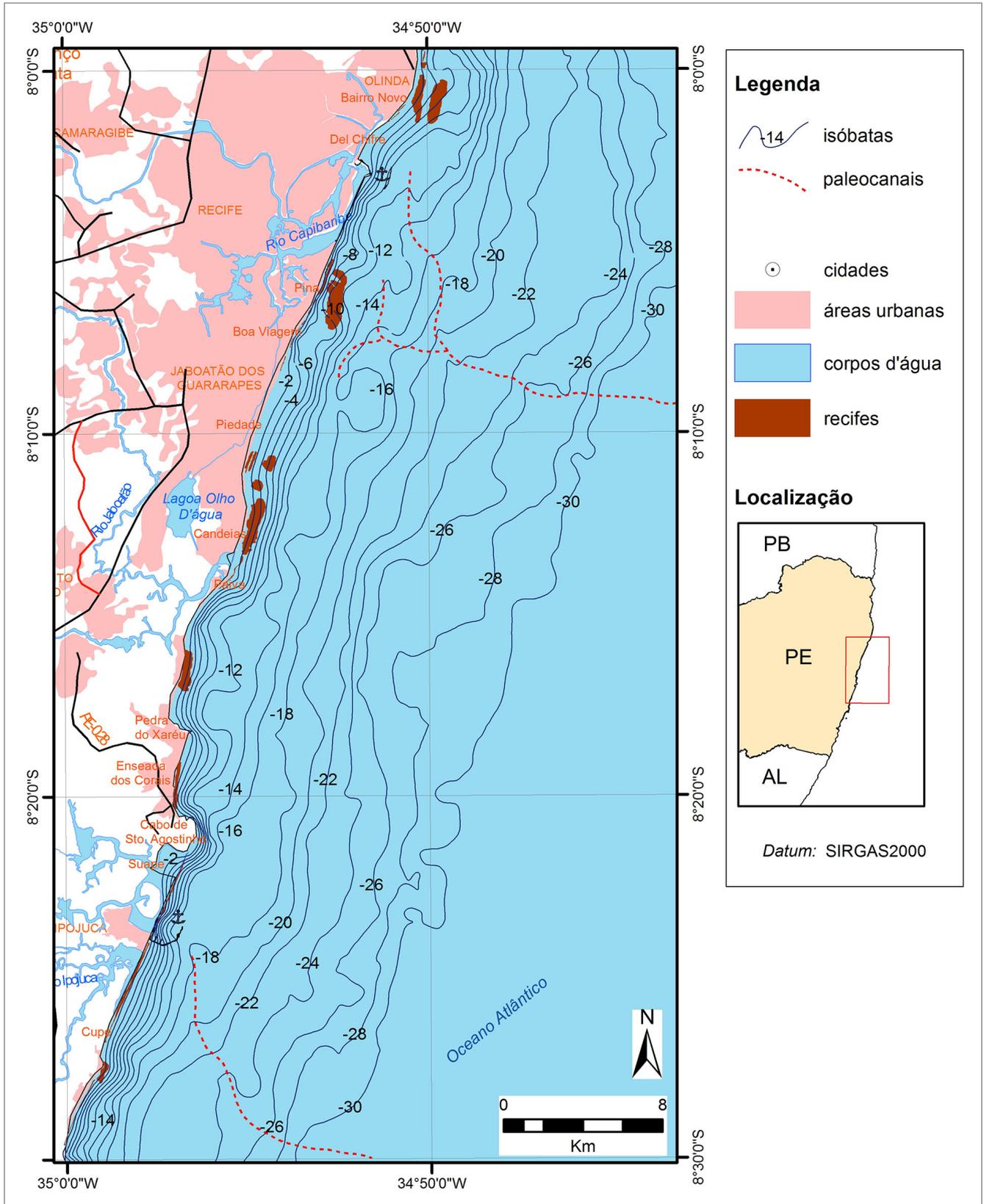


Figura 12 - Batimetria do setor Recife.



Figura 13 - Praia de Enseada dos Corais/Gaibu ancorada nos flancos por rochas do embasamento cristalino: o Cabo de Santo Agostinho, ao sul, e a Pedra do Xaréu, ao norte.

A exemplo do que ocorre no setor Itamaracá, para além da profundidade de 16 m, a plataforma do setor Recife apresenta relevo mais suave e sub-horizontal, sendo apenas recortado por alguns paleocanais esculpidos durante os períodos glaciais de mar baixo do Quaternário.

5.1.3. Setor Sirinhaém

Finalmente, no setor Sirinhaém, localizado na extremidade sul do estado entre Porto de Galinhas e São José da Coroa Grande, na divisa com Alagoas, foi encontrada profundidade média de -22,9 m, com declive médio entre 1:383 e 1:656, mais acentuado, portanto, do que o declive médio observado nos setores anteriores. Essa acentuação no declive é devida, provavelmente, à presença de rochas vulcânicas e plutônicas que chegam a aflorar na zona costeira emersa do setor Sirinhaém, o que não se observa nos setores anteriores. O levantamento totalizou 350 km, cobrindo uma área planar de da ordem de 1350 km².

Destaca-se neste setor a presença do alto estrutural de Santo Aleixo, formado por rochas vulcânicas cujo ápice é a ilha de mesmo nome, localizada além da foz do rio Sirinhaém. Ao norte da Ilha de Santo Aleixo, a área estudada apresenta distância máxima da costa até a isóbata de -30 m igual a 11 km. Esta distância se reduz ao largo da ilha de Santo Aleixo e volta a aumentar ao sul da ilha, alcançando até cerca de 18 km entre a sede do município de Tamandaré e a praia de Carneiros. De modo geral, a plataforma do setor Sirinhaém apresenta aspecto semelhante aos anteriores: um declive mais acentuado na plataforma interna até profundidades em torno de -16 m e declive mais suave na plataforma

média, com a presença de feições indicativas de paleocanais não completamente preenchidos por sedimentação recente.

Por fim, também vale observar que o setor Sirinhaém apresenta a maior quantidade de recifes de arenito recobertos por recifes biogênicos em comparação aos setores Itamaracá e Recife. Estes recifes formam uma linha quase contínua que se estende na plataforma interna ao sul de Porto de Galinhas até a divisa com o estado de Alagoas e adentra cerca de 80 km ainda neste estado.

5.2. DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DE CASCALHO, AREIA E LAMA

Do total de 890 pontos visitados, em 821 foi possível coletar material sedimentar do leito marinho. Nos demais pontos, por se tratar de leito consolidado, como ocorre nas linhas de antigas rochas praias, o amostrador não foi capaz de recuperar material sedimentar inconsolidado para análise.

Dentre todas as amostras coletadas, 83 foram imediatamente classificadas como cascalho, por se tratar de material visivelmente grosso, quase sempre com domínio de rodolitos maciços cascalhosos ou seixosos (Figura 15a). Outras 36 amostras foram classificadas como lama a olho nu, sem passar por peneiramento, uma vez que foi possível verificar visivelmente que não apresentava conteúdo nas frações areia e/ou cascalho (Figura 15b).

As restantes 702 amostras foram analisadas e tiveram suas texturas classificadas conforme descrito anteriormente.

Após a análise estatística da distribuição das classes granulométricas de todas as amostras coletadas, foram obtidos os mapas interpolados de teores de cascalho, de areia e de lama, bem como os mapas de distribuição de diâmetro médio para cada setor da área pesquisada.

5.2.1. Setor Itamaracá

Como se pode observar na figura, os maiores teores de cascalho nas amostras deste setor ocorrem no través e ao norte da ilha de Itamaracá e, principalmente, na plataforma interna, entre as isóbatas de -10 m e -20 m, com exceção do extremo norte do setor, onde se observa um adensamento das amostras com mais altos teores de cascalho em profundidades maiores, já na plataforma média. A maioria das amostras do setor, entretanto apresenta dominância de grãos com diâmetro na faixa das areias. As amostras mais ricas em lama, por sua vez, ficam restritas às proximidades das fozes dos rios Doce, entre Olinda e Paulista, e Goiana, na divisa com a Paraíba.

5.2.2. Setor Recife

No setor Recife, observa-se uma distribuição mais ampla das amostras com altos teores de cascalho, em comparação com o que ocorre no setor Itamaracá. As amostras mais ricas

em cascalho aparecem bem espalhadas entre as plataformas interna e média, embora ainda haja predominância de amostras arenosas. Mais uma vez, as amostras mais lamosas ficam restritas às desembocaduras fluviais, com destaque para a foz do rio Jaboatão e do estuário de Suape.

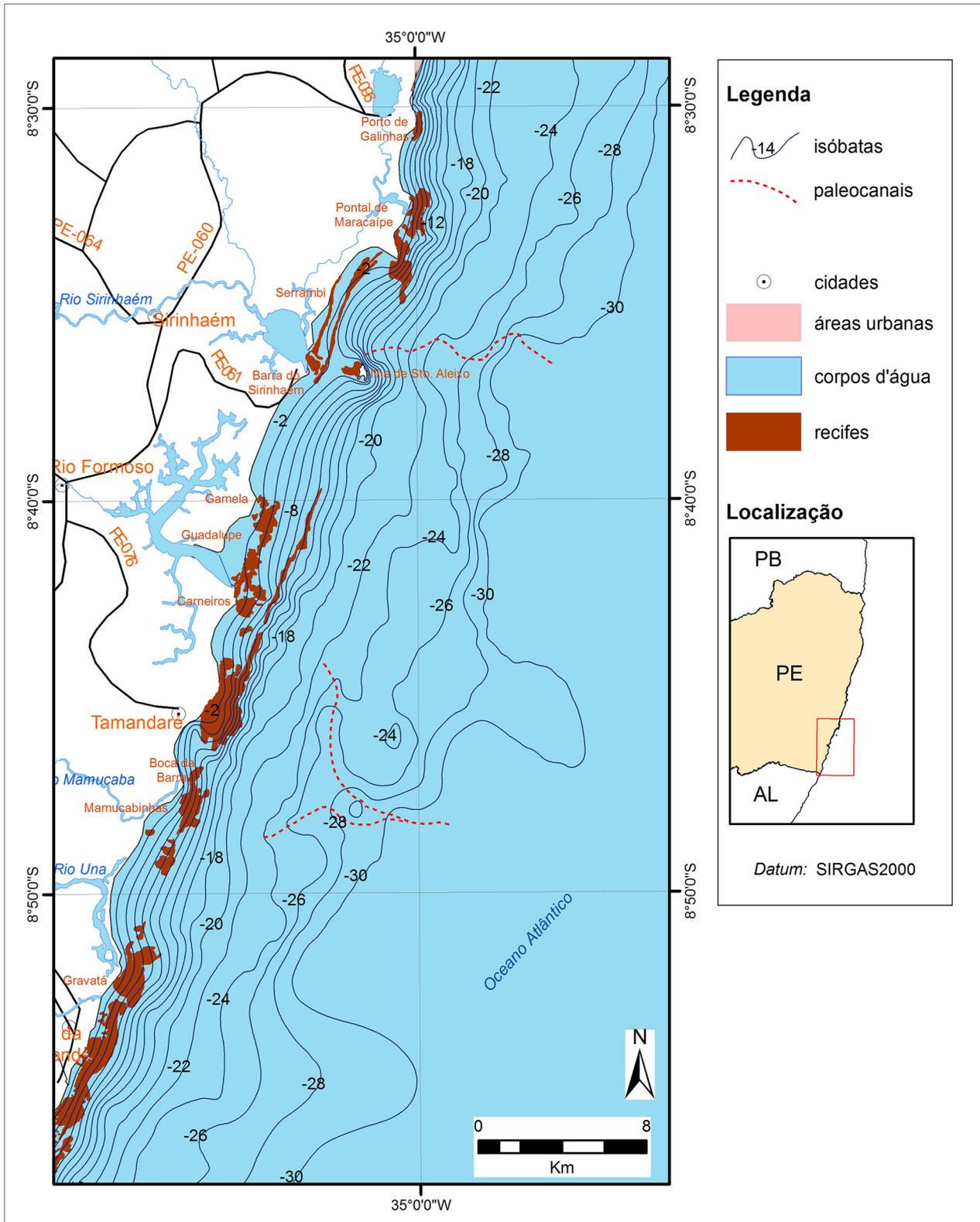


Figura 14 - Batimetria do setor Sirinhaém.

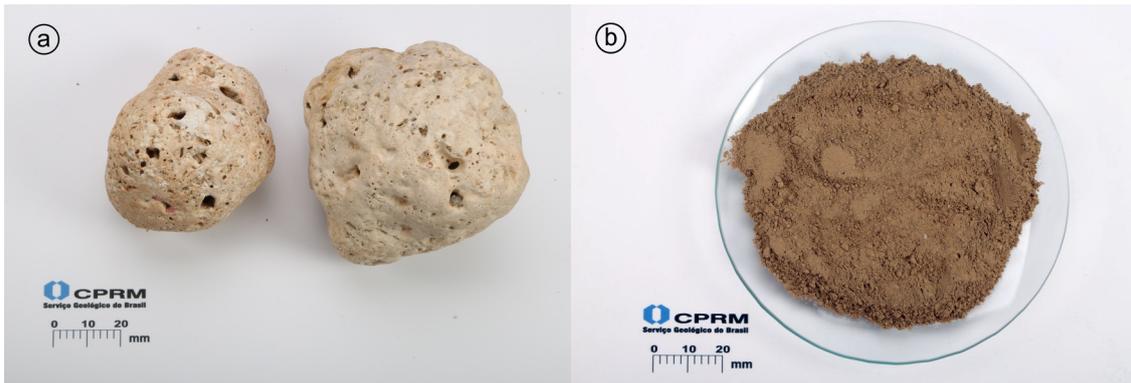


Figura 15 - Exemplos de amostras classificadas a olho nu como cascalho (a) ou como lama (b), sem passar por análise granulométrica em laboratório

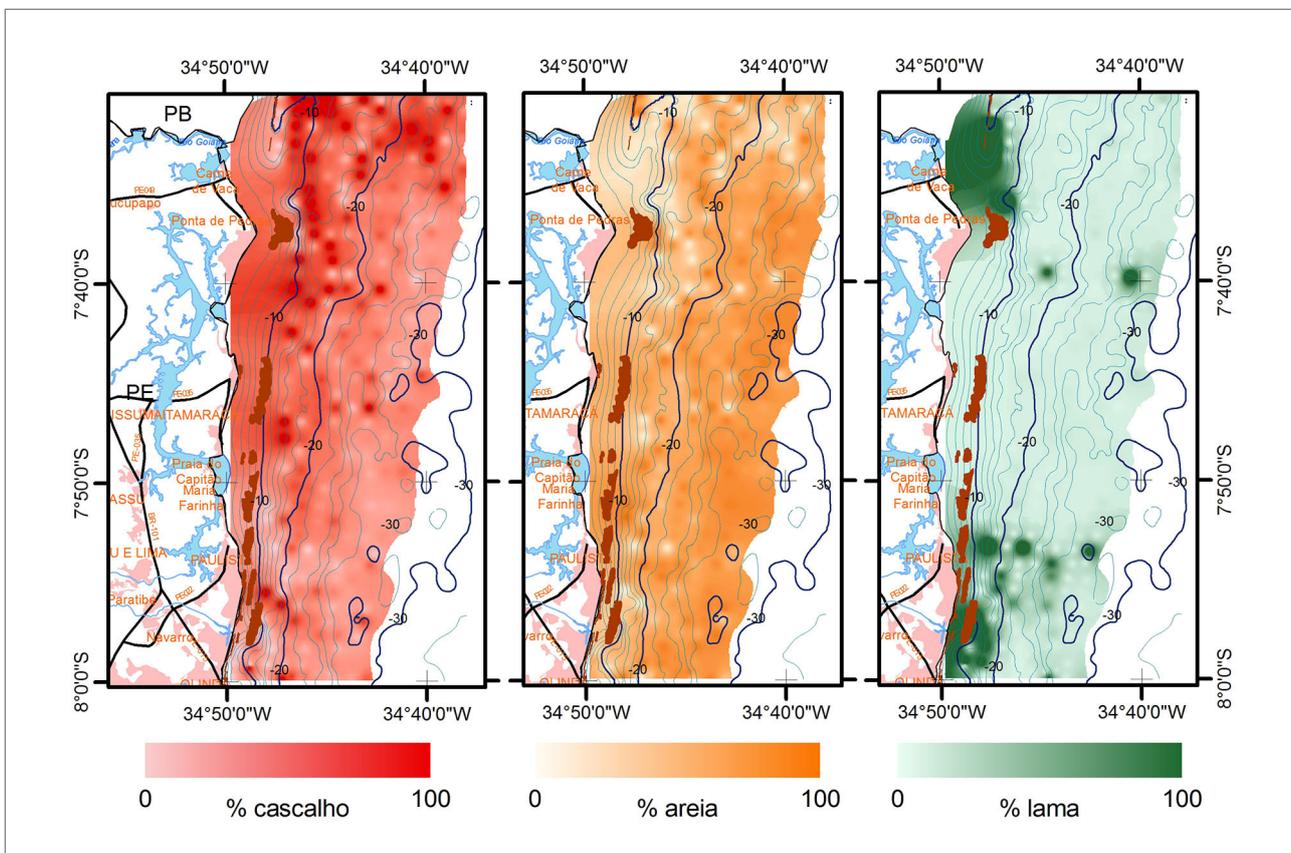


Figura 16 - Teores de cascalho, areia e lama nas amostras do setor Itamaracá interpolados através do método do inverso da distância quadrática (IDW²).

5.2.3. Setor Sirinhaém

No setor Sirinhaém, de modo geral, também se observa dominância de amostras com altos teores de areia, a exemplo do que ocorre nos outros dois setores. Entretanto, existe uma quantidade de amostras ricas em cascalho bem espalhadas pela plataforma média e quase ausentes na plataforma interna, diferente do que se observou anteriormente. Também se destaca neste setor em relação aos demais, a presença significativa de amostras lamosas na plataforma média, para além da isóbata de -20 m.

5.3. DISTRIBUIÇÃO DO DIÂMETRO MÉDIO DAS AMOSTRAS COLETADAS

A partir da determinação do diâmetro médio dos sedimentos de cada amostra e da sua interpolação através do mesmo método empregado no caso dos teores de cascalho, areia e lama, obteve-se o seguinte mapa em que a distribuição foi discretizada nos intervalos das classes de Udden-Wentworth (ver tabela 1).

De modo geral, pode-se notar que este mapa corrobora as observações feitas a respeito das distribuições

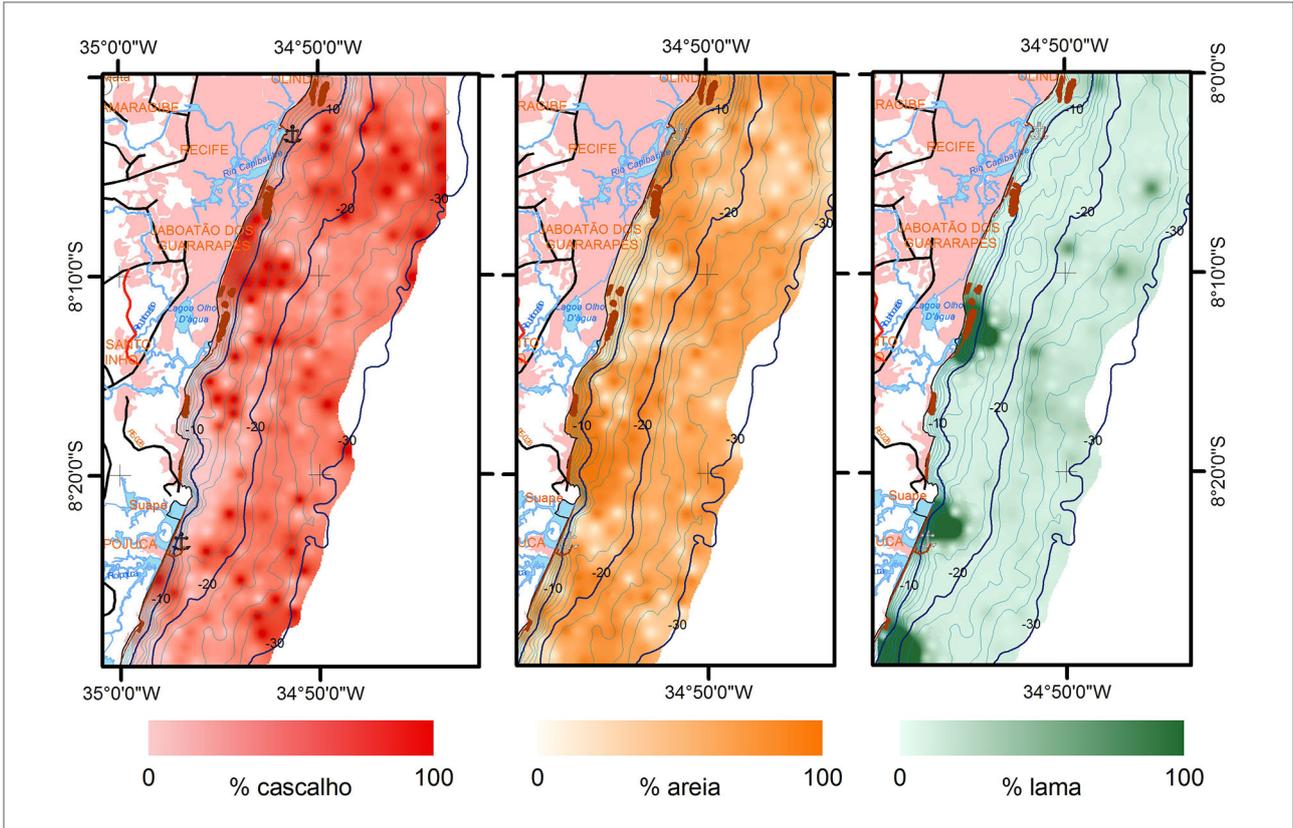


Figura 17 - Teores de cascalho, areia e lama nas amostras do setor Recife interpolados através do método do inverso da distância quadrática (IDW²).

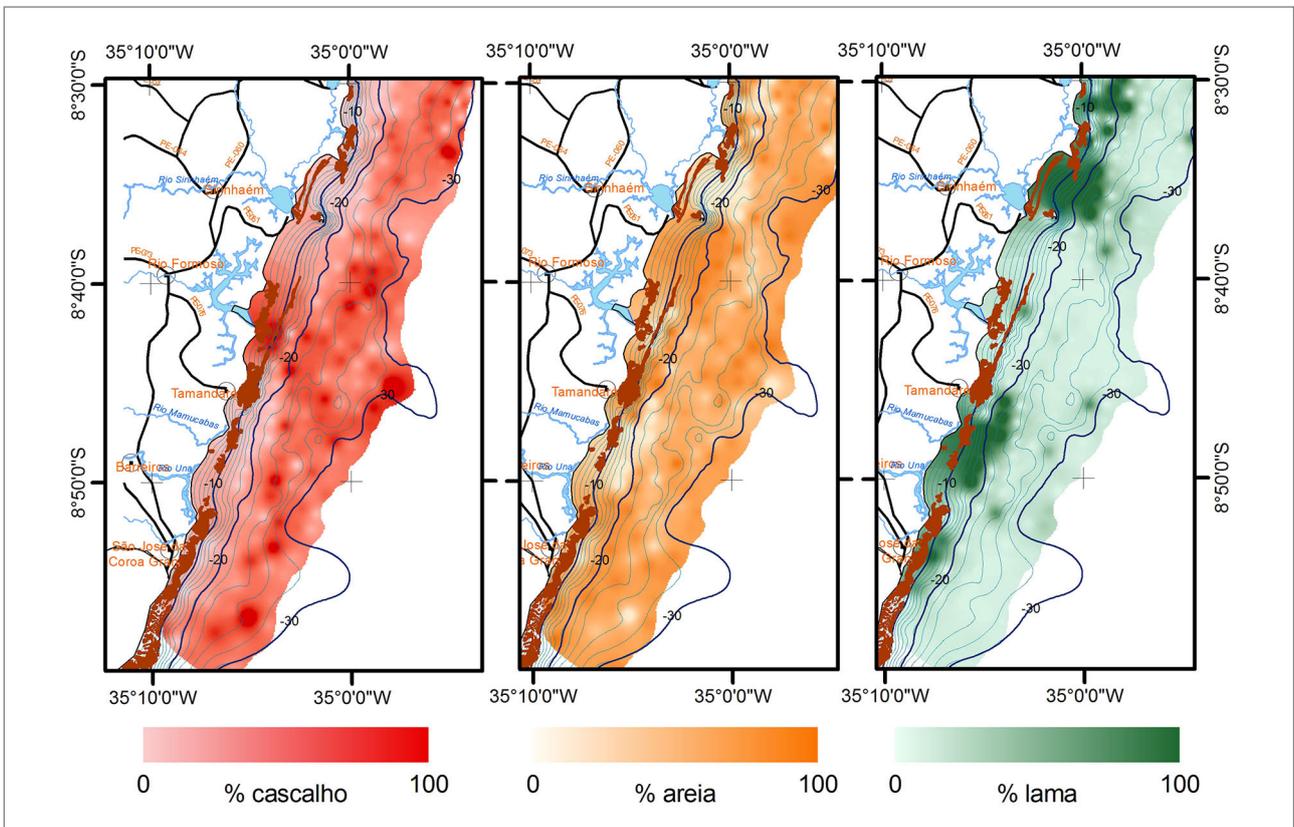


Figura 18 - Teores de cascalho, areia e lama nas amostras do setor Sirinhaém, interpolados através do método do inverso da distância quadrática (IDW²).

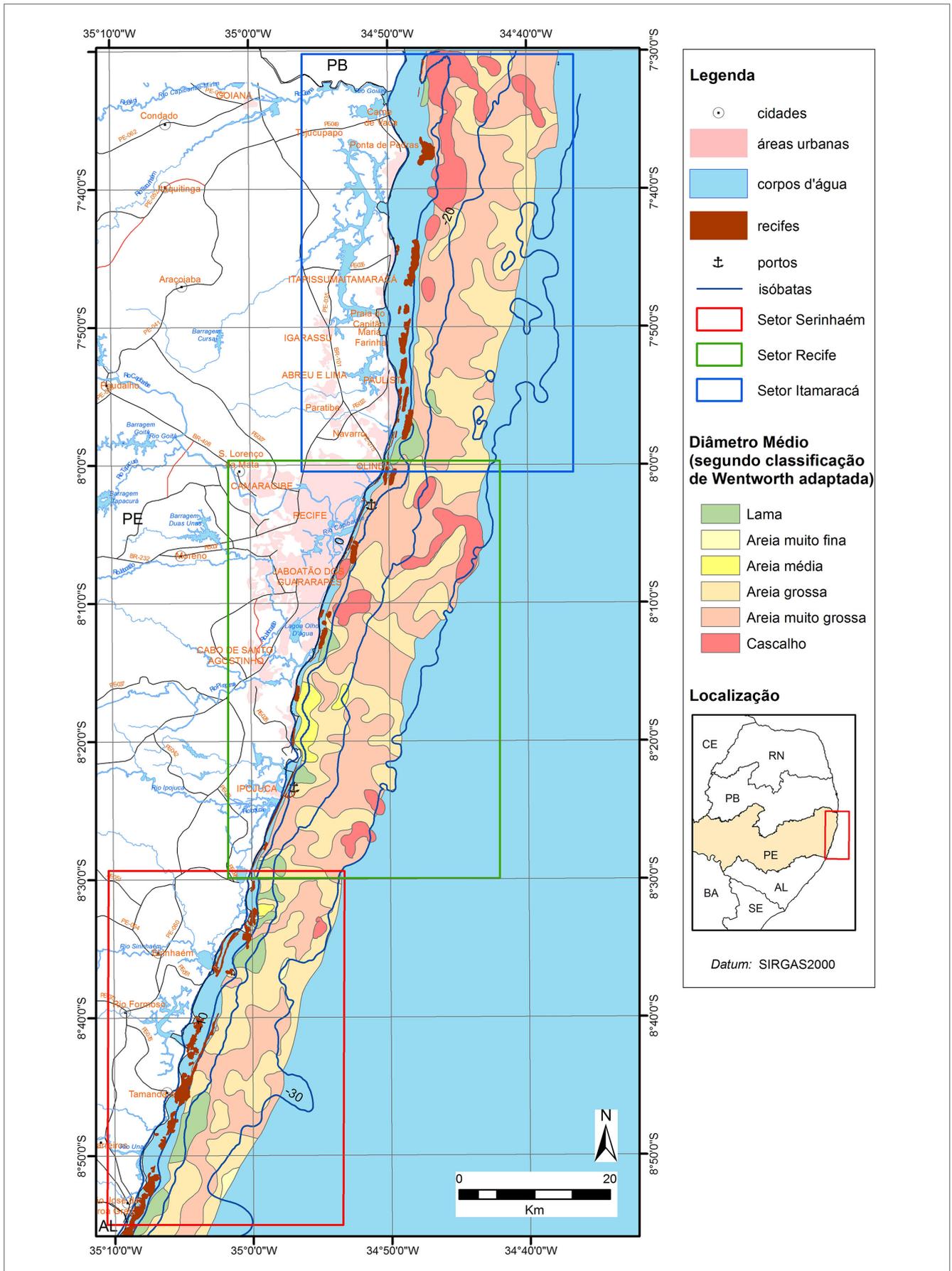


Figura 19 - Distribuição do diâmetro médio das amostras calculado através da metodologia de (FOLK; WARD, 1957), com valores classificados de acordo com a escala de Udden-Wentworth adaptada na tabela 1.

dos teores de cascalho, areia e lama: há um predomínio das classes de areia em todos os setores, com a presença de amostras lamosas restritas as partes mais rasas, nas proximidades das desembocaduras fluviais mais relevantes, especialmente no setor Sirinhaém, e de amostras cascalhosas mais significativamente presentes nos setores Itamaracá e Recife em manchas espalhadas entre as plataformas interna e média.

5.4. CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL DAS AMOSTRAS E SUA DISTRIBUIÇÃO

A interpretação da distribuição textural dos sedimentos que cobrem a plataforma continental evidencia a hidrodinâmica do ambiente e sua relação com a natureza dos aportes continentais. Segundo o esquema de classificação de Shepard-Schlee-Poppe aqui adaptado e adotado, foram encontradas amostras de seis classes. Considerando-se todas as amostras do estado, como se pode notar nas figuras 20 e 21, a maior parte (cerca de 57%) foi classificada como “sedimento cascalhoso”, o que significa que possui teor de cascalho entre 10% e 50%. Do total de 821 amostras recuperadas e classificadas, 211 foram classificadas como “cascalho”, 465 como “sedimento cascalhoso”, 88 como “areia”, 7 como “areia lamosa”, 8 como “lama arenosa” e 42 como “lama”.

A distribuição espacial das amostras pontuais, com suas texturas classificadas de acordo com o esquema de Shepard-Schlee-Poppe mostrado anteriormente, segue apresentada na figuras 20 e 21.

Finalmente, a partir da integração em ambiente SIG desta informação da textura de cada amostra pontual (Figura 22) com as anteriores (distribuição do diâmetro médio dos sedimentos de cada amostra, distribuição dos teores de cascalho, areia e lama, além da batimetria

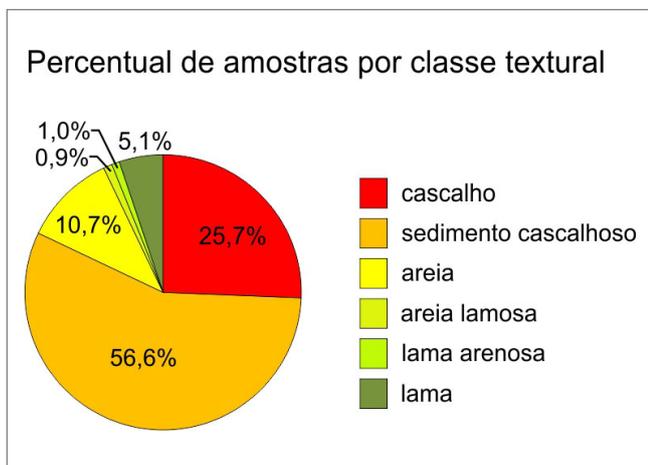


Figura 20 - Percentuais das amostras de toda a área de estudo em cada classe textural segundo a classificação adaptada de Shepard-Schlee-Poppe.

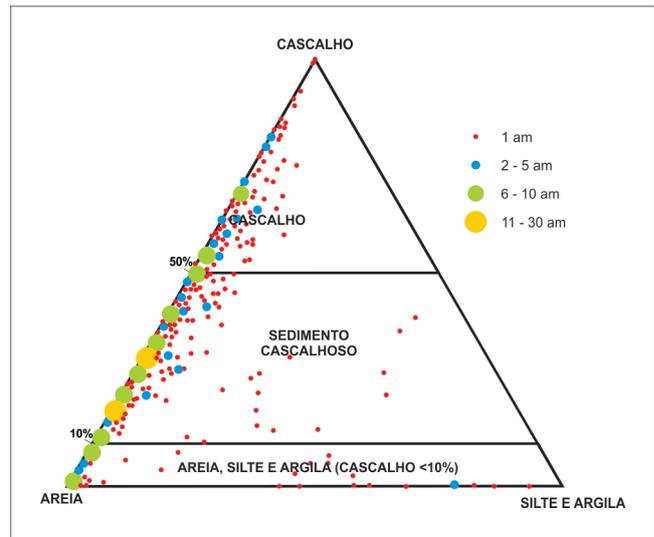


Figura 21 - Distribuição no diagrama de Schlee (1973), conforme modificação proposta por Poppe (2001) das 821 amostras (am) coletadas e analisadas na plataforma pernambucana.

e da posição observada dos recifes), foi construída a distribuição textural contínua dos sedimentos que recobrem o leito marinho na plataforma rasa pernambucana, conforme apresentado por Assis *et al.* (2015) e mostrado nas figuras 23, 24 e 25, para cada setor.

Apesar de aparentar uma distribuição heterogênea aleatória, a textura dos sedimentos que recobrem a plataforma pernambucana segue uma disposição que se pode dizer relacionada entre si, no espaço e no tempo.

(a) Sedimento cascalhoso: De uma forma geral, destaca-se na plataforma rasa pernambucana o predomínio de áreas cobertas por sedimento cascalhoso, com teores de cascalho variando entre 10% e 50%.

Sobretudo dominada por materiais bioclásticos muito fragmentados e siliciclásticos em menor proporção, com forte presença de areias média a grossa (Figura 26), essa classe deve resultar do desdobramento de mantas praias retrabalhadas e, em determinadas áreas, atravessando diacronicamente o Quaternário, em decorrência das oscilações do nível do mar desde o Pleistoceno ao presente.

No trecho da plataforma pernambucana aqui levantada, ocorre a textura sedimento cascalhoso em uma área de 1275 km², representando aproximadamente 54% da área total e distribuída da seguinte maneira nos setores: Itamaracá 509 km² (equivalente a 63% da área do setor), Recife 382 km² (42%) e Sirinhaém 384 km² (58%).

(b) Cascalho: A classe textural cascalho, definida pela presença de teores de cascalho superiores a 50%, apresenta-se com maior expressão no setor Recife (Figura 24), entre Olinda e Ipojuca, onde ocorre tanto na parte mais interna da plataforma (mais rasa do que -21 m), em manchas menores e mais isoladas, quanto na plataforma média (além dos -21 m), em manchas maiores e contínuas.

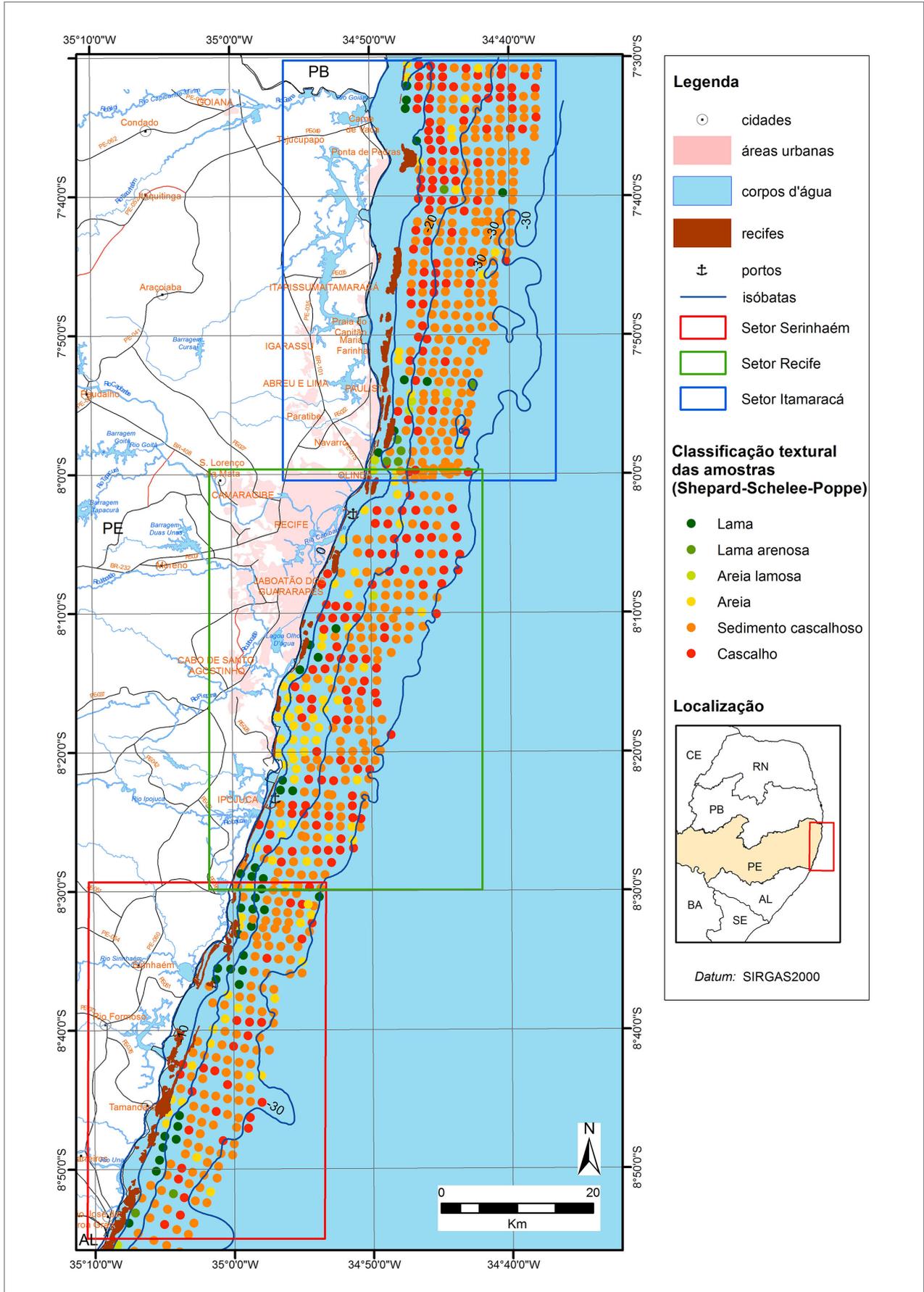


Figura 22 - Distribuição das texturas das amostras, classificadas de acordo com o esquema adaptado de Shepard-Schlee-Poppe.

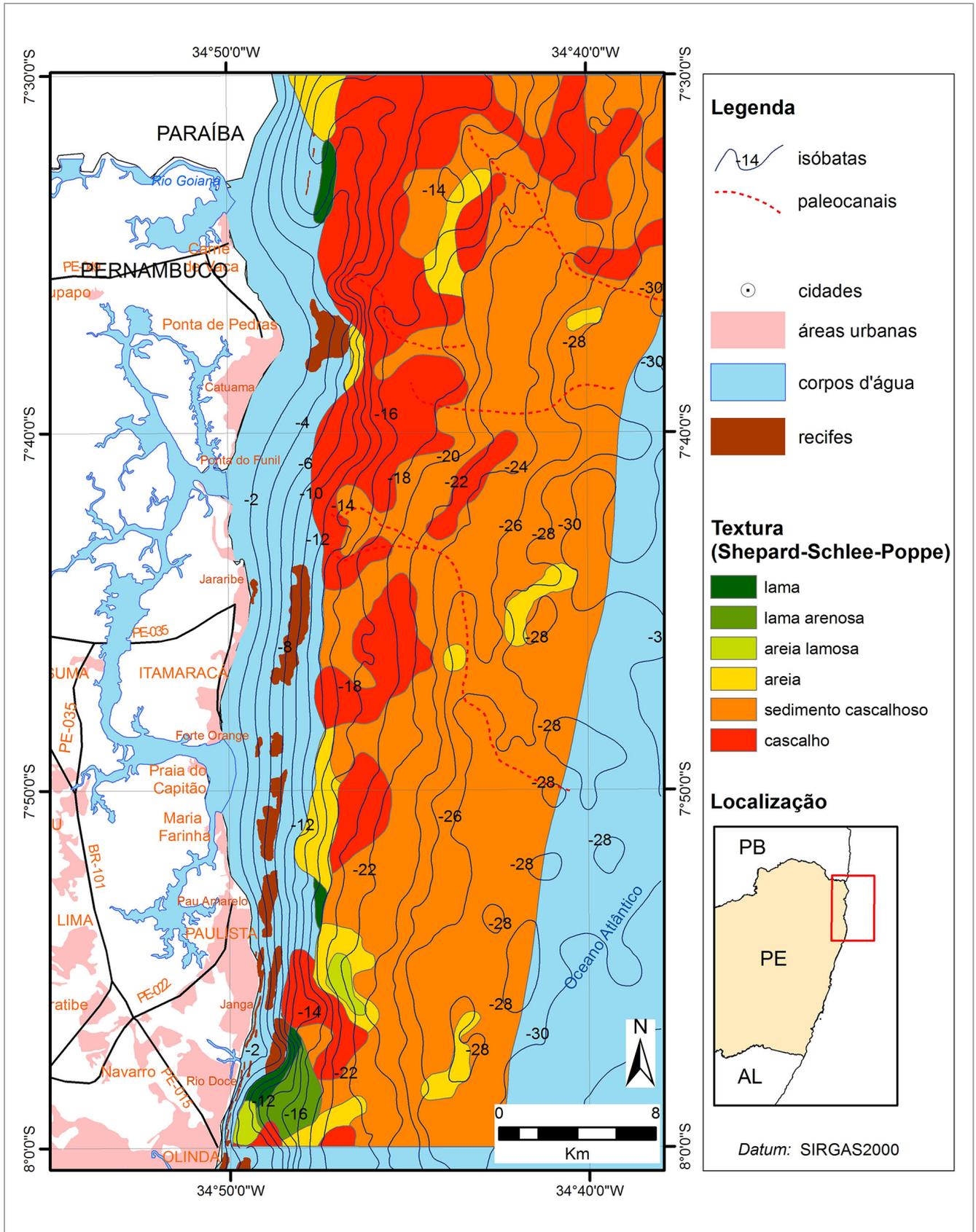


Figura 23 - Distribuição textural dos sedimentos que recobrem a plataforma rasa do setor Itamaracá.

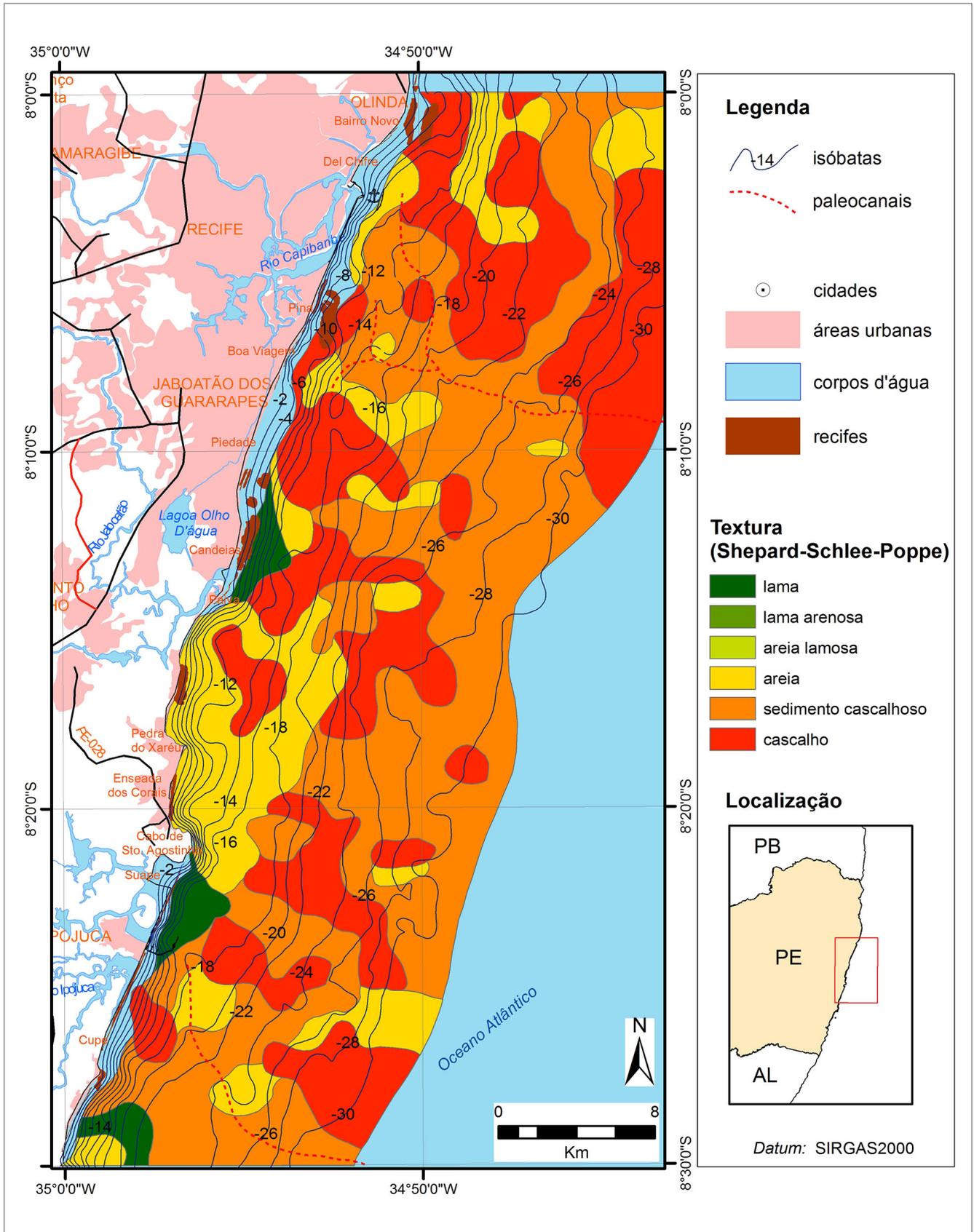


Figura 24 - Distribuição textural dos sedimentos que recobrem a plataforma rasa do setor Recife.

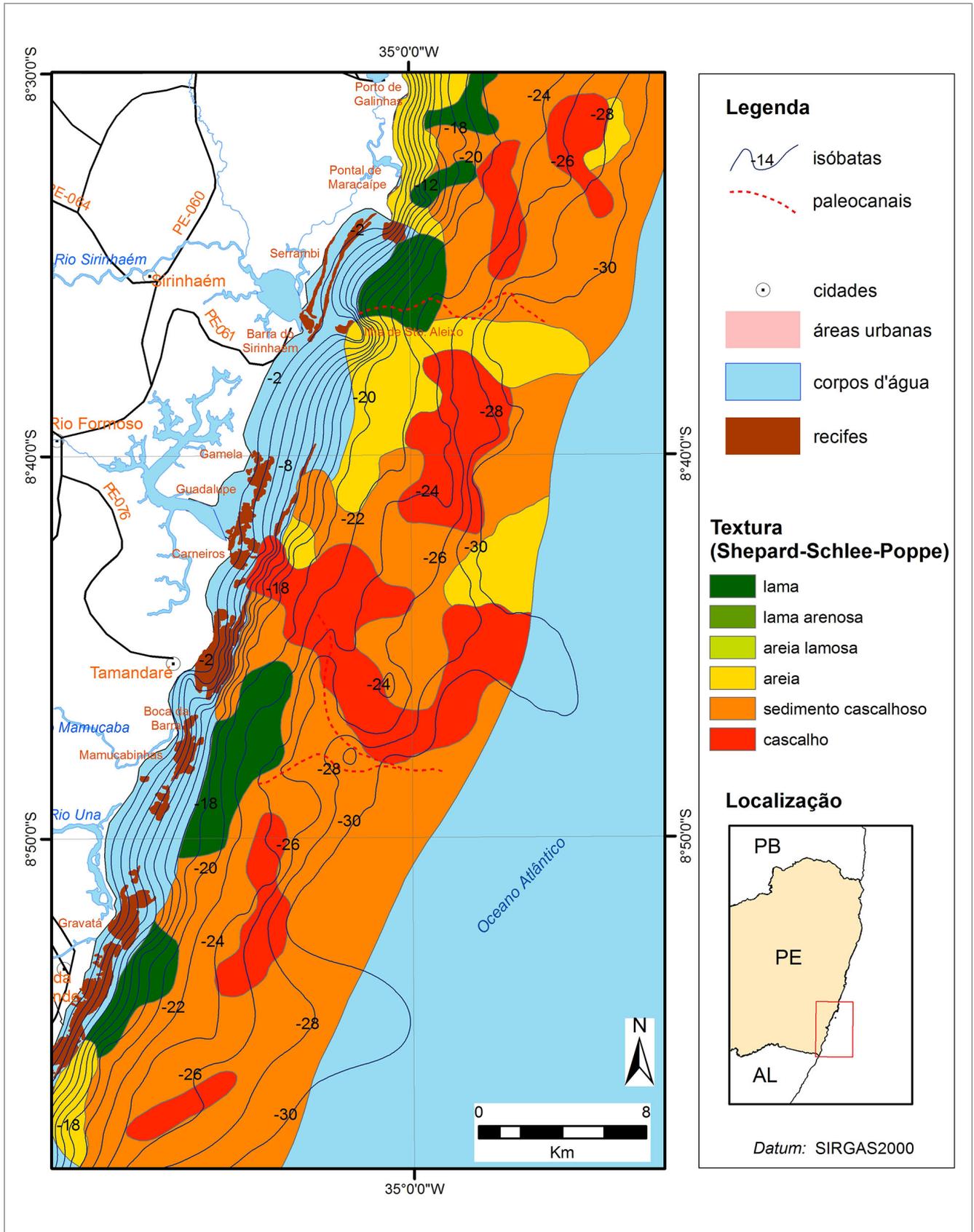


Figura 25 - Distribuição textural dos sedimentos que recobrem a plataforma rasa do setor Sirinhaém.



Figura 26 - Exemplos de amostras de sedimento cascalhoso coletados nos setores Itamaracá (a e b), Recife (c e d) e Sirinhaém (e e f).

No setor Itamaracá (Figura 23), ao norte de Olinda, o cascalho praticamente se restringe à plataforma interna e destaca-se a ocorrência de uma faixa larga e contínua deste material ao largo e ao norte da Ilha de Itamaracá até a divisa com a Paraíba.

No setor Sirinhaém (Figura 25), os depósitos de cascalho distribuem-se mais isoladamente e quase sempre em profundidades maiores do que 20 m.

Quanto à sua composição, o cascalho encontrado é composto basicamente por bioclastos de origem algálica. O acúmulo deste material se deve principalmente à fragmentação de algas vermelhas calcárias de vida livre, genericamente referidas como *Lithothamnion* ou rodolitos (Figura 27).

Em toda a plataforma pesquisada, ocorre a textura cascalho em uma área aproximada de 678 km², que

representa cerca de 29% da área total e se distribui da seguinte forma: Itamaracá 225 km² (28% do setor), Recife 318 km² (35%) e Sirinhaém 134 km² (20%).

(c) Areia e areia lamosa: As classes areia e areia lamosa, ambas com teores de cascalho menores do que 10% e de areia maiores do que 75%, para areia, e entre 50% e 75%, para areia lamosa, ocorrem principal, mas não somente, na plataforma interna (Figuras 23, 24 e 25).

A classe areia lamosa ocorre apenas em duas pequenas áreas do setor Recife, próximas de áreas cobertas por lama e/ou lama arenosa e das desembocaduras do rio Doce, em Paulista, e do canal de Santa Cruz, ao sul da Ilha de Itamaracá.

A classe areia tem presença expressiva entre o sul de Recife e o Cabo de Santo Agostinho, onde coincide



Figura 27 - Cascalho tipicamente encontrado na Plataforma continental interna e média de Pernambuco. Nota-se a presença predominante de cascalho e seixos formados por rodolitos maciços e ramificados.

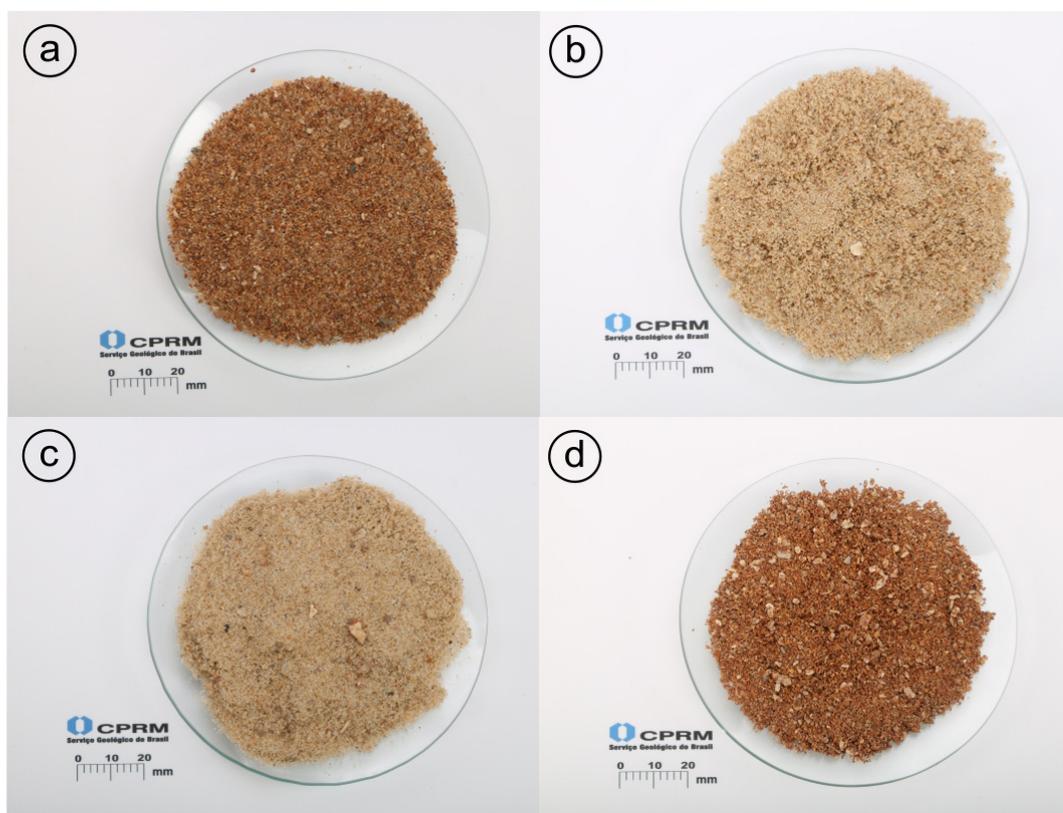


Figura 28 - Material arenoso encontrado na plataforma pernambucana, especificamente nos setores Recife (a e b), Sirinhaém (c) e Itamaracá (d). Observa-se a marcante presença de material siliciclástico, podendo conter sinais de oxidação ferruginosa em algumas amostras (e.g. fotos a e d) e de grãos carbonáticos com destaque para fragmentos de *Halimeda* (e.g. foto d).

com os setores mais pobres em material carbonático da área estudada, como se verá mais adiante. São, portanto, neste setor, fácies arenosas ricas em material de origem continental carregado por rios e acumulados por processos hidrodinâmicos marinhos costeiros. Por outro lado, na porção mais externa da área de estudo, a fácies areia ocorre em pequenas manchas isoladas e espalhadas nos três setores pesquisados. Quase sempre são áreas vizinhas de áreas cascalhosas e ricas em carbonatos, o que pode indicar terem se originado da fragmentação e retrabalhamento de grãos cascalhosos biogênicos.

Ocorrem estas fácies arenosas em uma área de 325 km², correspondendo a 14% da área total e distribuindo-se da seguinte maneira: Itamaracá 58 km² (equivalente a cerca de 7% do setor), Recife 178 km² (20%) e Sirinhaém 89 km² (13%).

(d) Lama e lama arenosa: Conforme a expectativa mais previsível para as plataformas interna e média de Pernambuco, as fácies lamosas formam domínios preferencialmente costeiros e em conexão com a desembocadura de rios que deságuam na costa. Contudo, a presença de construções recifais ao norte de Paulista e ao sul de Ipojuca, dificultou a navegação e, portanto, a coleta de amostras na porção mais interna da plataforma nestes trechos do litoral pernambucano.

Apesar de apresentarem pouco material siliciclástico, a distribuição destas lamas parece corresponder às áreas

de influência das plumas fluviais dos rios costeiros. De norte para sul, essa tendência se mantém até a altura de Suape, quando as manchas principais de lama passam a alcançar as profundidades entre 15 m e 25 m. Esta disposição sugere o registro de duas etapas de relativa estabilização da progressão transgressiva do nível do mar, após o auge do último máximo glacial, ocorrido há cerca de 18 mil anos. Igualmente, esta distribuição também marcaria um desenvolvimento sedimentar diferenciado entre a plataforma ao norte do cabo de Santo Agostinho em relação àquela ao sul deste marco costeiro, sendo a primeira muito mais contemporânea.

As áreas cobertas por sedimentos lamosos ocorrem em uma área aproximada de 97 km², que responde por 4% da área total pesquisada e é distribuída nos setores como se segue: Itamaracá 16 km² (2% do setor), Recife 24 km² (3%) e Sirinhaém 57 km² (9%).

5.5. DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DE CARBONATO DE CÁLCIO (CaCO₃)

Do total de 890 amostras coletadas, 220 foram analisadas quanto ao teor de carbonato de Cálcio (CaCO₃), sendo 61 no setor Itamaracá, 89 no setor Recife e 70 no setor Sirinhaém. Quando se considera toda a plataforma pernambucana, a maior parte das amostras analisadas possui teor de CaCO₃ maior do que 75% (Figura 30) e, se



Figura 29 - Amostras de sedimentos ricos em lamas dos setores Itamaracá (foto a), Recife (foto b) e Sirinhaém (fotos c e d).

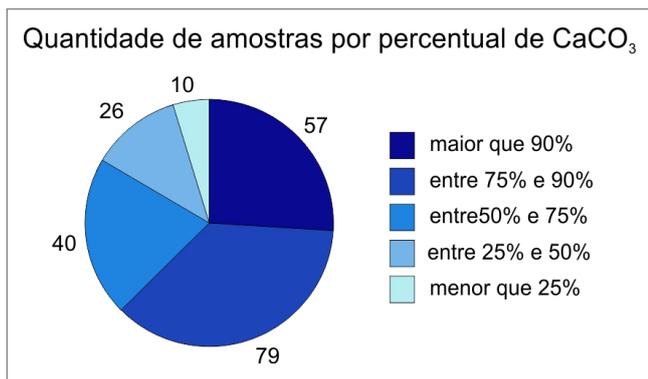


Figura 30 - Quantidade de amostras em cada classe de teor de CaCO₃.

compararmos os teores de CaCO₃ com a classificação textural de cada amostra, observamos que as amostras mais ricas em carbonatos também tendem a apresentar maiores teores de cascalho tendem a apresentar maiores teores de cascalho (Figura 31).

Entretanto, a distribuição espacial dos teores de CaCO₃ na plataforma continental rasa adjacente ao estado de Pernambuco é bastante diferenciada na direção norte-sul (Figura 32), de modo similar ao que ocorre com a granulometria dos sedimentos. De maneira geral, pode-se afirmar que as mais baixas concentrações de CaCO₃ estão associadas às descargas fluviais dos diversos estuários na costa pernambucana. A descarga de sedimentos de origem continental é mais significativa nos setores Recife e Sirinhaém, em função da maior quantidade de estuários neste trecho, levando a menores teores de CaCO₃ do centro para o sul da área pesquisada.

A partir da integração em ambiente SIG dos dados amostrais de teor de CaCO₃ com as informações anteriores, especialmente batimetria e classificação textural da cobertura sedimentar, foi feita uma distribuição tentativa contínua dos teores de carbonato para toda a plataforma Pernambucana, como aparece em Assis *et al.* (2015) e como está apresentado a seguir por setor.

5.5.1. Setor Itamaracá

No setor Itamaracá, ocorre o predomínio de áreas com teor de CaCO₃ maior do que 90% e apresenta-se em 3 áreas de concentração bem individualizadas (Figura 33), sendo a maior delas com aproximadamente 244 km² localizada no extremo norte. Em seguida, ocorrem uma área de cerca de 121 km² na porção central deste setor e outra menor, com aproximadamente 54 km² ao sul. Observa-se, portanto, uma significativa redução no teor de CaCO₃ de norte para sul que está relacionada com a ocorrência de sedimentos com assinatura textural cascalho, formados por rodolitos, fragmentos de corais, carapaças de bivalves e gastrópodes na parte mais ao norte e de sedimentos cascalhosos, com maior conteúdo de areia, portanto, compostos por fragmentos de algas calcárias (*Halimeda* e *Lithothamnion*) mais ao sul desta folha.

5.5.2. Setor Recife

Na figura 34, pode-se observar que, no setor Recife, ocorre o predomínio de sedimentos com teores de CaCO₃ entre 50% e 90%, concentrados nas classes texturais cascalho e sedimento cascalhoso, com pequenas manchas de sedimento com teores mais elevados em localizadas além da isóbata de -20 m e com os menores teores (menores que 50%) restritos à plataforma interna em sedimentos arenosos.

5.5.3. Setor Sirinhaém

Finalmente, na folha Sirinhaém, ocorre distribuição semelhante, com predominância de sedimentos com teores de carbonato entre 50% e 90%. Porém, a presença de recifes dificultou a coleta de dados entre a costa e a isóbata de 10 m, resultando em falta de dados na plataforma mais interna (Figura 35).

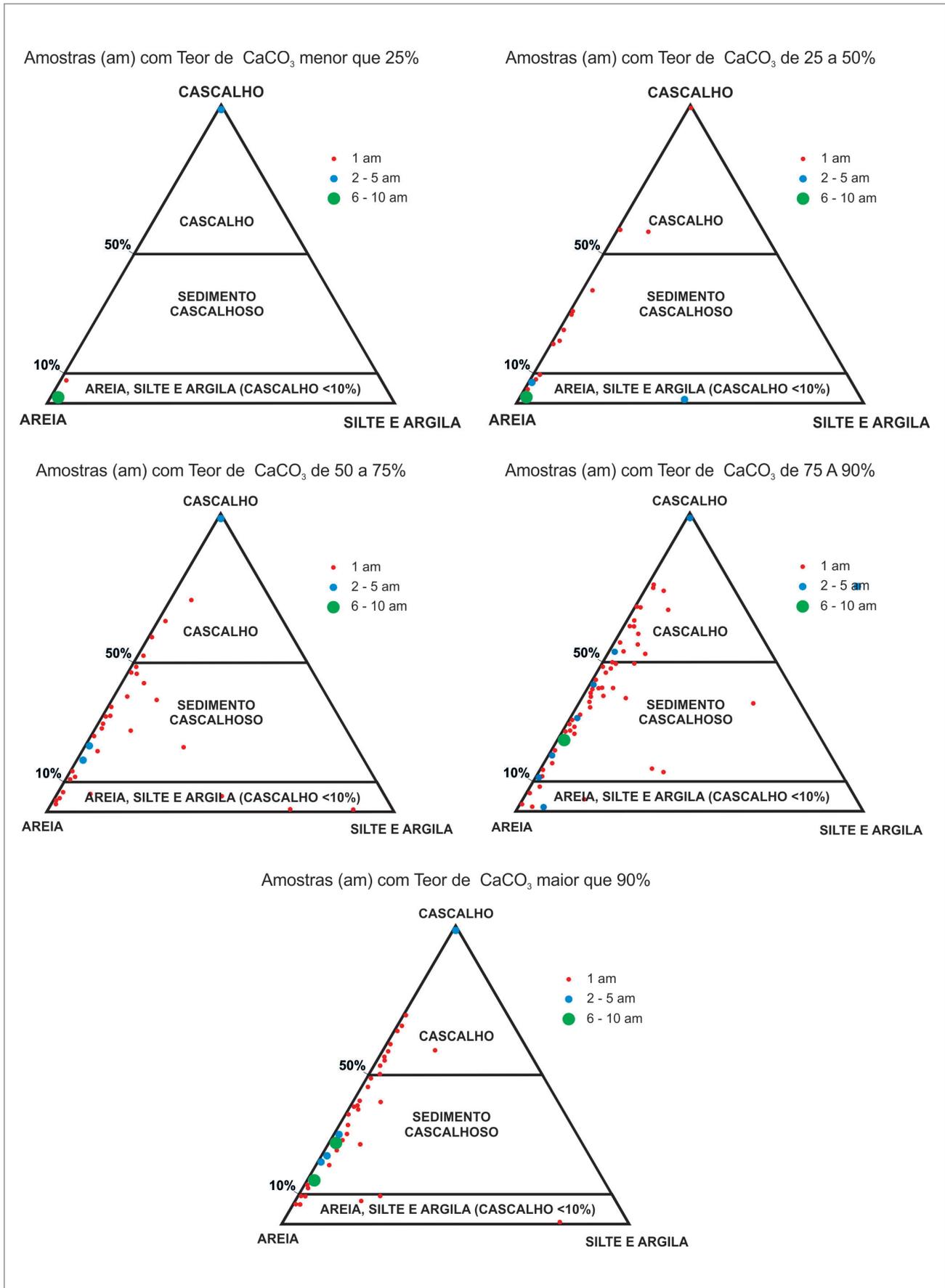


Figura 31 - Classificação de Shepard-Schlee-Poppe das amostras de toda a plataforma rasa de Pernambuco, separadas por teores de CaCO_3 .

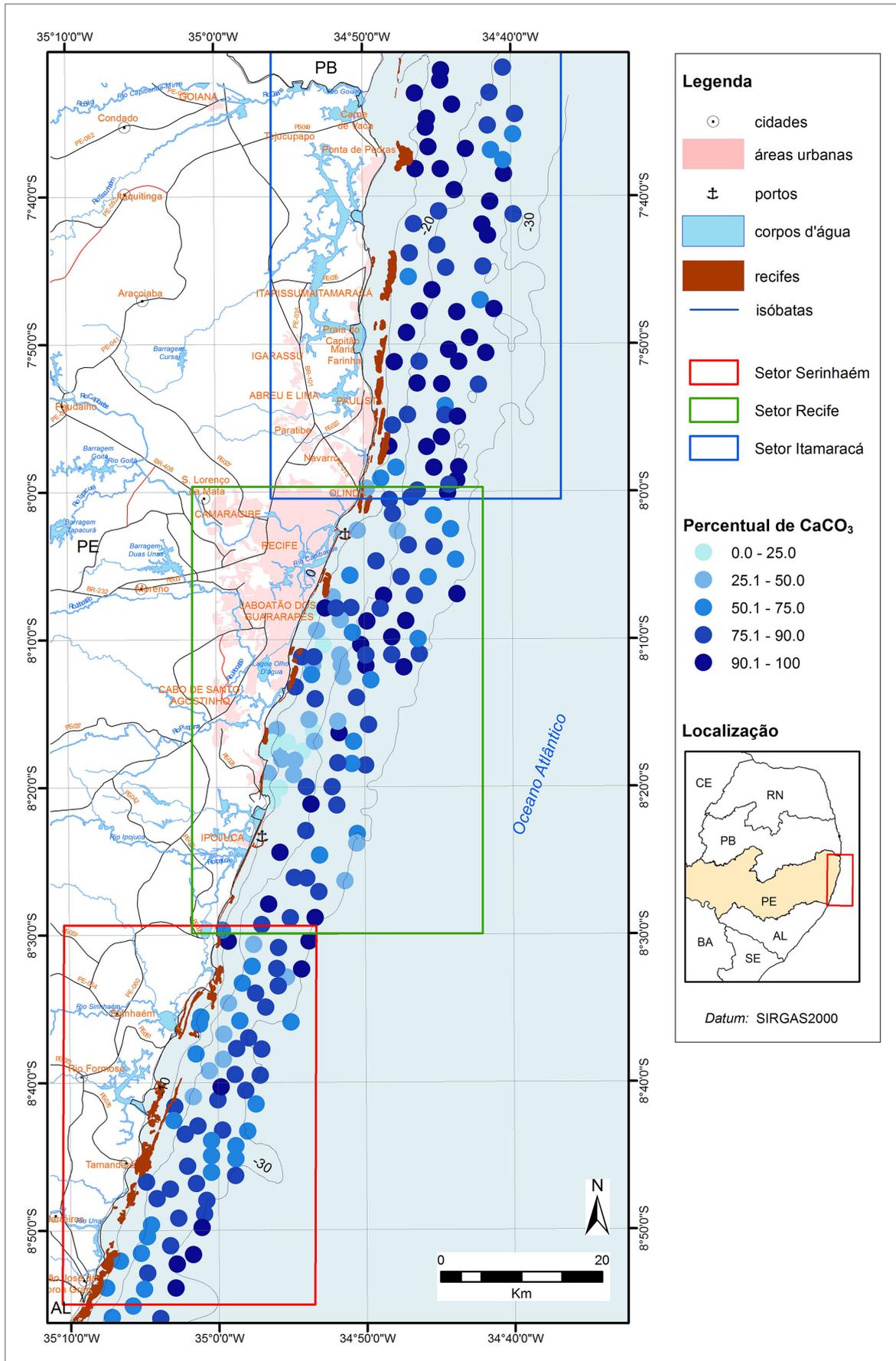


Figura 32 - Distribuição espacial das amostras que tiveram seu teor de CaCO₃ analisado.

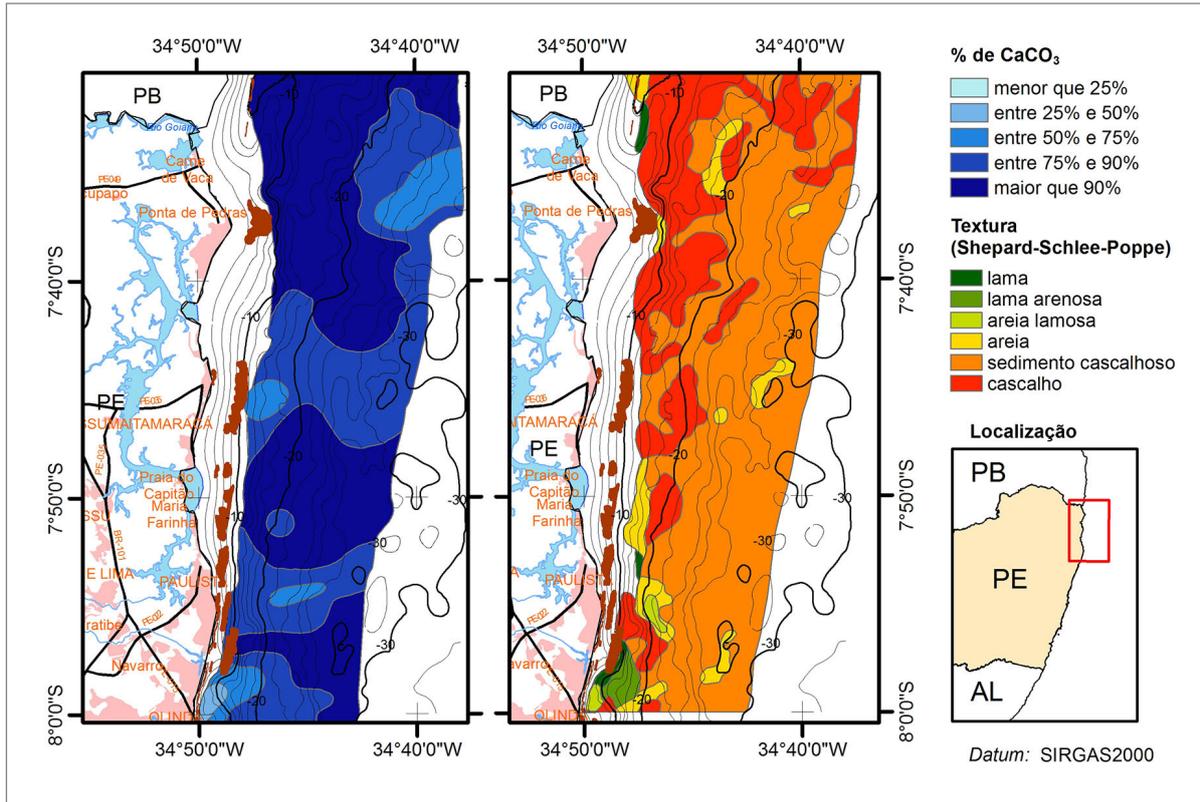


Figura 33 - Distribuição dos teores de CaCO_3 no setor Itamaracá em comparação com as classes texturais de Shepard-Schlee-Poppe adaptada.

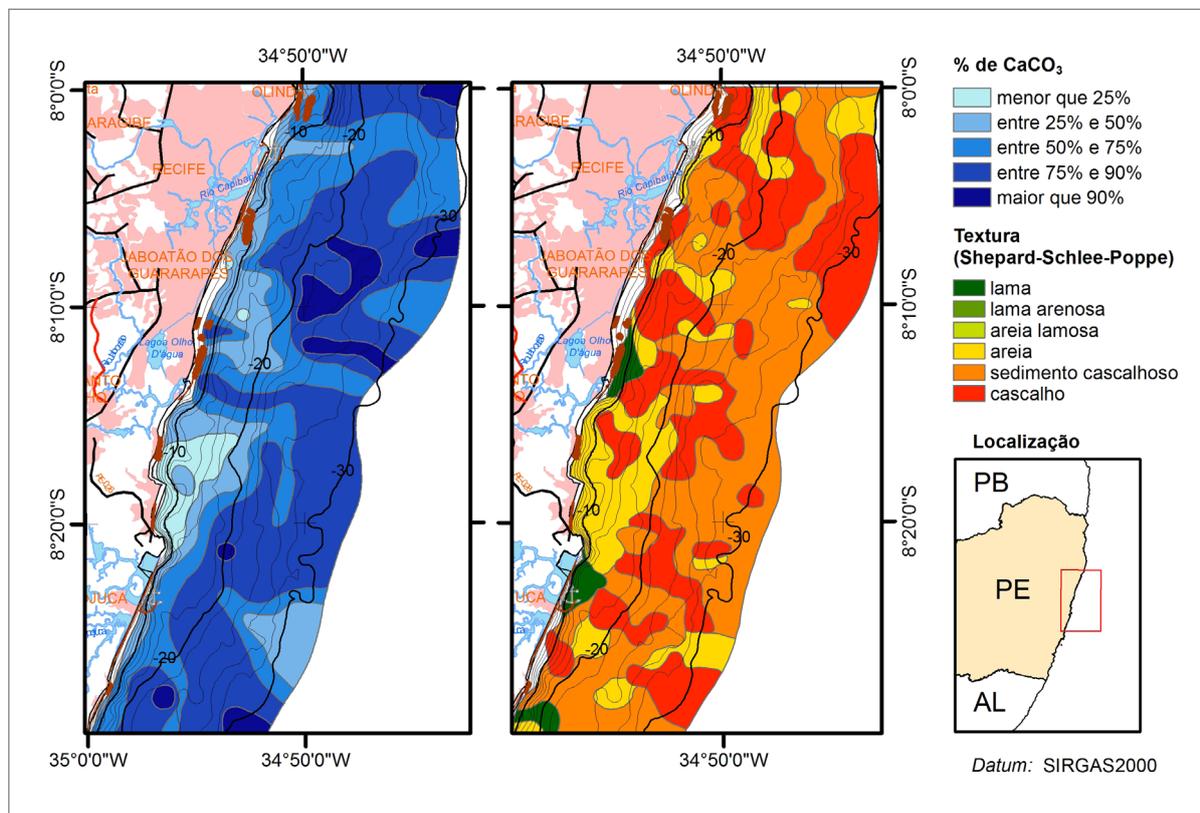


Figura 34 - Distribuição dos teores de CaCO_3 no setor Recife em comparação com as classes texturais de Shepard-Schlee-Poppe adaptada.

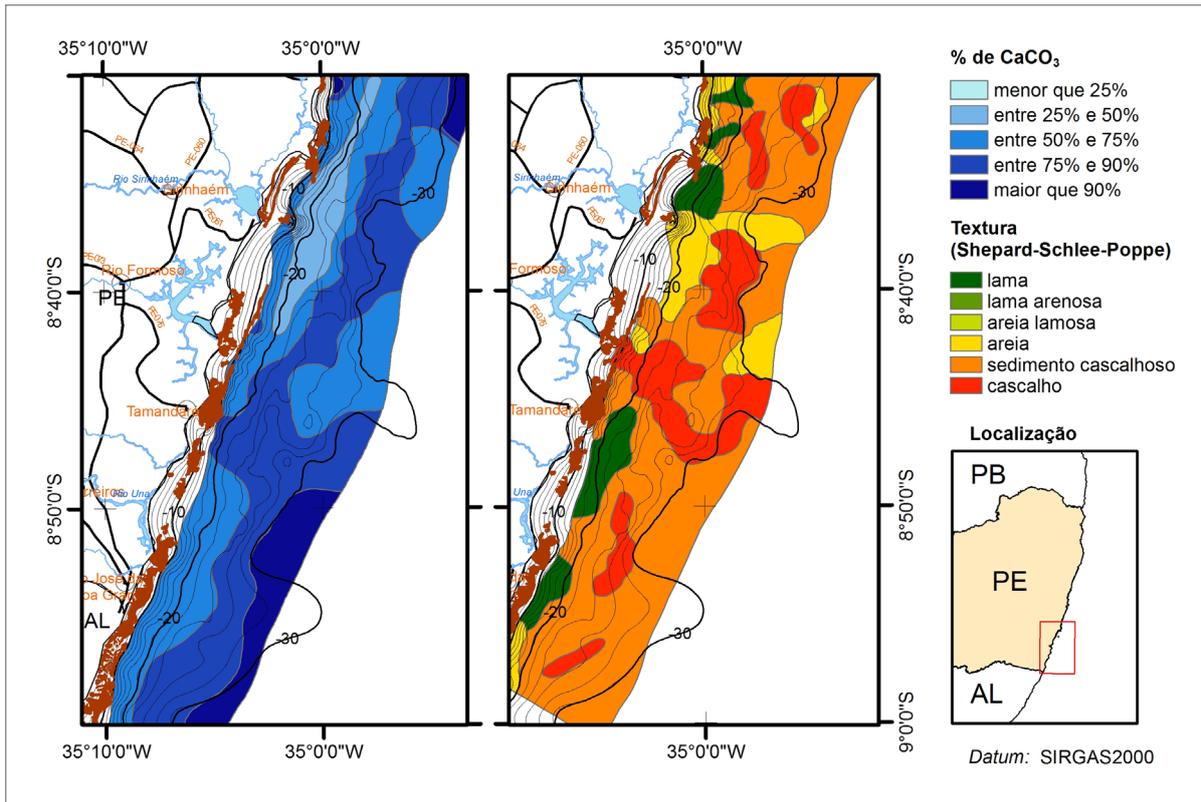


Figura 35 - Distribuição dos teores de CaCO₃ no setor Sirinhaém em comparação com as classes texturais de Shepard-Schlee-Poppe adaptada.

6. AVALIAÇÃO DA POTENCIALIDADE DOS GRANULADOS MARINHOS DA PLATAFORMA CONTINENTAL RASA DE PERNAMBUCO DE PERNAMBUCO

Usualmente, emprega-se a denominação “granulados” para caracterizar materiais fragmentados, especialmente nas frações areia e cascalho, que se originam dos rejeitos da atividade de mineração. São materiais de especial interesse para a indústria da construção civil, que também emprega o termo “agregados” para se referir a estes mesmos materiais (areia e cascalho) como sua matéria-prima. Quando se trata de granulados marinhos, o termo ganha um significado mais amplo, representando normalmente sedimentos arenosos e cascalhosos originários de processos naturais e encontrados em depósitos atualmente submersos. Podemos classificar os granulados marinhos, de acordo com sua composição mineralógica e origem, em siliciclastos, aqueles oriundos da erosão de rochas continentais, ou bioclastos, quando provenientes da fragmentação dos esqueletos de organismos marinhos.

De acordo com dados do Sistema de Informações Geográficas da Mineração (SIGMINE) da Agência Nacional de Mineração (ANM)², até o fim do século passado, a plataforma continental pernambucana apresentava pouquíssima atividade da indústria da mineração. Estas atividades estavam restritas a duas pequenas áreas de interesse para produção de bioclastos carbonáticos, na porção mais rasa da plataforma continental interna do setor Itamaracá, junto às praias de Jaguaribe, na Ilha de Itamaracá, e Ponta de Pedras, no município de Goiana, ambas em fase de requerimento de lavra. Desde o início deste século, entretanto, três novas áreas de interesse para produção mineral foram abertas na plataforma rasa de Pernambuco (Figura 36): nove blocos totalizando aproximadamente 8.900 hectares nos limites da plataforma interna do extremo norte da plataforma, com objetivo de pesquisa de material carbonático e atualmente em fase de autorização de pesquisa; cinquenta blocos cobrindo cerca 50.000 hectares com interesse para produção de areia de uso industrial, entre as plataformas interna e média ao largo do trecho que se estende da Ilha de Itamaracá à zona sul de Recife e atualmente em fase de requerimento de pesquisa; e, finalmente, uma área de quase 3.700 hectares divididos em dois blocos com interesse para material rico em fosfato usado para produção de fertilizantes, localizada ao largo de Porto de Galinhas, entre os setores Recife e Sirinhaém e que, atualmente está em fase de autorização de pesquisa.

Este interesse crescente nos recursos minerais da plataforma rasa de Pernambuco acompanha uma tendência observada em outros países, com destaque para os países europeus e do sudeste asiático (BIDE *et al.*, 2016; EARNEY, 1990) bem como em outros estados brasileiros, conforme indicam os dados do SIGMINE-ANM. Dentre os recursos minerais que ocorrem na plataforma continental brasileira, além do petróleo e gás natural, os sedimentos carbonáticos e os granulados siliciclásticos constituem os depósitos economicamente mais importantes e de fácil exploração.

6.1. GRANULADOS BIOCLÁSTICOS

Os granulados marinhos bioclásticos são formados principalmente por algas vermelhas e verdes que precipitam carbonato de cálcio e/ou magnésio em suas paredes celulares. Dentre estas algas, são viáveis para exploração econômica, apenas aquelas de vida livre, não incrustante, que se apresentam como nódulos maciços ou ramificados e seus fragmentos, pois formam depósitos de sedimentos inconsolidados, podendo ser retirados do leito para a superfície através do emprego de dragas já bastante desenvolvidas para este fim e disponíveis no mercado (DIAS, 2001).

Além dos carbonatos de cálcio e magnésio, que são os principais constituintes minerais das algas calcárias marinhas, estes organismos também aprisionam em seus esqueletos mais de uma dezena de outros elementos em quantidades menos expressivas tais como ferro, boro, potássio, manganês, zinco, molibdênio, silício, fósforo e estrôncio (DARRENOUGUE *et al.*, 2018). Também merece atenção o fato de que os bancos de rodolitos são os principais organismos marinhos fixadores de CaCO₃ do atlântico sul ocidental, participando de forma relevante, portanto, do ciclo de carbono na Terra. Estes vastos depósitos de rodolitos formam, juntamente com as florestas de kelps, prados de gramas marinhas e recifes algálicos, as maiores comunidades bentônicas dominadas por macrofitas do mundo, podendo ocorrer até mais de 150 m de profundidade (AMADO FILHO *et al.*, 2012; FOSTER *et al.*, 2013).

Finalmente, como destaca Dias (2001), estas algas são organismos bentônicos fotossintetizantes e que, portanto, dependem de luz solar para sua sobrevivência. De modo geral, isso implica em restrição de sua ocorrência a uma faixa relativamente estreita dos oceanos,

²Dados disponíveis em <http://sigmine.dnpm.gov.br/sirgas2000/PE.km>

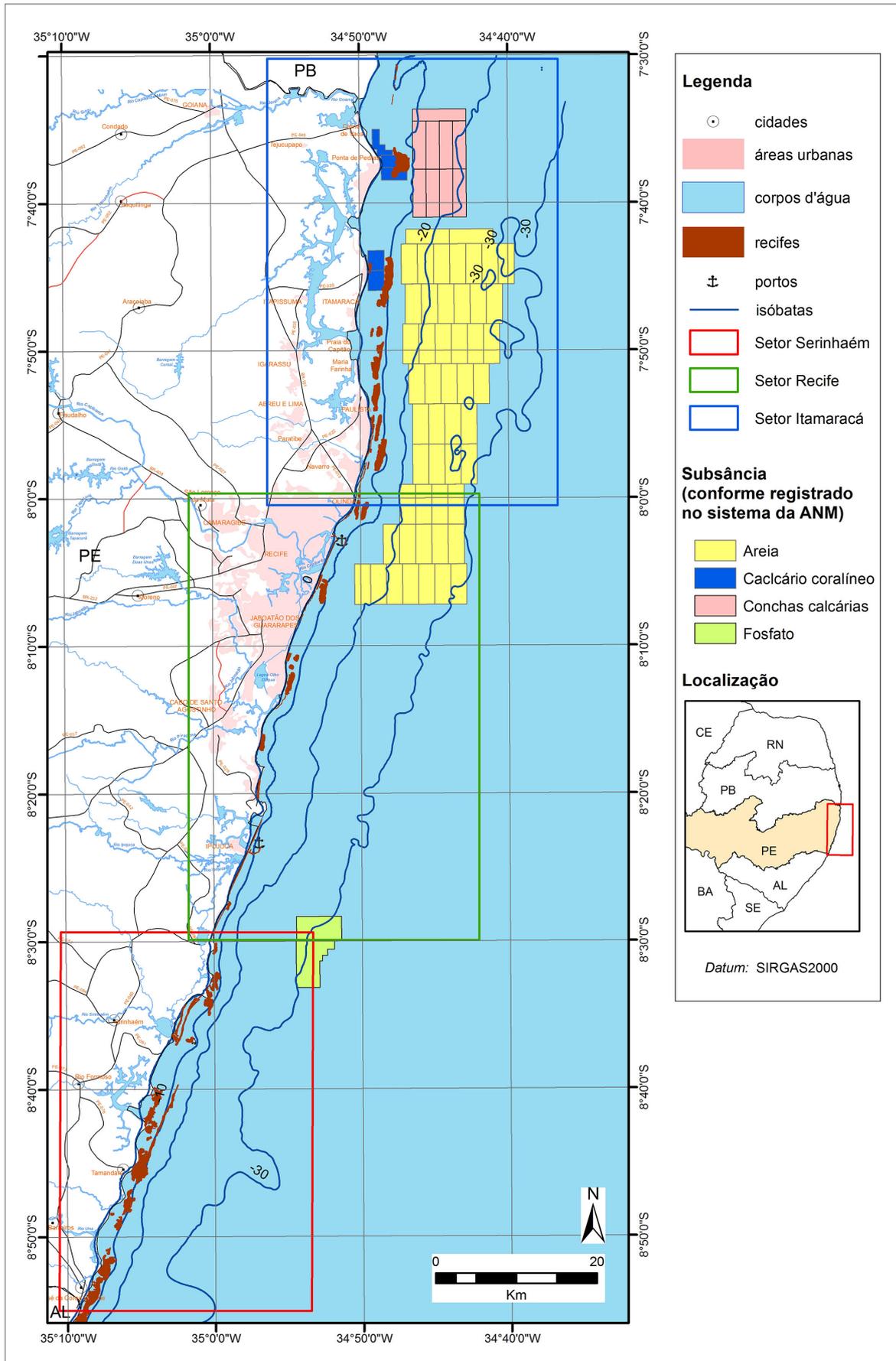


Figura 36 - Blocos registrados no sistema SIGMINE da ANM que apresentaram algum interesse para produção mineral, atualizado em outubro de 2020.

a zona eufótica sobre as plataformas continentais. Mais especificamente, diferentes espécies ocorrem em faixa ótima de profundidades que reúnam condições ideais de luminosidade e turbidez da água, o que implica em grande diversidade de espécies encontradas em todo o mundo, incluindo-se plataformas continentais cobertas por águas temperadas e polares (DIAS; VILLAÇA, 2012; FOSTER, 2001; GHERARDI, 2004). Por outro lado, a dependência de luz solar implica em que apenas a camada superior dos bancos de rodolitos é formada por algas vivas, que são facilmente identificadas pela coloração dos tecidos vivos que varia de púrpura a rosa (Figura 37), embora estes depósitos possam ter vários metros de espessura, contendo principalmente fragmentos de esqueletos mortos.

A aplicação comercial mais imediata dos granulados bioclásticos é na agropecuária, em que o material pode

ser aplicado em estado quase natural, exigindo pouco ou nenhum beneficiamento e moagem. Neste caso, o material pode ser empregado para aumentar a permeabilidade de solos argilosos ou misturado a outros fertilizantes orgânicos para corrigir pH do solo, possibilitando melhor atividade bacteriana que auxilia na fixação de nitrogênio e mais de 40 micronutrientes pelas raízes das plantas (LOPEZ-BENITO, 1963; MELO, Paulo César de; FURTINI NETO, 2003; MIRANDA, 1985; MOREIRA, 2011; MOREIRA *et al.*, 2012). Pode ainda ser usado como complemento nutricional para a criação animal, sendo importante fonte de cálcio na criação de gado leiteiro (e.g. MELO; MOURA, 2009) e de frango de corte (e.g. MUNIZ; MARTINS; DE ARRUDA, 2007). Outras aplicações para o material, que exigem maior ou menor grau de beneficiamento, incluem a sua utilização (i) na fabricação de material abrasivo para indústria farmacêutica e cosmética, onde é empregado em cremes dentais, cremes para a esfoliação da pele e sais de banho (DIAS, 2001); (ii) na purificação de água potável e esgotos industriais e domésticos, onde atuam como adsorvente para metais e outros contaminantes (e.g. VENEU *et al.*, 2018); e (iii) na medicina veterinária e humana como suplemento mineral para cicatrização óssea (e.g. COSTA NETO *et al.*, 2010).

Na plataforma pernambucana, embora ocorram depósitos de algas calcárias espalhados por todos os setores, eles são mais expressivos no setor Itamaracá, como se depreende dos mapas de distribuição de teores de CaCO_3 aqui apresentados (Figuras 33, 34 e 35). Neste setor, aproximadamente 420 km², equivalentes a quase 55% da área do setor, são ocupados por sedimentos com teores de CaCO_3 superiores a 90%, indicando tratar-se de áreas com forte predominância de algas calcárias na composição de sua cobertura sedimentar. Também vale destacar, conforme se pode observar no anexo 7, que estes grandes depósitos de material carbonático encontrados no setor Itamaracá estão localizados em profundidades sempre maiores do que 10 m e frequentemente maiores do que 20 m, em distâncias da costa que variam entre 4 e 20 km.

6.2. GRANULADOS SILICICLÁSTICOS

Granulados siliciclásticos marinhos, também referidos como granulados litoclásticos marinhos, são sedimentos nas frações areia e cascalho formados a partir do intemperismo e erosão de rochas continentais, que são carregados por rios até a zona costeira. Ao chegar à costa, estes sedimentos são retrabalhados e distribuídos pela ação combinada de ondas, correntes e marés. Uma vez que se trata de sedimentos grossos que dificilmente são transportados por longas distâncias a partir da desembocadura fluvial, a maioria dos depósitos encontrados em submersão na plataforma continental são depósitos

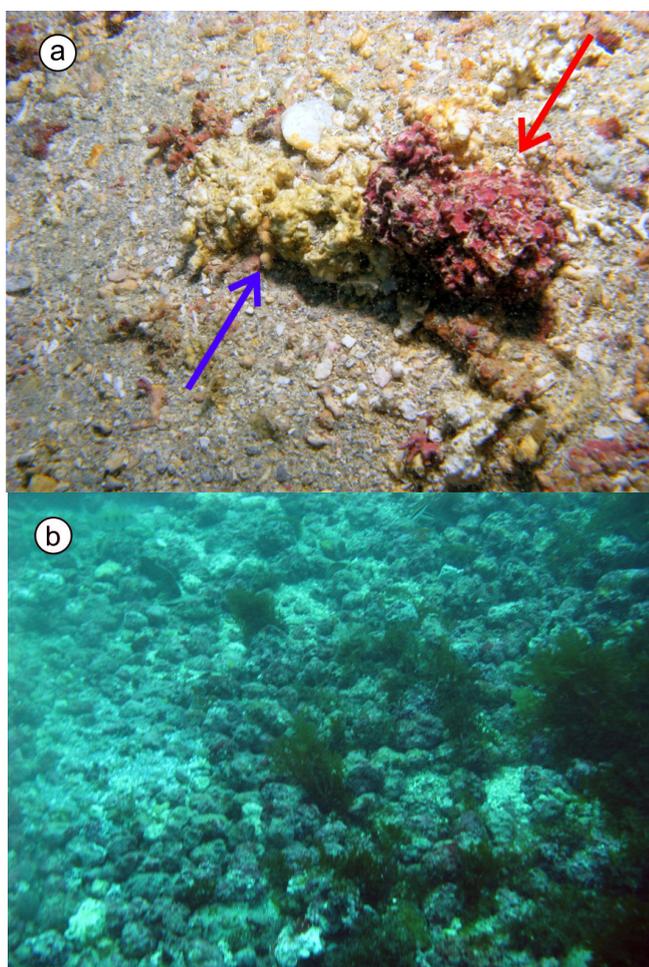


Figura 37 - Rodolitos na plataforma pernambucana ao largo do porto do Recife a uma profundidade aproximada de 23 m. (a) Nódulo maciço de alga vermelha coralínea mostrando uma superfície coberta por tecido vivo (seta vermelha) e outra já com o esqueleto carbonático exposto (seta azul); (b) banco de rodolitos formando o substrato para o desenvolvimento macroalgas foliosas que estão na base de ecossistemas de mares rasos cuja importância ainda parece desconhecida e mal dimensionada.

pretéritos de antigas praias formadas em períodos de nível médio do mar abaixo do atual. Em consequência, são por vezes chamados depósitos reliquiares.

De acordo com Velegrakis *et al.* (2010), diversos são os países costeiros da União Europeia que já utilizam granulados siliciclásticos de origem marinha como agregados na indústria da construção civil. Earney (2005) aponta as seguintes razões para essa busca crescente por agregados de origem marinha:

(i) Esgotamento de agregados de origem continental nas proximidades de centros urbanos e industriais localizados na zona costeira;

(ii) Expulsão da indústria de produção de agregados no continente para fora das zonas urbanas costeiras em decorrência do aumento populacional nesta região e o consequente aumento no valor da terra e das taxas e impostos;

(iii) Restrições ambientais crescentes sobre a mineração de agregados no continente;

(iv) Vantagem econômica do transporte da produção por via aquática em relação aos modais de transporte terrestre, especialmente para bens que apresentam alta relação entre o peso e o valor agregado; e

(v) Melhores características físicas e químicas dos agregados marinhos em relação aos seus equivalentes de origem continental.

No Brasil, por outro lado, a produção de agregados marinhos para a construção civil é incipiente e isso deve decorrer da grande disponibilidade de agregados no continente, cuja produção é mais barata, e até pela exploração ilegal ou desregulamentada de dunas costeiras e mesmo de areias de praias.

Nas últimas décadas, entretanto, tornaram-se cada vez mais evidentes e preocupantes os problemas de erosão costeira no Brasil, que decorrem do déficit sedimentar nas praias causado por razões naturais e/ou antrópicas (BRASIL, 2006, 2018a). Também é crescente no país a preocupação com a adoção de soluções inadequadas a médio e longo prazo, como pode ser evidenciado pela publicação, em 2018, do Guia de Diretrizes de Prevenção e Proteção à Erosão Costeira, organizado por um comitê interinstitucional organizado dentro da Comissão Interministerial para os Recursos do mar (BRASIL, 2018b) As práticas mais modernas de gerenciamento costeiro pregam que, para a recuperação de zonas costeiras afetadas pela erosão, as melhores soluções enfatizam a construção de estruturas não consolidadas, em detrimento da construção de estruturas fixas e rígidas, promovendo a recuperação das praias afetadas e prevenção do avanço dos processos erosivos (KLEIN; DIEHL; BENEDET, 2005). É a técnica popularmente conhecida como engorda de praia, em que sedimentos são retirados da plataforma continental para recompor o perfil da praia erodida. Idealmente, os sedimentos que serão utilizados para a

recuperação da praia erodida devem ter características físicas e mineralógicas semelhantes àqueles que originalmente compunham a praia e a forma do depósito artificialmente construído deve favorecer que os processos naturais de ondas e correntes contribuam com a manutenção da praia, numa abordagem que ficou conhecida como *building with nature*, construindo com a natureza, já bem empregada na Holanda (VRIEND; KONINGSVELD; AARNINKHOF, 2014; WATERMAN, 2010).

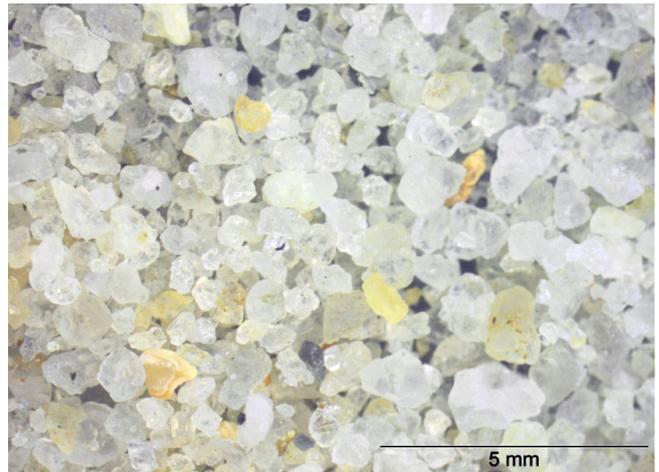


Figura 38 - Amostra de areia rica em quartzo, coletada na região ao norte do cabo de Santo Agostinho, em profundidade aproximada de 12 m.

Na plataforma pernambucana, as áreas com maiores concentrações de sedimentos siliciclásticos estão localizada nos setores Recife e Sirinhaém, sendo que no primeiro ocorrem as manchas com maiores teores. Neste setor Recife, entre os municípios de Ipojuca e Jaboatão dos Guararapes está localizada a maior mancha de sedimentos com menos de 25% de bioclastos em sua composição, com aproximadamente 31 km² de extensão e restrita a profundidades menores do que 20 m (Figura 34). Tratam-se de sedimentos com textura francamente arenosa, com predominância de areia grossa muito grossa (diâmetros entre 0,5 mm e 2 mm) e compostos por grãos de quartzo hialino, transparente a translúcido e com grau de arredondamento arredondado a anguloso (Figura 38).

6.3. ASPECTOS AMBIENTAIS

A demanda crescente por matérias-primas tanto para a indústria, como para a agropecuária e para a recuperação de praias degradadas pela erosão nas cidades litorâneas brasileiras, em conjunto com os interesses dos tomadores de decisão e a necessidade de conservação dos ecossistemas costeiros, requer o planejamento e gerenciamento cuidadosos dos diversos usos do espaço marinho e costeiro, levando-se em

consideração não apenas os aspectos econômicos imediatos envolvidos, mas também a sustentabilidade dos recursos a médio e longo prazos, bem como a prudência ambiental. Este planejamento deve ser multidisciplinar e sempre baseado nos caminhos apontados pelas ciências ambientais, físicas e sociais, de modo a que se possam compreender as condições sedimentares, hidrodinâmicas e ecológicas da plataforma continental rasa e zonas costeiras adjacentes e como a intervenção humana pode impactar as vidas de quem vive nestas regiões e delas se sustenta. Esta é uma necessidade urgente para o desenvolvimento de abordagens integradas e coerentes que viabilizem a efetiva prospecção dos depósitos de granulados marinhos da plataforma rasa, sem que os impactos causados superem os benefícios trazidos pela atividade.

Como se tratam parcialmente de recursos vivos, a exploração das algas calcárias, que encontram no Brasil a mais extensa zona de ocorrência do mundo (FOSTER, 2001), tem evidente e imediato impacto sobre a comunidade bentônica associada. Estas algas de vida livre, chamadas individualmente de rodolitos, formam extensos depósitos chamados de bancos de rodolitos e estes bancos formam a base de importantes ecossistemas bentônicos ao servirem de substrato para o desenvolvimento de outros organismos bentônicos e demersais, tais como foraminíferos, briozoários, poliquetas, macroalgas foliosas, peixes, moluscos e crustáceos (FIGUEIREDO *et al.*, 2007, 2014; FOSTER *et al.*, 2013). Os bancos de rodolitos são, portanto, um dos maiores depósitos de carbonato de cálcio do mundo o que faz deles um importante componente do ciclo biogeoquímico do carbono (AMADO FILHO *et al.*, 2012; HORTA *et al.*, 2016; TESTA; BOSENCE, 1999). O maior banco de rodolitos do mundo foi mapeado na região de Abrolhos, Bahia, alcançando cerca de 20.000 km² de extensão e com produção de carbonato de cálcio comparável à dos recifes coralíneos do Caribe (FIGUEIREDO *et al.*, 2014).

Na maior parte da costa brasileira, os bancos de rodolitos ocorrem na plataforma externa, em profundidades superiores a 40 m, o que atualmente inviabiliza economicamente sua exploração. Entretanto, na faixa costeira entre o Cabo de Calcanhar (RN) e Maceió (AL), que inclui toda a costa pernambucana, a faixa

de sedimentos carbonáticos se alarga em direção à costa, chegando a profundidades de 5m (AMARAL, 1979; FIGUEIREDO *et al.*, 2014), o que é corroborado pelos resultados alcançados neste trabalho, onde foi observada a presença de algas calcárias mesmo na plataforma interna. Esta informação, associada à enorme e ainda pouco conhecida complexidade ecológica dos ambientes criados por estes depósitos carbonáticos, implica na necessidade de realização de rigoroso planejamento da eventual exploração econômica deste bem, com vistas a delimitar rigidamente as áreas dos depósitos exploráveis, o tempo de produção e de regeneração dos depósitos, a implantação de zonas de amortecimento de impacto e de controle, criação de zonas de exclusão total para a manutenção da biodiversidade regional etc.

Além dos evidentes aspectos biológicos envolvidos na exploração de bancos de algas calcárias, outro aspecto muito relevante que se deve considerar ao planejar a exploração econômica de bens minerais na plataforma continental rasa é o impacto oceanográfico causado pela mudança na morfologia do leito marinho, especialmente na plataforma interna. Em águas rasas, a propagação das ondas é afetada pelo fundo marinho de modo que a alteração das formas do leito pode implicar em alteração do padrão de incidência de ondas na costa, tanto no que diz respeito à direção de propagação quanto à altura (e energia) das ondas incidentes. Consequentemente, a alteração da morfologia do leito marinho, seja por remoção de bancos de areia ou pela instalação de estruturas rígidas no leito ou na costa, pode afetar os padrões naturais de transporte sedimentar intensificando processos erosivos. Desta forma, os estudos preliminares à implantação de áreas exploráveis na plataforma continental devem necessariamente abordar os aspectos meteoceanográficos que determinam os padrões climatológicos de ondas incidentes na costa, com especial ênfase no estabelecimento das profundidades máximas de interação das ondas com o leito (profundidades de fechamento das ondas), tanto em momentos de tempo bom como em momentos de tempestades. Assim, pode-se evitar a alteração da morfologia do leito marinho em profundidades suficientemente rasas que possam agravar problemas de erosão costeira.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As primeiras informações de caráter científico sobre a plataforma continental pernambucana se devem ao naturalista inglês Charles Darwin que percorreu a costa brasileira em 1932, parando no arquipélago de São Pedro e São Paulo, Fernando de Noronha, Salvador e Rio de Janeiro, no início de sua lendária expedição de volta ao mundo a bordo do *HMS Beagle*³. Darwin esteve em Recife e Olinda, entretanto, apenas quando, no retorno da expedição à Inglaterra, o navio enfrentou ventos contrários em sua subida do Atlântico Sul, em 1836. Nesta breve passagem de apenas 12 dias, apesar do naturalista ter feito severas críticas às condições de vida nas duas cidades pernambucanas, especialmente com respeito à condição dos escravos, Darwin impressionou-se com os, hoje bem conhecidos, recifes de rochas praias que margeiam as praias da zona sul da capital tendo escrito em suas notas de viagem que duvidava da existência de outra estrutura semelhante em qualquer lugar do mundo, uma estrutura natural com aparência de artificial, em absoluta linha reta e paralela à costa (DARWIN, 2008). Posteriormente à viagem, os recifes que dão nome à capital do estado de Pernambuco renderam a Darwin a publicação de um artigo específico sobre o tema na revista britânica *Philosophical Magazine* (DARWIN, 1841), onde o naturalista descreve a formação e reconhece sua natureza não biogênica.

Por sua vez, as primeiras informações sobre a cobertura sedimentar do leito marinho na plataforma pernambucana foram obtidas a partir de 19 amostras coletadas pela expedição do *HMS Challenger* (1872-1876) e outras 37 amostras coletadas pelo navio oceanográfico alemão *Meteor* (1925-1927).

O estudo da geologia marinha na academia brasileira teve início em 1958, com a fundação do Instituto de Biologia Marinha e Oceanografia da Universidade do Recife, precursores do atual Departamento de Oceanografia (DOCEAN) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Em colaboração com a Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (DHN/MB) e com a antiga Divisão de Recursos Pesqueiros da Superintendência para o Desenvolvimento do Nordeste (DRP/SUDENE), foram realizados os primeiros trabalhos sistemáticos com objetivo de identificar e propor uma distribuição dos sedimentos de fundo na plataforma continental de Pernambuco.

No início dos anos 2000, por iniciativa de pesquisadores da Superintendência Regional do Recife (SUREG/RE) do Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM) os dados que resultaram neste trabalho e na Carta de caracterização dos agregados marinhos da plataforma continental rasa do estado de Pernambuco (ASSIS *et al.* 2015) foram coletados com o objetivo de mapear o capeamento sedimentar na escala 1:100.000. Este trabalho está inserido no Projeto GranMar (Granulados Marinhos), gestado dentro do Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM), que integra 27 instituições acadêmicas e científicas brasileiras que realizam pesquisas no mar e que vem sendo coordenado pela CPRM.

Quando de sua concepção, o objetivo principal do projeto GranMar em Pernambuco era mapear as áreas com potencial para ocorrência de jazidas de sedimentos que tenham as características necessárias a fornecer material para a recuperação de praias erodidas pela ação de ondas e correntes marinhas, agravadas por intervenções antrópicas atuais ou pretéritas. Diante da grave problemática da erosão costeira no litoral de Pernambuco, especialmente na região metropolitana da capital que engloba os municípios de Paulista, Olinda, Recife e Jaboatão dos Guararapes, a qualificação de potenciais jazidas de material para uso em engorda de praias é de suma importância.

Neste sentido, os setores Recife e Sirinhiém apresentaram as menores concentrações de material carbonático com granulometria entre areia média e cascalho e textura predominantemente de sedimento cascalhoso e cascalho, segundo a classificação de Shepard-Schlee-Poppe aqui adotada. Na plataforma pernambucana, estas ocorrências, quando localizadas para além da profundidade de -19 m, podem apresentar potencial para a exploração de material para recuperação de praias erodidas sem grande impacto oceanográfico, uma vez que estão abaixo da profundidade de fechamento (a partir da qual não há influência das ondas sobre o leito) mesmo das ondas de mau tempo, segundo Assis (2007). Entretanto, apenas algumas poucas regiões apresentaram-se recobertas com sedimentos com forte predomínio de material siliciclástico (ou seja, menos de 25% de carbonatos), como ocorre entre as desembocaduras dos estuários de Suape e do Rio Jaboatão, no sul do setor Recife. Todavia, esta ocorrência específica encontra-se em profundidades entre -8 m e -18 m, num setor que, embora esteja além da profundidade de

³HMS: *Her Majesty Ship*, navio de Sua majestade. Título dado aos navios de esquadra britânica.

fechamento das ondas de bom tempo, pode ser afetado por ondas de tempestade. Sua exploração, portanto, depende de cuidadoso estudo de impacto ambiental, especialmente, no tocante ao potencial impacto na alteração do clima de ondas que pode ser causado pela alteração do leito marinho, a depender da quantidade de material retirado do leito.

Quanto aos sedimentos carbonáticos encontrados, especialmente nas texturas sedimento cascalhoso e cascalho, ricos em fragmentos de algas calcárias vermelhas e verdes, o setor Itamaracá mostra-se o mais promissor. Grandes extensões recobertas por sedimentos fortemente dominados por carbonatos de cálcio e/ou magnésio, são encontradas neste setor, em profundidades razoavelmente seguras para exploração, além de -19 m.

O crescente interesse industrial pelos granulados marinhos da plataforma continental pernambucana é corroborado pela tendência de aumento nas requisições registradas junto à ANM neste século XXI. Mas, vale apontar que os dados geológicos levantados pelo projeto Plataforma Rasa do SGB/CPRM em Pernambuco, cujos resultados foram aqui interpretados e apresentados, já foram usados pela academia na implantação experimental de fazendas de engorda de peixes de significativo valor socioeconômico e pelos gestores governamentais e ambientais na definição de jazidas para a recuperação de praias na zona sul da região metropolitana da capital do estado.

A continuação do processo de caracterização das potenciais jazidas exige dos atores interessados a aplicação de métodos geofísicos para caracterização tri-dimensional dos depósitos, bem como da realização de estudos oceanográficos objetivando investigar os impactos de sua eventual exploração sobre o regime de ondas incidentes na costa, de modo a se evitar a acentuação de processos erosivos já em curso em significativa parcela da costa estadual, segundo Pereira *et al.* (2015). Também merece destaque a necessidade de se realizar um mapeamento da biota associada aos diferentes tipos de leito encontrados na plataforma, reunindo informações geológicas com informações biológicas e ecológicas. Neste sentido, espera-se que este produto, bem como a carta textural e o banco de dados a ele associados, possa colaborar com a comunidade científica e os agentes governamentais, fornecendo preciosas informações geológicas para a realização do mapeamento de habitats bentônicos na região.

Sobretudo, dada a amplitude dos resultados aqui alcançados e a natureza diversa das feições sedimentares encontradas, os produtos apresentados, este “Informe de Recursos Minerais Marinhos” e a já citada “Carta de caracterização dos agregados marinhos”, se prestam a contribuir com a fundamentação das necessárias e inadiáveis ações de planejamento espacial marinho, com vistas ao estabelecimento harmônico do uso compartilhado do ambiente da plataforma continental rasa Pernambucana.

REFERÊNCIAS

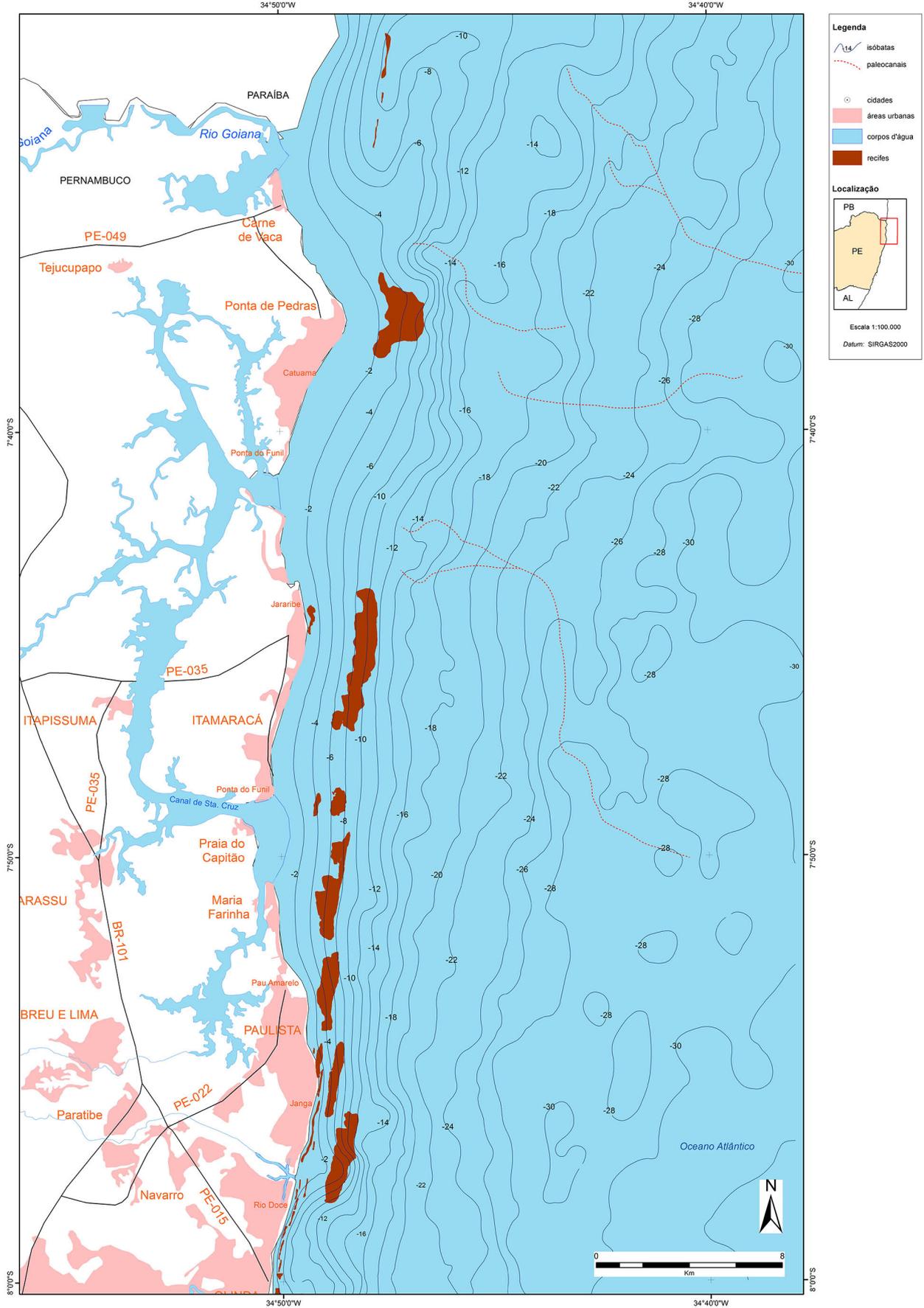
- AMADO FILHO, G. M.; MOURA, R. L.; BASTOS, A. C.; SALGADO, L. T.; SUMIDA, P. Y.; GUTH, A. Z.; FRANCINI-FILHO, R. B.; PEREIRA-FILHO, G. H.; ABRANTES, D. P.; BRASILEIRO, P. S.; BAHIA, R. G.; LEAL, R. N.; KAUFMAN, L.; KLEYPAS, J. A.; FARINA, M.; THOMPSON, F. L. Rhodolith beds are major CaCO₃ bio-factories in the tropical southwest Atlantic. **PLoS ONE**, vol. 7, nº. 4, p. 5–10, 2012. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035171>.
- AMARAL, C. A. B. **Depósitos carbonáticos**. Brasília, DF: [s. n.], 1979.
- ARAÚJO, T. C. M. de; SEOANE, J. C. S.; COUTINHO, P. da N. Geomorfologia da Plataforma Continental de Pernambuco. In: ESKINAZI-LEÇA, E.; NEUMANN-LEITÃO, S.; COSTA, M. F. da (eds.). **Oceanografia - Um cenário tropical**. Recife: Editora Bagaço, 2004. p. 39–57.
- ASSIS, H. M. B. de. **Influência da hidrodinâmica das ondas no zoneamento litorâneo e na faixa costeira emersa, entre Olinda e Porto de Galinhas, Pernambuco**. 2007. 131 f. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.
- ASSIS, H. M. B. de; VALLE, M. M.; BEZERRA, R. G.; SALVIANO, K. dos S.; PEREIRA, L. B. F. Carta de caracterização dos agregados marinhos da plataforma continental rasa do estado de Pernambuco. Recife, , p. 1, 2015. .
- BARBOSA, J. A. **Evolução da Bacia Paraíba durante o maastrichtiano-Paleoceno - Formações Gramame e Maria farinha, NE do Brasil**. 2004. 219 f. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), 2004.
- BARBOSA, J. A.; NEUMANN, V. H.; LIMA FILHO, M. F.; SOUZA, E. M. de; MORAES, M. A. de. Estratigrafia da Faixa Costeira Recife-Natal (Bacia da Paraíba e Plataforma de Natal, NE Brasil). **Estudos Geológicos**, vol. 17, nº. 2, p. 65–93, 2007. .
- BARRETO, A. M. F.; LIMA FILHO, M. F.; ALHEIROS, M. M. Uso de datação por termoluminescência na diferenciação de sedimentos litorâneos Pleistocênicos e Holocênicos no estado de Pernambuco. 1998. **40º Congresso Brasileiro de Geologia** [...]. Belo Horizonte, MG: Sociedade Brasileira de Geologia (SBG), 1998. p. 236.
- BIDE, T.; BALSON, P.; MANKELOW, J.; SELBY, I. A new sand and gravel map for the UK Continental Shelf to support sustainable planning. **Resources Policy**, vol. 48, p. 1–12, 2016. DOI 10.1016/j.resourpol.2016.02.004. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resourpol.2016.02.004>.
- BLAIR, T. C.; MCPHERSON, J. G. Grain-size and textural classification of coarse sedimentary particles. **Journal of Sedimentary Research**, vol. 69, nº. 1, p. 6–19, 1999. <https://doi.org/10.2110/jsr.69.6>.
- BLOTT, S. J.; PYE, K. Gradistat: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. **Earth Surface Processes and Landforms**, vol. 26, no. 11, p. 1237–1248, 2001. <https://doi.org/10.1002/esp.261>.
- BONNE, W. M. I. European Marine Sand and Gravel Resources: Evaluation and Environmental Impacts of Extraction - an Introduction. **Journal of Coastal Research**, nº. 51, p. I–VI, 2010. <https://doi.org/10.2112/SI51-001.1>.
- BRASIL, **Guia de Diretrizes de Prevenção e Proteção à Erosão Costeira**. Brasília, DF: Comissão Interministerial para Recursos do Mar (CIRM), 2018.
- BRASIL, **Erosão e progradação do litoral brasileiro 1**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2006.
- BRASIL, **Panorama da erosão costeira no Brasil**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2018.
- COSTA NETO, J. M.; SÁ, M. J. C. de; LIMA, A. E.; JACINTO-ARAGÃO, G. S.; TEIXEIRA, M. W.; MARTINS FILHO, E. F.; TORÍBIO, J. M. de M. L.; AZEVEDO, A. S. de. Farinha de algas marinhas (“Lithothamnium calcareum”) como suplemento mineral na cicatrização óssea de autoenxerto cortical em cães. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, BA, vol. 11, nº. 1, p. 217–230, 2010.
- COUTINHO, P. da N. **Levantamento do estado da arte da pesquisa dos recursos vivos marinhos do Brasil**. Brasília, DF: [s. n.], 2000.
- COUTINHO, P. da N. Sedimentação na plataforma continental Alagoas-Sergipe. **Arquivos de Ciências do Mar**, Fortaleza, vol. 21, nº. 1–2, p. 1–18, 1981. Available at: <http://www.periodicos.ufc.br/arquivosdecienciadomar/article/view/31546>.
- DARRENOUGUE, N.; DE DECKKER, P.; EGGINS, S.; FALLON, S.; PAYRI, C. A record of mining and industrial activities in New Caledonia based on trace elements in rhodolith-forming coralline red algae. **Chemical Geology**, vol. 493, p. 24–36, Aug. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2018.05.014>.
- DARWIN, C. R. On a remarkable bar of sandstone off Pernambuco, on the coast of Brazil. **The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine**, Londres, ING, vol. 19, nº. 3, p. 257–260, 1841.
- DARWIN, C. R. **Viagem de um naturalista ao redor do mundo. Volume 2**. trans. by Pedro Gonzaga. Porto Alegre, RS: L&PM, 2008. vol. 2,
- DEAN, R. G. **Beach Nourishment: theory and practice**. New Jersey: WORLD SCIENTIFIC, 2003. vol. 18, (Advanced Series on Ocean Engineering). <https://doi.org/10.1142/2160>.
- DIAS, G. T. de M. Granulados bioclásticos – algas calcárias. vol. 18, no. 021, 2001. .

- DIAS, G. T. M.; VILLAÇA, R. C. Coralline Algae Depositional Environments on the Brazilian Central – South- Eastern Shelf Coralline Algae Depositional Environments on the Brazilian Central – South-Eastern Shelf. **Journal of Coastal Research**, West Palm Beach, FL, vol. 28, no. 1, p. 270–279, 2012. <https://doi.org/10.2112/11T-00003.1>.
- DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. da S. P.; MARTIN, L. Controls on Quaternary coastal evolution of the east-northeastern coast of Brazil : roles of sea-level history , trade winds and climate. **Sedimentary Geology**, Amsterdam, vol. 80, p. 213–232, 1992.
- DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. da S. P.; LEÃO, Z. M. de A. N.; AZEVEDO, A. E. G. de. Geologia do Quaternário Costeiro do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geociências**, vol. 20, nº. 1, p. 208–215, 1990. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.1990208215>.
- EARNEY, F. C. F. **Marine Mineral Resources**. 1st ed. London, UK: Routledge, 1990(Ocean Management and Policy Series).
- FIGUEIREDO, M. A. de O.; MENEZES, K. S. de.; COSTA-PAIVA, E. M.; PAIVA, P. C.; VENTURA, C. R. R. Experimental evaluation of rhodoliths as living substrata for infauna at the Abrolhos Bank, Brazil. **Ciencias Marinas**, vol. 33, nº. 4, p. 427–440, 2007. <https://doi.org/10.7773/cm.v33i4.1221>.
- FIGUEIREDO, M. A. de O.; VILLAS-BÔAS, A. B.; DIAS, G. T. de M.; COUTINHO, R. **Estado da arte sobre estudos de rodolitos no Brasil - Relatório Final**. [S. l.]: Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis, 2014.
- FINEP/UFPE, **Monitoramento Ambiental Integrado**. Recife, PE: [s. n.], 2009.
- FOLK, R. L.; WARD, W. C. Brazos river bar: a study in the significance of grain parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, vol. 27, p. 3--26, 1957. .
- FOSTER, M. S. Rhodoliths: Between rocks and soft places. **Journal of Phycology**, vol. 37, nº. 5, p. 659–667, 2001. <https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.2001.00195.x>.
- FOSTER, M. S.; AMADO FILHO, G. M.; KAMENOS, N. a; RIOSMENA-RODRIGUEZ, R.; STELLER, D. L. Rhodoliths and rhodolith beds. **Smithsonian contributions to the Marine Sciences**, vol. 39, no. February, p. 143–155, 2013. .
- GHERARDI, D. F. M. Community Structure and Carbonate Production of a Temperate Rhodolith Bank From Arvoredo Island , Southern Brazil. **Dados**, vol. 52, no. 3/4, p. 207–224, 2004. <https://doi.org/10.1071/BT07186>.
- HEEZEN, B. C.; THARP, M.; EWING, M. The floors of the oceans. I. The North Atlantic. **The Geological Society of America Special Paper**, Palisades, NY, vol. 65, p. 122, 1959. <https://doi.org/10.1002/iroh.19620470311>.
- HETHERINGTON, L.; HIGHLEY, D. E. The Strategic Importance of the Marine Aggregate Industry to the UK. **Proceedings of the 15th Extractive Industry Geology Conference**, , p. 52–56, 2010. .
- HORTA, P. A.; RIUL, P.; AMADO FILHO, G. M.; GURGEL, C. F. D.; BERCHEZ, F.; NUNES, J. M. de C.; SCHERNER, F.; PEREIRA, S.; LOTUFO, T.; PERES, L.; SISSINI, M.; BASTOS, E. de O.; ROSA, J.; MUNOZ, P.; MARTINS, C.; GOUVÊA, L.; CARVALHO, V.; BERGSTROM, E.; SCHUBERT, N.; ... FIGUEIREDO, M. A. de O.; Rhodoliths in Brazil: Current knowledge and potential impacts of climate change. **Brazilian Journal of Oceanography**, vol. 64, no. Special Issue 2, p. 117–136, 2016. <https://doi.org/10.1590/S1679-875920160870064sp2>.
- KLEIN, A. H. F.; DIEHL, F. L.; BENEDET, L. The paradigm between beach protection and beach restoration: case studies in Santa Catarina State, SE-Brazil. 2005. **International conference on coastal conservation and management in the Atlantic and Mediterranean** [...]. Tavira, Portugal: [s. n.], 2005. p. 327–329.
- KRUMBEIN, W. C. Measurement and geologic significance of shape and roundness of sedimentary particles. **Journal of Sedimentary Petrology**, vol. 11, p. 64–72, 1941. .
- LIMA FILHO, M. F. **Análise Estratigráfica e Estrutural da bacia Pernambuco**. 1998. 139 f. Universidade Estadual de São Paulo (USP), 1998.
- LIMA FILHO, M. F.; BARBOSA, J. A.; NEUMANN, V. H.; SOUZA, E. M. de. Evolução estrutural comparativa da Bacia de Pernambuco e da Bacia da Paraíba. 2005. **V Simpósio nacional de Estudos Tectônicos (SNET): boletim de resumos expandidos** [...]. Curitiba: Sociedade Brasileira de Geologia (SBG), 2005. p. 45–47.
- LOPEZ-BENITO, M. Estudio de la composición química del Lithothamnium calcareum (Aresch) y su aplicación como corrector de terrenos de cultivo. **Investigación Pesquera**, Barcelona, ES, vol. 23, p. 53–70, 1963. .
- MABESOOONE, J. M.; ALHEIROS, M. M. Origem da bacia sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba. **Revista Brasileira de Geociências**, vol. 18, nº. 4, p. 476–482, 1988. .
- MADRUGA FILHO, J. D. **Aspectos geoambientais entre as prais do Paiva e Gaibu, município de Cabo do Santo Agostinho (litoral sul de Pernambuco)**. 2004. 272 f. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), 2004.
- MANSO, V. do A. V.; COUTINHO, P. da N.; GUERRA, N. C.; SOARES JUNIOR, C. F. de A. Pernambuco. In: MUEHE, D. (ed.). **Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro**. Brasília, DF: MMA, 2006. p. 179–196.
- MANSO, V. do A. V.; COUTINHO, P. da N.; PEDROSA, F. J.; MACEDO, R. J. de; SILVA, A. C. da; GOIS, L. A. de; BARCELLOS, R. L.; ARRUDA, S. D. d'Almeida; JUNIOR, C. F. de A. S.; MADRUGA FILHO, J. D.; ARRAIS, M. S. M. C.; MADRUGA, M. M. D. Pernambuco. In: MUEHE, D. (ed.). **Panorama da erosão costeira no Brasil**. Brasília, DF: MMA, 2018. p. 345–379.
- MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J. M.; DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P. **Quaternary Sea-level History and Variation in Dynamics along the Central Brazilian Coast: Consequences on Coastal Plain Construction**. [S. l.: s. n.], 1996. vol. 68, .
- MELO, P. C. De; FURTINI NETO, A. E. Avaliação do Lithothamnium como corretivo da acidez do solo e fonte de nutrientes para o feijoeiro. **Ciência e Agrotecnologia**, vol. 27, nº. 3, p. 508–519, 2003. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542003000300003>.

- MELO, T. V.; MOURA, A. M. A. Utilização da farinha de algas calcáreas na alimentação animal. *Archivos de Zootecnia*, Córdoba, ES, vol. 58, p. 99–107, 2009. .
- MIRANDA, L. N. Utilização de calcários marinhos como corretivos de acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, SP, vol. 9, nº. 1, p. 248–248, 1985. .
- MOREIRA, R. A. Adubação orgânica com granulado bioclástico favorece crescimento de pitaiá vermelha. **Ciência Rural**, Santa maria, RS, vol. 41, nº. 5, p. 785–788, 2011. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782011010500002>.
- MOREIRA, R. A.; RAMOS, J. D.; SILVA, F. O. dos R.; MENEZES, T. P. de; MELO, P. C. de. Calcified seaweed associated with chemical thinning in production and quality of Ponkan mandarins. **Citrus Research & Technology**, vol. 33, nº. 2, p. 81–90, 2012. <https://doi.org/10.5935/2236-3122.20120010>.
- MUNIZ, E. B.; MARTINS, A.; DE ARRUDA, V. Evaluation of Calcium Sources to the Broiler Chickens. **Revista Caatinga**, Mossoró, RN, vol. 20, nº. 1, p. 5–14, 2007. Available at: www.ufersa.edu.br/caatinga.
- PEREIRA, P. de S.; ARAÚJO, T. C. M. de; MANZO, V. do A. V. Tropical Sandy Beaches of Pernambuco State. In: SHORT, A. D.; KLEIN, A. H. da F. (eds.). **Brazilian Beach Systems**. Coastal Research Library. [S. l.]: SpringerInternational Publishing, 2016. p. 251–279.
- PEREIRA, P. de S.; MARTINS, K. A.; NOGUEIRA NETO, A. V.; LINO, A. P.; MACAIBA, M. B.; OLINTO, A.; FISCHER, A.; SCHETTINI, C. A. F.; ARAUJO, T. C. M. **Atlas da Vulnerabilidade à Erosão Costeira e Mudanças Climáticas**. [S. l.: s. n.], 2015.
- PIANCA, C.; MAZZINI, P. L. F.; SIEGLE, E. Brazilian offshore wave climate based on NWW3 reanalysis. **Brazilian Journal of Oceanography**, vol. 58, nº. 1, p. 53–70, 2010. <https://doi.org/10.1590/s1679-87592010000100006>.
- PINTO BITTENCOURT, A. C. D. S.; DOMINGUEZ, J. M. L.; MARTIN, L.; SILVA, I. R. Longshore transport on the northeastern Brazilian coast and implications to the location of large scale accumulative and erosive zones: An overview. **Marine Geology**, vol. 219, nº. 4, p. 219–234, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2005.06.006>.
- POPPE, L. J.; ELIASON, A. H. A Visual Basic program to plot sediment grain-size data on ternary diagrams. **Computers and Geosciences**, vol. 34, nº. 5, p. 561–565, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2007.03.019>.
- POPPE, L. J.; ELIASON, A. H.; HASTINGS, M. E. A visual basic program to generate sediment grain-size statistics and to extrapolate particle distributions. **Computers and Geosciences**, vol. 30, nº. 7, p. 791–795, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2004.05.005>.
- REBOUÇAS, R. C. **Sedimentação holocênica da plataforma continental de salvador-BA**. 2010. 90 f. Universidade Federal da Bahia (UFBA), 2010.
- SCHLEE, J. **Atlantic continental shelf and slope of the United States - sediment texture of the northeastern part**. [S. l.: s. n.], 1973.
- SHEPARD, F. P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. **Journal of Sedimentary Research**, vol. 24, nº. 3, p. 151–158, 1954. <https://doi.org/10.1306/D4269774-2B26-11D7-8648000102C1865D>.
- SHEPARD, F. P. **Submarine Geology**. 2nd ed. New York, USA: Harper and Row, 1967.
- SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2010.
- SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 2003.
- TESTA, V.; BOSENCE, D. W. J. Physical and biological controls on the formation of carbonate and siliciclastic bedforms on the north-east Brazilian shelf. **Sedimentology**, vol. 46, nº. 2, p. 279–301, 1999. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.1999.00213.x>.
- UDDEN, J. A. Mechanical composition of clastic sediments. **Geological Society of America Bulletin**, vol. 25, p. 655–744, 1914.
- VELEGRAKIS, A. F.; BALLAY, A.; POULOS, S.; RADZEVICIUS, R.; BELLEC, V.; MANZO, F.; OTHERS. European marine aggregates resources: Origins , usage , prospecting and dredging techniques. **Journal of Coastal Research**, nº. 1980, p. 1–14, 2010. DOI 10.2112/si51-002.1. Available at: <http://www.vliz.be/imis/imis.php?refid=205550>.
- VENEU, D. M.; SCHNEIDER, C. L.; DE MELLO MONTE, M. B.; CUNHA, O. G. C.; YOKOYAMA, L. Cadmium removal by bioclastic granules (Lithothamnium calcareum): batch and fixed-bed column systems sorption studies. **Environmental Technology**, vol. 39, nº. 13, p. 1670–1681, 3 Jul. 2018. DOI 10.1080/09593330.2017.1336574. Available at: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09593330.2017.1336574>.
- VITAL, H. The north and northeast Brazilian tropical shelves. **Geological Society, London, Memoirs**, vol. 41, nº. 1, p. 35–46, 2014. DOI 10.1144/M41.4. Available at: <http://mem.lyellcollection.org/lookup/doi/10.1144/M41.4>.
- VRIEND, H. De; KONINGSVELD, M. Van; AARNINKHOF, S. ‘Building with nature’: the new Dutch approach to coastal and river works. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers**, vol. 167, no. February, p. 18–24, 2014. <https://doi.org/10.1680/cien.13.00003>.
- WATERMAN, R. E. **Integrated Coastal Policy via Building with Nature**. 2010. 69 f. Technische Universiteit Delft (TUDelft), Delft, HOL, 2010.
- WENTWORTH, C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **Journal of Geology**, vol. 30, p. 377–392, 1922. .
- ZINGG, T. **Beitrag zur schotteranalyse**. 1935. 140 f. ETH Zürich, 1935. <https://doi.org/10.3929/ethz-a-000103455>.

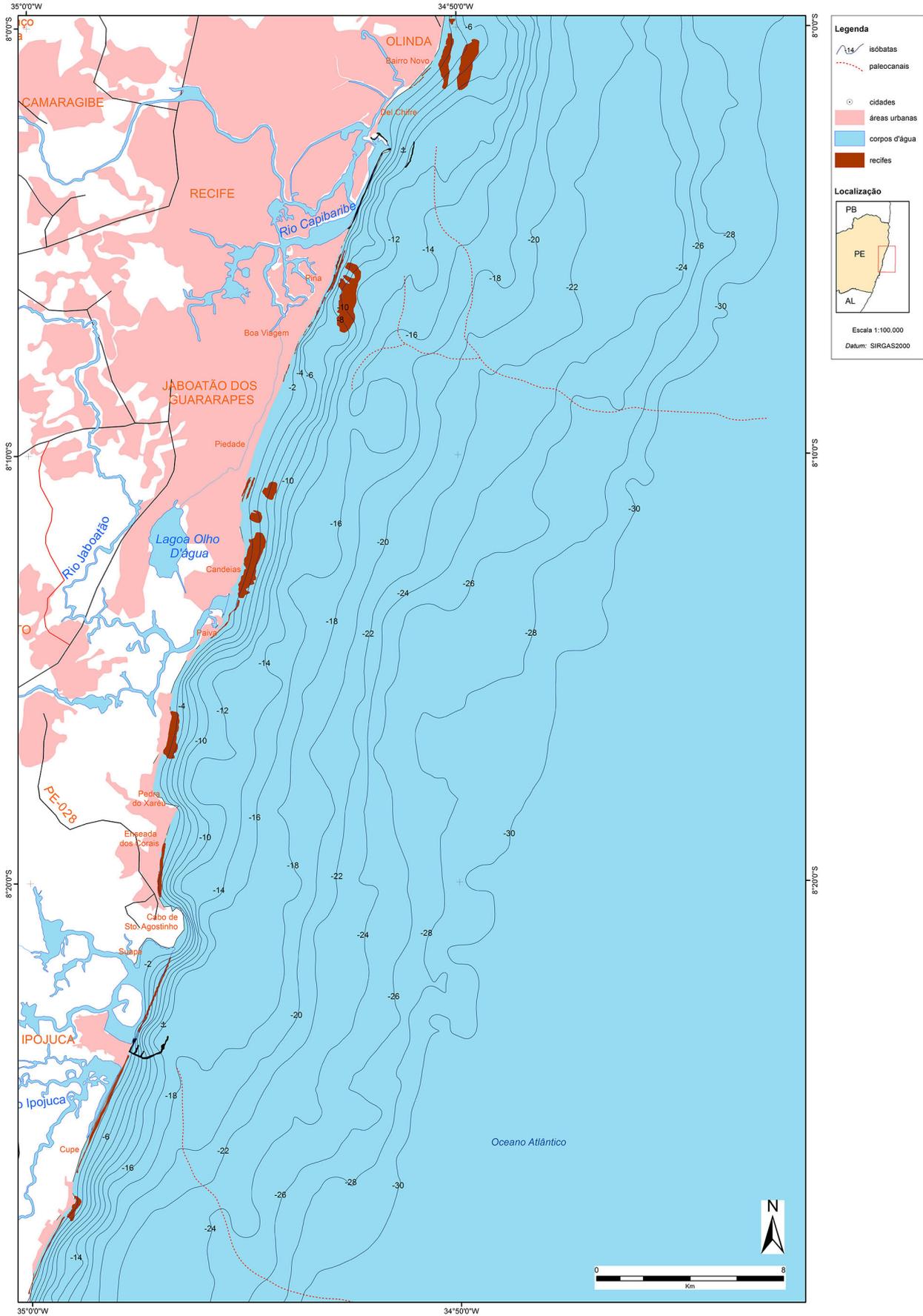
ANEXO A - BATIMETRIA DO SETOR ITAMARACÁ

ANEXO 1: Batimetria do setor Itamaracá



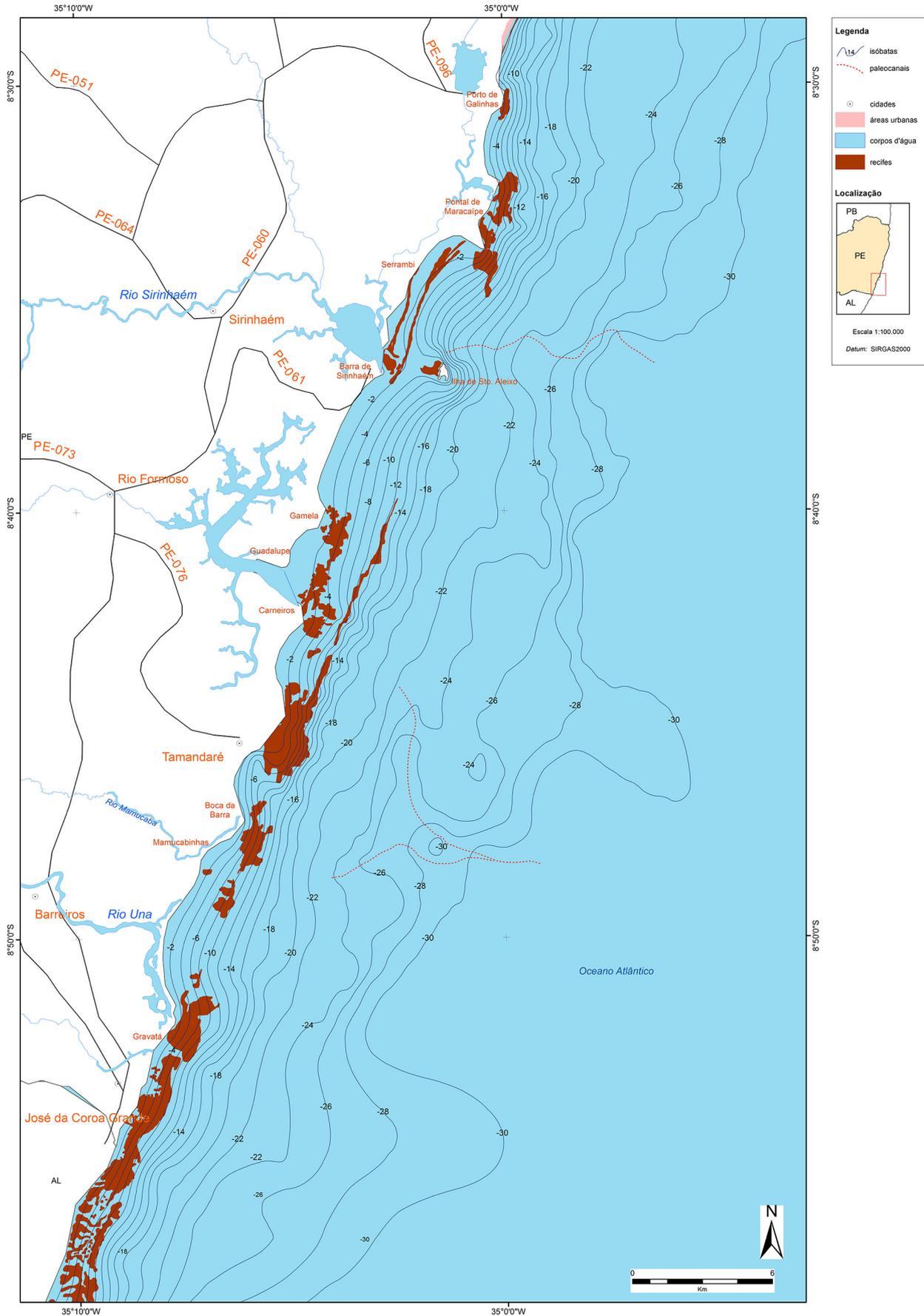
ANEXO B - BATIMETRIA DO SETOR RECIFE

ANEXO 2: Batimetria do setor Recife



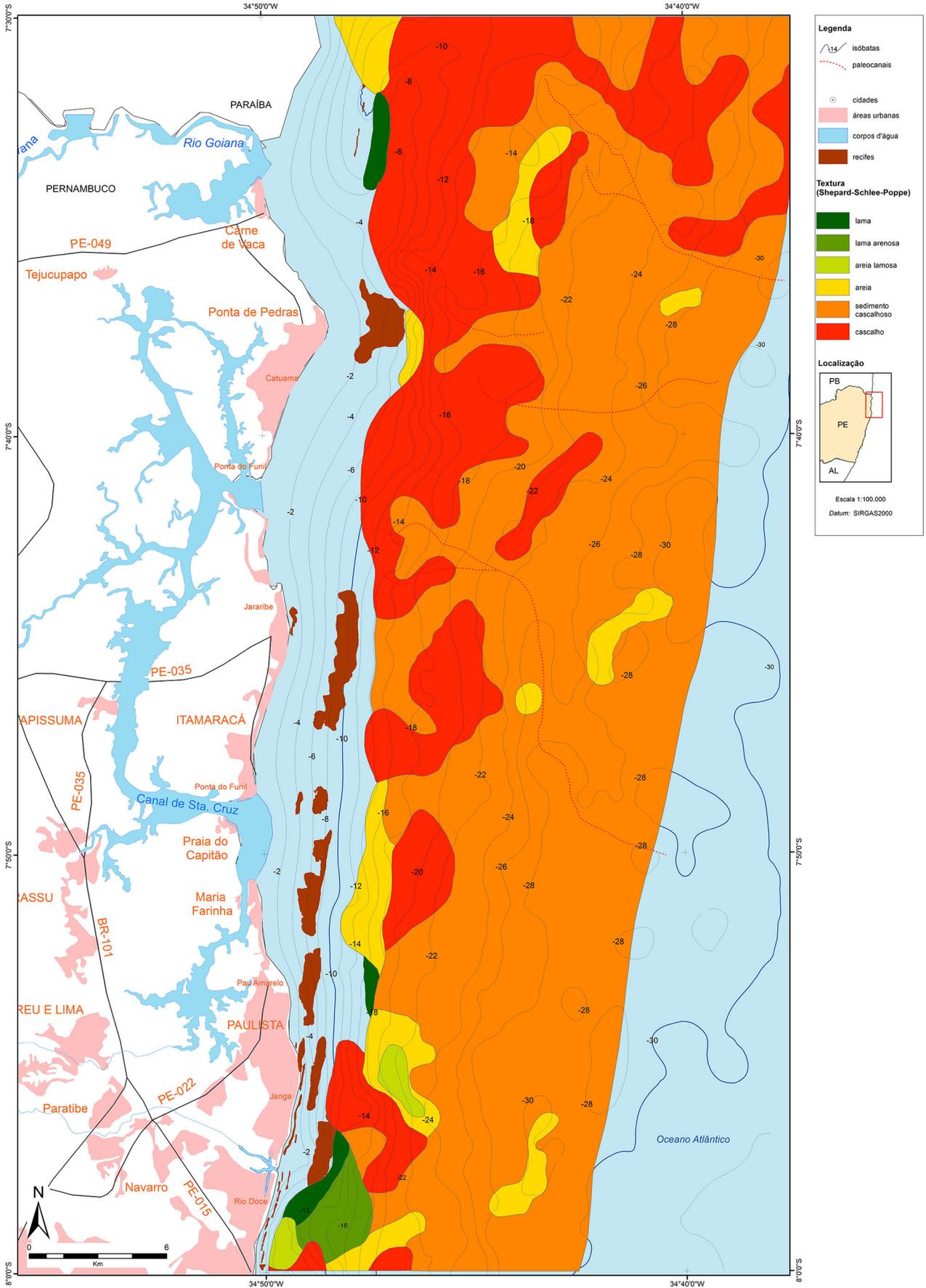
ANEXO C - BATIMETRIA DO SETOR SIRINHAÉM

ANEXO 3: Batimetria do Setor Sirinhaém



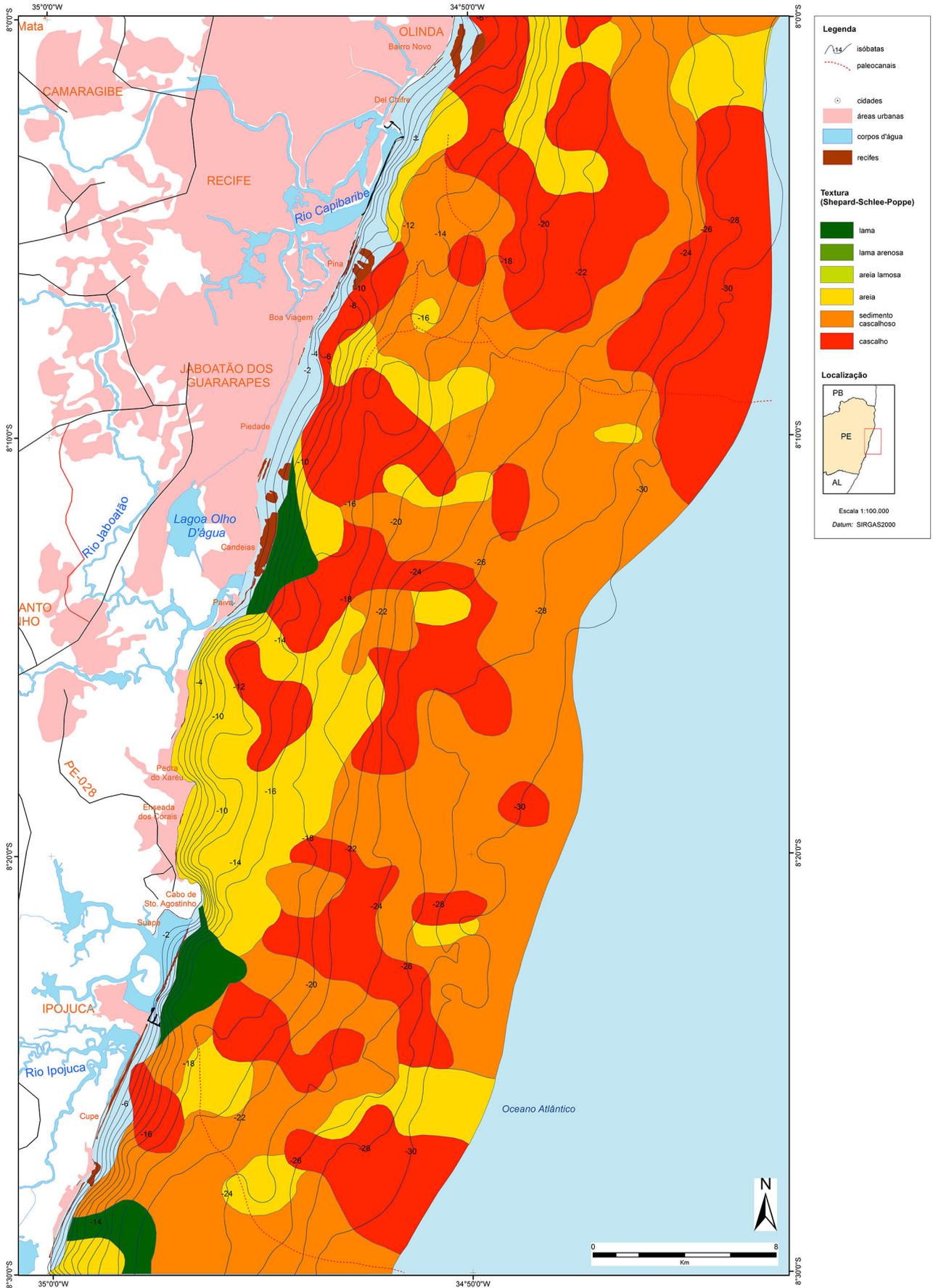
**ANEXO D - DISTRIBUIÇÃO DAS TEXTURAS DO CAPEAMENTO
SEDIMENTAR DO SETOR ITAMARACÁ**

ANEXO 4: Distribuição das texturas do capeamento sedimentar do setor Itamaracá



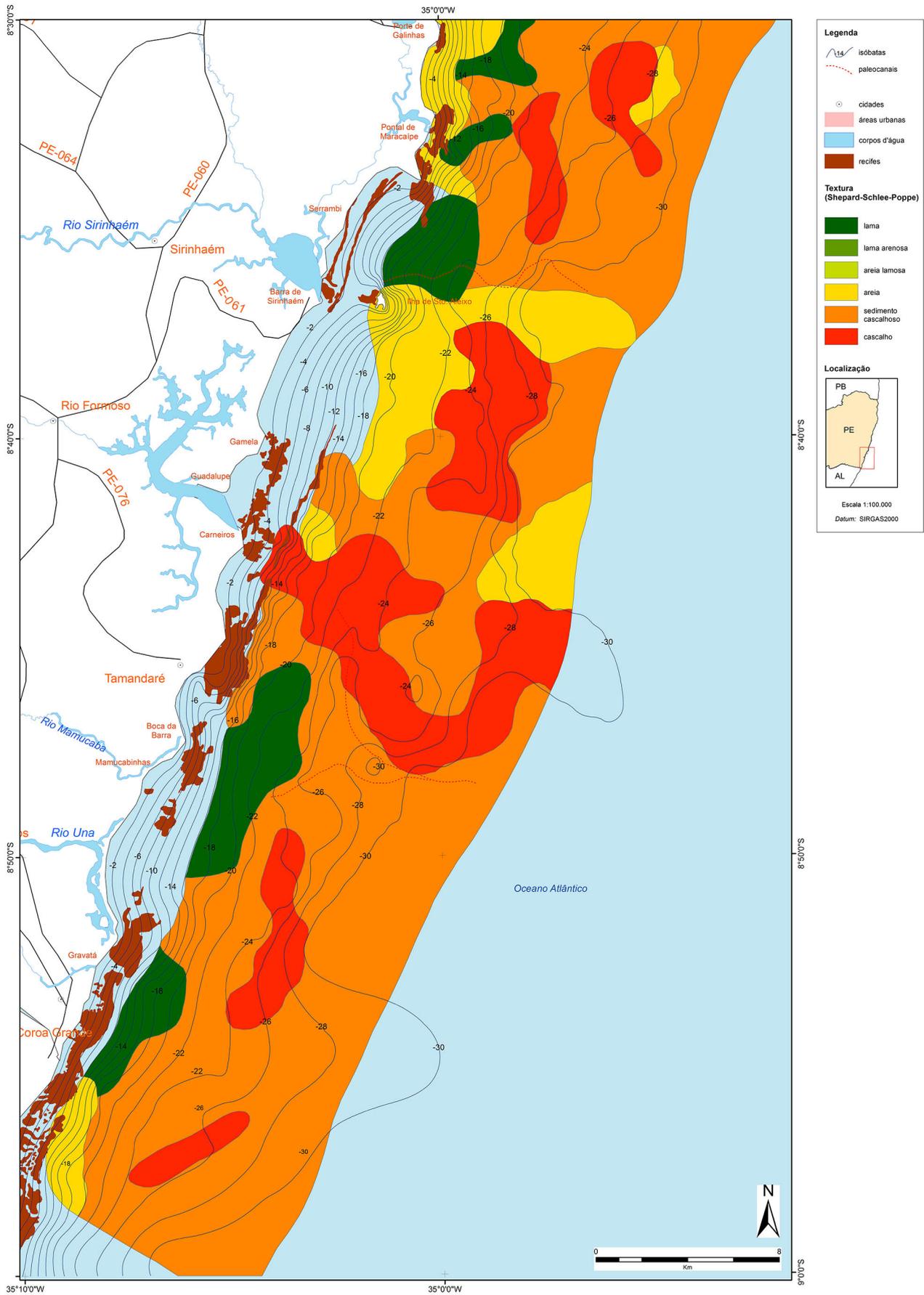
**ANEXO E - DISTRIBUIÇÃO DAS TEXTURAS DO CAPEAMENTO
SEDIMENTAR DO SETOR RECIFE**

ANEXO 5: Distribuição das texturas do capeamento sedimentar do setor Recife



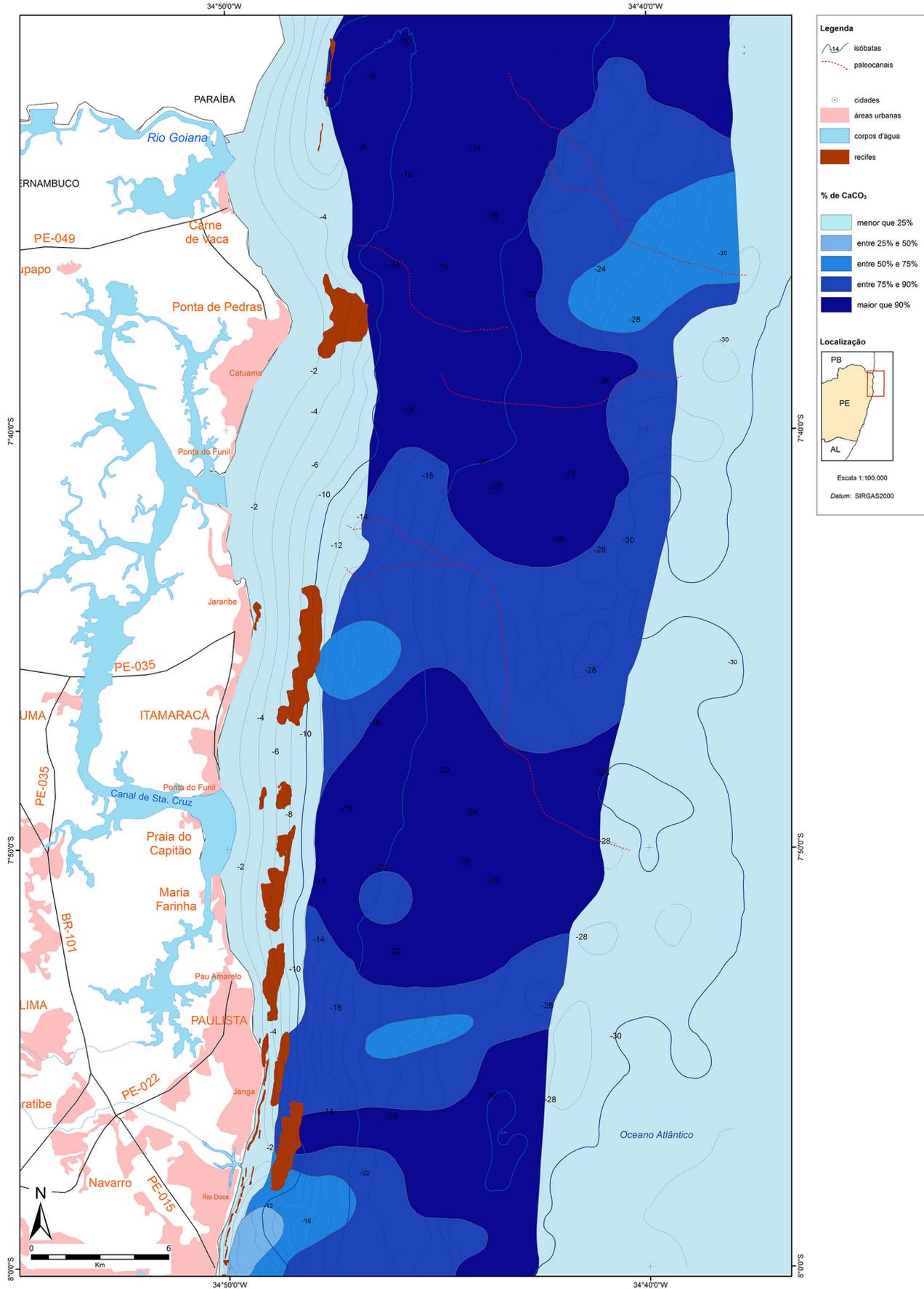
**ANEXO F - DISTRIBUIÇÃO DAS TEXTURAS DO CAPEAMENTO
SEDIMENTAR DO SETOR SIRINHAÉM**

ANEXO 6: Distribuição das texturas do capeamento sedimentar do setor Sirinhaém



**ANEXO G - DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DE CaCO_3
DO SETOR ITAMARACÁ**

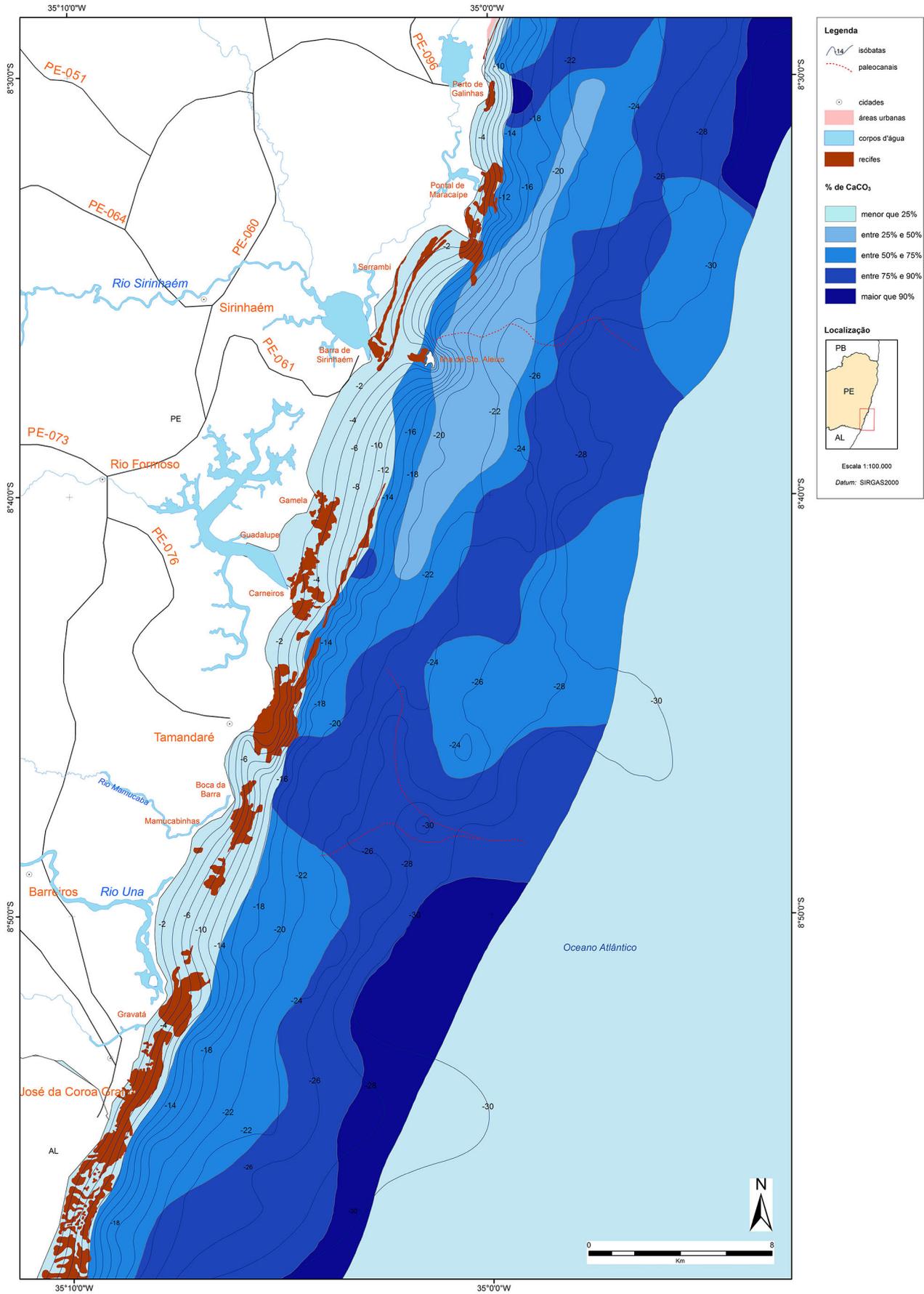
ANEXO 7: Distribuição de teores de CaCO₃ no setor Itamaracá



**ANEXO H - DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DE CaCO_3
DO SETOR RECIFE**

**ANEXO I - DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DE CaCO_3
DO SETOR SIRINHAÉM**

ANEXO 9: Distribuição de teores de CaCO₃ no setor Sirinhaém



O SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM E OS OBJETIVOS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - ODS

Em setembro de 2015 líderes mundiais reuniram-se na sede da ONU, em Nova York, e formularam um conjunto de objetivos e metas universais com intuito de garantir o desenvolvimento sustentável nas dimensões econômica, social e ambiental. Esta ação resultou na *Agenda 2030*, a qual contém um conjunto de *17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS*.

A Agenda 2030 é um plano de ação para as pessoas, para o planeta e para a prosperidade. Busca fortalecer a paz universal, e considera que a erradicação da pobreza em todas as suas formas e dimensões é o maior desafio global, e um requisito indispensável para o desenvolvimento sustentável.

Os 17 ODS incluem uma ambiciosa lista 169 metas para todos os países e todas as partes interessadas, atuando em parceria colaborativa, a serem cumpridas até 2030.



O **Serviço Geológico do Brasil – CPRM** atua em diversas áreas intrínsecas às Geociências, que podem ser agrupadas em quatro grandes linhas de atuação:

- Geologia
- Recursos Minerais;
- Hidrologia; e
- Gestão Territorial.

Todas as áreas de atuação do SGB-CPRM, sejam nas áreas das Geociências ou nos serviços compartilhados, ou ainda em seus programas internos, devem ter conexão com os ODS, evidenciando o comprometimento de nossa instituição com a sustentabilidade, com a humanidade e com o futuro do planeta.

A tabela a seguir relaciona as áreas de atuação do SGB-CPRM com os ODS.

Áreas de atuação do Serviço Geológico do Brasil – CPRM e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS

ÁREA DE ATUAÇÃO GEOCIÊNCIAS

LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS



LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS



AValiação DOS RECURSOS MINERAIS DO BRASIL



LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS MARINHOS



LEVANTAMENTOS GEOQUÍMICOS



LEVANTAMENTOS BÁSICOS DE RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS



SISTEMAS DE ALERTA HIDROLÓGICO



AGROGEOLOGIA



LEVANTAMENTOS BÁSICOS DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS



RISCO GEOLÓGICO



GEODIVERSIDADE



PATRIMÔNIO GEOLÓGICO E GEOPARQUES



ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO



GEOLOGIA MÉDICA



RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO



ÁREA DE ATUAÇÃO SERVIÇOS COMPARTILHADOS

GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO



TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO



LABORATÓRIO DE ANÁLISE MINERAIS



MUSEU DE CIÊNCIAS DA TERRA



PALEONTOLOGIA



PARCERIAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS



REDE DE BIBLIOTECAS



REDE DE LITOTECAS



GOVERNANÇA



ÁREA DE ATUAÇÃO PROGRAMAS INTERNOS

SUSTENTABILIDADE



PRÓ-EQUIDADE



COMITÊ DE ÉTICA



PROGRAMA OCEANOS, ZONA COSTEIRA E ANTÁRTICA

INFORME DE RECURSOS MINERAIS

Série Recursos Minerais Marinhos, nº 03

**Levantamento Geológico, Oceanográfico
e Ambiental do Potencial Mineral do
Espaço Marinho e Costeiro**

POTENCIALIDADE DOS GRANULADOS MARINHOS DA PLATAFORMA CONTINENTAL RASA DE PERNAMBUCO

Os produtos da Série Recursos Minerais Marinhos, parte integrante do Programa Oceanos, Zona Costeira e Antártica, objetivam sistematizar e divulgar os resultados dos trabalhos desenvolvidos pela Serviço Geológico do Brasil – CPRM, nas áreas de Geologia e Geofísica Marinhas, Geoquímica, Sedimentologia e Oceanografia, com foco nos campos de geologia econômica, prospecção, meio ambiente, pesquisa e economia mineral.

Cada exemplar da Série Recursos Minerais Marinhos apresenta os resultados da abordagem temática relacionada à potencialidade estratégica dos bens minerais da Zona Econômica Exclusiva brasileira, na perspectiva de promover o interesse da indústria de mineração para novos alvos de investimento no país, em compatibilidade com o equilíbrio ambiental. São apresentados sob a forma de estudos, artigos, relatórios e mapas.

Neste terceiro volume da série, são apresentados os resultados da pesquisa na plataforma continental rasa de Pernambuco, que se estende ao largo de 187 km de costa, entre as divisas com Alagoas a sul e Paraíba a norte. As praias arenosas ocupam a maior parte da costa e os sedimentos que cobrem o leito da plataforma apresentam variadas quantidades de carbonato de cálcio, quartzo e minerais pesados.

Os dados levantados foram integrados neste Informe de Recursos Minerais e em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), bases de dados e mapas temáticos, vinculados ao banco de dados coporativo da CPRM, o **GeoSGB**, e estão disponíveis para download no endereço eletrônico www.cprm.gov.br.

Sede

Setor Bancário Norte - SBN - Quadra 02, Asa Norte
Bloco H - 5º andar - Edifício Central Brasília
Brasília - DF - CEP: 70040-904
Tel: 61 2108-8400

Escritório Rio de Janeiro

Av Pasteur, 404 - Urca
Rio de Janeiro - RJ - Cep: 22290-255
Tel: 21 2295-5337 - 21 2295-5382

Diretoria de Geologia e Recursos Minerais

Tel: 21 2546-0212 - 61 3223-1166

Departamento de Geologia

Tel: 91 31821326

Departamento de Recursos Minerais

Tel: 21 2295-4992

Diretoria de Infraestrutura Geocientífica

Tel: 21 2295-5837 - 61 2108-8457

Superintendência de Recife

Avenida Sul, 2291 - Afogados
Recife - PE - CEP: 50770-011
Tel.: 81 3316-1400

Assessoria de Comunicação

Tel: 61 2108-8468
E-mail: asscomdf@cprm.gov.br

Divisão de Marketing e Divulgação

Tel: 31 3878-0333
E-mail: marketing@cprm.gov.br

Ouvidoria

Tel: 21 2541-6344
E-mail: ouvidoria@cprm.gov.br

Serviço de Atendimento ao Usuário – SEUS

Tel: 21 2295-5997
E-mail: seus@cprm.gov.br

www.cprm.gov.br