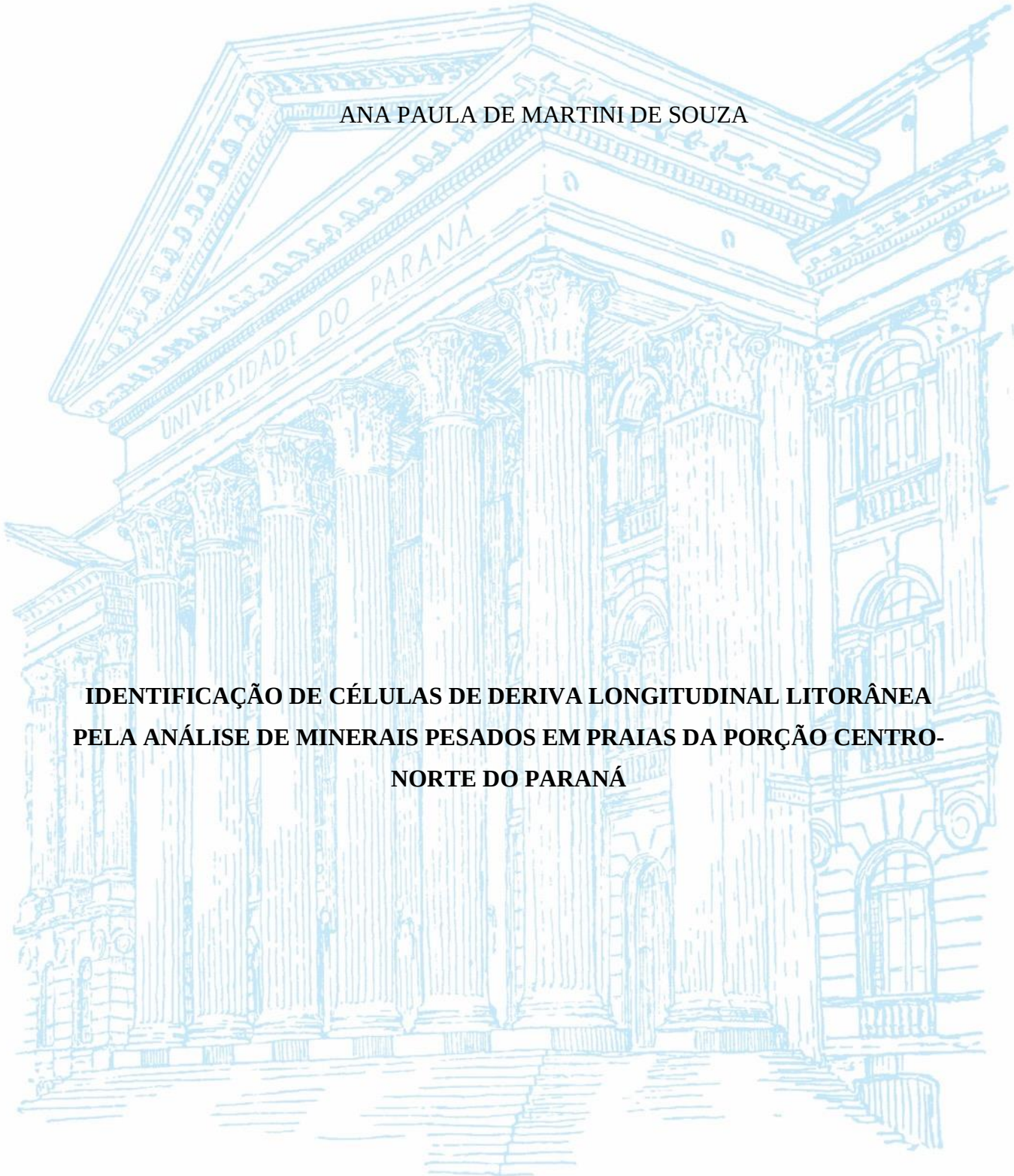
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANA PAULA DE MARTINI DE SOUZA



IDENTIFICAÇÃO DE CÉLULAS DE DERIVA LONGITUDINAL LITORÂNEA PELA ANÁLISE DE MINERAIS PESADOS EM PRAIAS DA PORÇÃO CENTRO-NORTE DO PARANÁ

PONTAL DO PARANÁ

2017

ANA PAULA DE MARTINI DE SOUZA

IDENTIFICAÇÃO DE CÉLULAS DE DERIVA LONGITUDINAL LITORÂNEA, PELA ANÁLISE DE MINERAIS PESADOS EM PRAIAS DA PORÇÃO CENTRO-NORTE DO PARANÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de bacharelado em Oceanografia, no Curso de Graduação em Oceanografia, Setor de Ciências da Terra, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Renato Lamour

PONTAL DO PARANÁ

2017

TERMO DE APROVAÇÃO

Ana Paula de Martini de Souza

"IDENTIFICAÇÃO DE CÉLULAS DE DERIVA LONGITUDINAL LITORÂNEA EM PRAIAS DO LITORAL DO PARANÁ, PELA ANÁLISE DE MINERAIS PESADOS."

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

Profº. Drº. Carlos Roberto Soares - CEM/UFPR

Profº. Drº. Carlos Alberto Borzone - CEM/UFPR

Profº. Drº. Marcelo Renato Lamour - CEM/UFPR
Presidente

Prof. Dr. Marcelo R. Lamour
Coord. do Curso de Oceanografia
Universidade Federal do Paraná

Pontal do Paraná, 05/12/2017

Slow down, you crazy child.
You're so ambitious for a juvenile.
But then if you're so smart, tell me why are you still so afraid?
Where's the fire? What's the hurry about?
You better cool it off before you burn it out.
You got so much to do and only so many hours in a day.

Don't you know that when the truth is told
That you can get what you want or you can just get old?
You're gonna kick off before you even get halfway through.
When will you realize Vienna waits for you?

Slow down, you're doing fine.
You can't be everything you wanna be before your time,
Although it's so romantic on the borderline tonight.
Too bad, but it's the life you lead.
You're so ahead of yourself that you forgot what you need.
Though you can see when you're wrong,
You know, you can't always see when you're right.

You've got your passion. You've got your pride,
But don't you know that only fools are satisfied?
Dream on, but don't imagine they'll all come true.
When will you realize Vienna waits for you?

Slow down, you crazy child.
Take the phone off the hook and disappear for a while.
It's all right you can afford to lose a day or two.
When will you realize Vienna waits for you?

Don't you know that when the truth is told
That you can get what you want or you can just get old?
You're gonna kick off before you even get halfway through.
Why don't you realize Vienna waits for you?

When will you realize Vienna waits for you?
(Vienna- Billy Joel)

Dedico a minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família, que tem sido a minha base e fortaleza durante todos esses anos. Sempre me apoiando, incentivando e sonhando os meus sonhos em conjunto. Mamis, Papis, Vic e Vinny, obrigada!

Ao meu orientador, agradeço por todo o aprendizado, amizade, sermões e conselhos dados. Todos esses anos de orientação e dedicação me moldaram na profissional de hoje, sou muito grata! E espero continuar trabalhando e produzindo algo em conjunto nos próximos anos.

Agradeço aos integrantes do Laboratório de Oceanografia Geológica-LOGeo por todas as conversas, conselhos, troca de conhecimentos e confraternizações. Agradeço principalmente a Pâmela Cattani, por todos os ensinamentos no Arcgis, por ter sido amiga, mestre e conselheira.

Obrigada ao professor Paulo Giannini do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. A sua dedicação e paciência ao me mostrar e ensinar sobre o mundo dos minerais foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos, GRR2011 e a família pontalense por todas as risadas, festas e momentos que passamos. Embora nossa jornada esteja seguindo por desconhecidos mares, eu desejo a vocês todo o sucesso do mundo.

Agradeço profundamente aos docentes da Universidade Federal do Paraná-UFPR que além de educarem, fizeram com que o meu amor pela oceanografia e o fascínio pelas ciências da Terra só aumentasse.

Agradeço a UFPR e aos auxílios PROBEM, pelo apoio estrutural e financeiro que me permitiram realizar o sonho de ter um ensino superior em uma das universidades mais prestigiadas do país.

Agradeço aos demais funcionários do Centro de Estudos do Mar pela manutenção e bom funcionamento da universidade, fazendo o seu trabalho com excelência e sempre com um sorriso convidativo.

A todos vocês, Muito Obrigada!

RESUMO

As praias localizadas na porção centro-Norte do litoral paranaense abrangem os municípios de Pontal do Paraná e Matinhos (25°S/48°W), delimitados ao norte pela desembocadura do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) e ao sul pela Baía de Guaratuba. A região apresenta uma urbanização crescente próxima a linha de costa, estando vulnerável aos processos naturais e antrópicos de erosão e deposição costeira. Neste sentido, o presente trabalho objetivou delinear células de deriva longitudinal litorânea pela análise de minerais pesados, possibilitando a identificação de áreas sob o efeito de processos erosivos e deposicionais nas praias estudadas, com o propósito de delimitar zonas de maior vulnerabilidade costeira perante os processos costeiros. Em vista disso, os trabalhos de campo consistiram na coleta de amostras de sedimentos superficiais em 66 pontos, da porção do espraiamento do perfil praial, espaçados a cada 500 m para as análises granulométricas, e 1.000 m para as análises de minerais pesados (MP). As análises granulométricas foram realizadas através dos métodos de peneiramento e difração a laser, posteriormente, foram selecionadas as duas frações de sedimentos abaixo da moda granulométrica, evitando os efeitos da seleção hidráulica nas análises qualitativas e quantitativas de MP, que foram realizadas pela análise ótica em microscópio petrográfico. Além disso, foram aplicados índices mineralógicos para definir o grau de maturidade das partículas ao longo do transporte sedimentar e a identificação dos encontros das células de circulação costeira. A análise da concentração de MP identificou aumentos significativos de minerais instáveis como a Hornblenda nos balneários de Ipacaray e Ipanema, indicando uma possível proveniência das Ilhas costeiras de Itacolomis e Currais. A aplicação do índice de maturidade mineralógica identificou um aumento da maturidade sedimentar ao longo do perfil amostrado congruente ao sentido da deriva longitudinal litorânea da região. Além disso, foram identificadas regiões com tendências a processos erosivos, evidenciadas pelo encontro convergente de células de deriva longitudinal litorânea nos balneários Riviera e Ipacaray pertencentes ao município de Matinhos, enquanto que em Pontal do Paraná os encontros convergentes foram observados nos balneários de Ipanema e Pontal do Sul. Já os encontros divergentes de células de deriva longitudinal litorânea, e portanto, com tendência a processos de deposição, foram identificados nos balneários de Gaivotas, Praia de Leste e Shangri-lá, correspondentes ao município de Pontal do Paraná.

Palavras-chave: *Praias; Células de deriva longitudinal; Minerais Pesados; Transporte Sedimentar.*

ABSTRACT

The beaches located in the central-north portion of the coast of Paraná cover the municipalities of Pontal do Paraná and Matinhos (25 ° S / 48 ° W), which are delimited by the Estuarine Complex of Paranaguá (CEP) on the northern portion, and by the Guaratuba Bay on the southern part. The region presents an increasing in urbanization near the coastline, therefore being vulnerable to the natural and anthropic processes of erosion and coastal deposition. In this sense, the present work aimed to delineate longitudinal coastal drift cells by the analysis of heavy minerals. This process allows the identification of areas under the effect of erosive and depositional processes, in order to delimit zones of greater coastal vulnerability to the coastal processes. In this way, the field sampling consisted in the collection of superficial sediment samples at 66 points, at the spreading portion of the beach profile, spaced in 500 m to analyze the particle size trend, and 1.000 m to the analysis of Heavy Minerals (PM). The granulometric analysis was carried out by the methods of sieving and laser diffraction, after which the two fractions of the sediments were selected below the grain size mode. Thus, the effects of hydraulic selection in the qualitative and quantitative analyzes of MP can be avoided, which were performed using optical analysis on a petrographic microscope. In addition, mineralogical indexes were applied to define the degree of maturity of the particles along the sedimentary transport and the identification of the encounters between cells of the coastal circulation. The MP concentration analysis identified significant increases of unstable minerals such as Hornblende in the coastal villages of Ipacaray e Ipanema, indicating a possible provenance from the Itacolomis and Currais coastal Islands. The application of the mineralogical maturity index identified an increase of the sedimentary maturity along the sampled profile, which is congruent to the direction of the coastal longitudinal drift. In addition, regions with tendencies to erosion processes were identified, evidenced by the convergence of coastal longitudinal drift cells in the coastal villages of Riviera and Ipacary, all of them belonging to the municipality of Matinhos. In Pontal do Paraná the convergent encounters were observed in the coastal villages of Ipanema and Pontal do Sul. The divergent encounters of coastal longitudinal drift cells and, therefore, with a tendency to deposition processes, were identified in in the beach coastal villages of Praia de Leste and Shangri-lá, corresponding to the municipality of Pontal of Paraná.

Keywords*: Beaches; Longitudinal drift cells; Heavy minerals; Sedimentary transport.*

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- ÁREA DE ESTUDO, COMPREENDENDO O ARCO PRAIAL ENTRE OS MUNICÍPIOS DE MATINHOS E PONTAL DO PARANÁ. 15
FIGURA 2 – ARCO PRAIAL DE MATINHOS E PONTAL DO PARANÁ COM OS PRINCIPAIS BALNEÁRIOS 18
FIGURA 3- REGIÕES GEOGRÁFICAS NATURAIS DO ESTADO DO PARANÁ SEGUNDO MAACK (1968): (01) TERCEIRO PLANALTO; (02) SEGUNDO PLANALTO; (03) PRIMEIRO PLANALTO; (04) SERRA DO MAR E (05a e 05b) ZONA LITORAL; QUE É COMPOSTA PELA (05a) ORLA DA SERRA E (05b) ORLA MARINHA. 20
FIGURA 4- SÉRIES REACIONAIS DE BOWEN 28
FIGURA 5- CARACTERIZAÇÃO DAS SUBDIVISÕES DO AMBIENTE PRAIAL, ENFATIZANDO A MORFOLOGIA DE CADA ZONA PROPOSTA POR SHORT (1999). 38
FIGURA 6- CLASSIFICAÇÃO DOS ESTADOS MORFODINÂMICOS PRAIAIS, COM DELIMITAÇÃO DO ALCANCE DE MARÉ ALTA (MA) E BAIXA (MB). 39
FIGURA 7- MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS AMOSTRAIS EM DOIS SETORES. A) PONTOS AMOSTRAIS DE 1-33 SEGUINDO EM DIREÇÃO NE. B) MALHA FINAL DE PONTOS DE 33-66. 43
FIGURA 8- CONCENTRAÇÃO DOS MINERAIS PESADOS TRANSLÚCIDOS AO LONGO DO PERFIL AMOSTRAL 53
FIGURA 9- CONCENTRAÇÃO DE ZIRCÃO, TURMALINA E RUTILO AO LONGO DO PERFIL AMOSTRAL 56
FIGURA 10- CONCENTRAÇÃO DE TURMALINA E ZIRCÃO AO LONGO DO PERFIL AMOSTRAL 57
FIGURA 11- MAPA TEMÁTICO DOS ENCONTROS DE CÉLULAS DE DERIVA LONGITUDINAL LITORÂNEA, DEMARCANDO OS PONTOS DE CONVERGÊNCIA (VERMELHO) E DIVERGÊNCIA (AZUL) DO SETOR A DA ÁREA DE ESTUDO. 59
FIGURA 12- MAPA TEMÁTICO DOS ENCONTROS DE CÉLULAS DE DERIVA LONGITUDINAL LITORÂNEA, DEMARCANDO OS PONTOS DE CONVERGÊNCIA (VERMELHO) E DIVERGÊNCIA (AZUL) DO SETOR B DA ÁREA DE ESTUDO. 60

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1- COMPARAÇÃO DO DIÂMETRO MÉDIO PELO MÉTODO DE PENEIRAMENTO E GRANULOMETRIA A LASER AO LONGO DO PERFIL AMOSTRAL 49
GRÁFICO 2- COMPARAÇÃO DO GRAU DE SELEÇÃO PELO MÉTODO DE PENEIRAMENTO E GRANULOMETRIA A LASER AO LONGO DO PERFIL AMOSTRAL 49
GRÁFICO 3- COMPARAÇÃO DA ASSIMETRIA PELO MÉTODO DE PENEIRAMENTO E GRANULOMETRIA A LASER AO LONGO DO PERFIL AMOSTRAL 50
GRÁFICO 4- COMPARAÇÃO DA CURTOSE PELO MÉTODO DE PENEIRAMENTO E GRANULOMETRIA A LASER AO LONGO DO PERFIL AMOSTRAL 51
GRÁFICO 5- CONCENTRAÇÃO DE MINERAIS PESADOS AO LONGO DO PERFIL AMOSTRAL 52
GRÁFICO 6- PORCENTAGEM DE MP TOTAIS 53
GRÁFICO 7- CONCENTRAÇÃO DE HORNBLENDAS POR PONTO 55
GRÁFICO 8- ÍNDICE ZIRCÃO-TURMALINA-RUTILO 55
GRÁFICO 9- ÍNDICE TURMALINA-ZIRCÃO 57
GRÁFICO 10- ÍNDICE TURMALINA-ZIRCÃO, DEMONSTRANDO OS VALORES MÁXIMOS (VERMELHO) E MÍNIMOS (AZUL) 58

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- ORDEM DE ESTABILIDADE DOS MP 29
TABELA 2- CARACTERÍSTICAS TEXTURAIS E ÓTICAS QUE FORAM USADAS COMO REFERENCIAL BÁSICO PARA A IDENTIFICAÇÃO DAS ASSEMBLEIAS MINERALÓGICAS. 32
TABELA 3- ARREDONDAMENTO E ESFERICIDADE DAS AMOSTRAS 51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEP - Complexo Estuarino de Paranaguá

Converg. - Convergência

Diverg. - Divergência

GSTA - Sediment Trend Analysis Model ou Modelo de Análise de tendência sedimentar

iTZ - Indíce Turmalina-Zircão

iZTR - Indíce Zircão-Turmalina-Rutilo

MP - Minerais Pesados

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **13**

2 OBJETIVOS **16**
2.1 OBJETIVO GERAL 16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 16

3 HIPÓTESE **16**

4 ÁREA DE ESTUDO **17**
4.1 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA 19
4.1.1. COMPOSIÇÃO SEDIMENTAR *20*
4.1. 2. EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA *22*
4.2 METEOROLOGIA E OCEANOGRAFIA 23

5 REFERENCIAL TEÓRICO **26**
5.1 MINERALOGIA DOS MINERAIS PESADOS 26
5.1.2 GRANULOMETRIA E EFEITOS HIDRÁULICOS *29*
5.1.3 ÍNDICES MINERALÓGICOS *31*
5.2 O AMBIENTE PRAIAL 32
5.3 CELULAS DE DERIVA LONGITUDINAL 35

6 MATERIAIS E MÉTODOS **37**
6.1 AMOSTRAGEM 37
6.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA E MORFOMÉTRICA 39
6.3 ANÁLISE MINERALÓGICA 40

7 RESULTADOS **43**
7.1 GRANULOMETRIA E MORFOMETRIA 43
7.2 MINERAIS PESADOS 46

8 DISCUSSÃO **60**
8.1. GRANULOMETRIA 60
8.2. ASSEMBLEIA MINERALÓGICA 61

9 CONCLUSÃO **65**

10 REFERENCIAS **66**

APÊNDICE 1 – FOTOGRAMETRIA DE MINERAIS PESADO **77**

1 INTRODUÇÃO

O contato entre continente e oceano ocorre em uma faixa estreita denominada orla costeira, ou linha de costa. Nessa porção as forçantes naturais como ondas, ventos, marés, correntes ocorrem em intensidades variantes, apresentando efeitos de erosão, e de deposição que podem alterar sensivelmente a sua configuração (MUEHE, 2001).

Naturalmente, sob a ação de processos erosivos, a linha de costa é desgastada, o que gera perda de terreno e perdas econômicas em cidades urbanizadas. Em contrapartida, sob a ação de processos de deposição ou acrecivos, ocorre a deposição de partículas sedimentares, resultando em praias ou ilhas-barreiras. No geral, as praias ocorrem em linhas de costa sedimentares expostas a ação de ondas, sendo estas definidas como depósitos sedimentares inconsolidados e consideradas um dos ambientes mais dinâmicos do planeta, devido aos diferentes processos costeiros atuantes. Seus limites podem ser determinados pela zona de ação do trem de ondas sobre o potencial de transporte sedimentar tanto em direção à costa, quanto costa a fora (SHORT, 1999).

A região costeira, recebe a influência de dois tipos de correntes produzidas pela ação de ondas, as correntes de retorno e as correntes de deriva longitudinal litorânea, que são as principais responsáveis pela circulação da água neste ambiente. A associação destas duas correntes gera células de circulação, chamadas de células de deriva litorânea, que são responsáveis pelo transporte sedimentar ao longo da costa (BEER, 1997), e costa a fora. Os encontros de células de deriva longitudinal litorânea podem ocorrer com sentidos convergentes e/ou divergentes. Nas convergências, os depósitos sedimentares costeiros apresentam características erosivas, enquanto que nas divergências, o ambiente sedimentar responde com características de predominância deposicional de sedimentos. Neste sentido, o estudo das células de circulação costeira serve como subsídio para entender o comportamento das células. De modo que, há um reflexo direto da ação dinâmica destas células sobre a linha de costa, que pode ser associado às suas convergências e/ou divergências (FRIHY; DEWIDAR, 2003).

O sistema de transporte sedimentar armazena e retira sedimentos das planícies costeiras em períodos de sedimentação e erosão respectivamente, com determinada alternância ao longo do tempo (LAMOUR, 2007). Neste sentido, a evolução geológica do ambiente praial controla não somente a fisiografia da costa, mas também a abundância e as propriedades dos sedimentos. Tais como tamanho, grau de seleção, densidade, forma e natureza, sendo estes parâmetros determinantes no resultado final de transporte e do balanço sedimentar de um ambiente costeiro ao longo do tempo (ALBINO; MACHADO; PAIVA, 2001).

Os processos de erosão e deposição sedimentar envolvem diversas variáveis (clima, padrão de ondas, correntes de maré e intervenção humana), além das características da fonte e do sítio deposicional. Para ajudar a entender essas variáveis, muitos estudos (KRUMBEIN; PETTIJOHN, 1938; KRUMBEIN; SLOSS, 1956; MORTON; SMALE, 1990; MORTON; HALLSWORTH, 1999; 2007; MORTON; CLAOUÉ-LONG; HALLSWORTH, 2001) têm usado os MP para mapear os padrões de dispersão de sedimentos, determinar proveniência por meio da reconstrução das características das áreas fontes e indicar a ação dos efeitos hidráulicos nas concentrações de MP nos depósitos sedimentares e consequentemente, podem ser utilizados como indicadores de deriva litorânea. Ao longo da linha de costa, a variação espacial dos MP de diferentes estabilidades e equivalentes hidráulicos têm possibilitado a inferência do sentido do transporte sedimentar (GIANNINI et al., 2003; 2004 TANAKA, 2007; 2010; TANAKA; GIANNINI; SAWAKUCHI, 2008; GUEDES, 2009; GUEDES et al., 2011).

Tendo em vista, todas as possíveis aplicabilidades de uso dos MP e a necessidade de compreensão da dinâmica costeira do litoral do Paraná, o presente estudo objetiva utilizar os MP como traçadores do transporte sedimentar, afim de identificar as células de deriva longitudinal litorânea por uma metodologia consagrada na literatura e comparar os resultados obtidos com estudos pretéritos (ALVES, 2011; NOVAK; LAMOUR; CATTANI, 2016) que identificaram as células de deriva litorânea nas praias da região Centro-Norte paranaense pelos princípios descritos por GAO;COLLINS (1992).

O arco praial localizado no litoral Centro-Norte do Paraná (25°S/48°W) entre a Baía de Guaratuba e o Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), tem apresenta intensas modificações naturais e antrópicas que sua linha de costa perante a crescente urbanização, caracterizada como um fator de risco perante os processos naturais de erosão costeira (NOVAK; LAMOUR; CATTANI, 2016). Ressaltando, a importância do conhecimento da dinâmica e evolução da planície costeira, perante as variáveis (naturais e antrópicas) que atuam no balanço sedimentar, o presente estudo poderá apresentará dados sedimentológicos e mineralógicos, antes não estudados, como uma ferramenta de subsídio para os planos de ocupação, manejo e zoneamento da área costeira, evidenciando zonas prioritárias para a demarcação de unidades de conservação.

FIGURA 1- ÁREA DE ESTUDO, COMPREENDENDO O ARCO PRAIAL ENTRE OS MUNICÍPIOS DE MATINHOS E PONTAL DO PARANÁ.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Determinar células de deriva litorânea longitudinal ao longo das praias da porção centro-norte do Estado do Paraná, estabelecendo padrões de transporte pela identificação de assembleias mineralógicas e as suas relações com as forçantes oceanográficas sobre a zona costeira.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estabelecer as características texturais e mineralógicas dos sedimentos praiais do litoral centro-norte do Paraná pela análise morfométrica e microscópica, respectivamente, a fim de caracterizar o sentido do transporte sedimentar nas praias estudadas;
- Definir as relações espaciais entre as distribuições de textura e mineralogia, identificando células de deriva longitudinal e as suas possíveis influências na linha de costa, abrangendo processos de erosão e deposição (progradação).

3 HIPÓTESE

O aumento gradativo na concentração da deposição de MP nos sedimentos praiais acompanha a direção da deriva longitudinal litorânea, portanto a oscilação em suas concentrações oferece um embasamento para a identificação de células de deriva longitudinal litorânea, que associadas às forçantes oceanográficas em ação sobre esta região denotam o comportamento da costa ao longo do tempo.

4 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo se localiza no litoral Centro-Norte do Paraná, Brasil, recobrindo a costa dos municípios de Pontal do Paraná e Matinhos, com extensão de aproximadamente 33 km. Os limites geográficos dessa região se localizam entre os dois principais sistemas estuarinos do litoral do Paraná: a baía de Guaratuba (25°52'S/48°38'W), localizada na porção sul do estado, e o Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP; 25°30'S/48°25'W), na sua região Centro-Norte (FIGURA 2). O CEP é definido como um sistema composto por dois corpos de água principais: as baías de Paranaguá e Antonina (260 km^2) e baías de Laranjeiras e Pinheiros (200 km^2). Esse último apresenta três conexões com o mar aberto, sendo duas circundantes à Ilha do Mel e outra pelo Canal de Superagui (LANA *et al.*, 2001).

O município de Pontal do Paraná possui uma população de 20.919 habitantes com uma densidade demográfica de 104,31 hab/km^2 (IBGE, 2010), no qual o maior adensamento urbano observado se desenvolveu nos balneários próximos a Praia de Leste (NOVAK; LAMOUR; CATTANI, 2016). Em contrapartida, o município de Matinhos possui uma área de 118 km^2, com uma população de 33.450 habitantes e densidade demográfica média de 285,74 hab/km^2 (IBGE, 2017), com considerável aumento em períodos de veraneio e/ou feriados (NOVAK; LAMOUR; CATTANI, 2016).

Segundo PIERRE et al. (2006), o uso urbano deste trecho do litoral paranaense tem se caracterizado pela ocupação junto à linha de costa ou mesmo sobre a praia, pela destruição das dunas e paleodunas frontais, pelo aterro de brejos e pela descaracterização de rios e córregos. Ou seja, pela negligência da morfologia e, sobretudo, da dinâmica dos ambientes costeiros. No entanto, embora a atividade turística e o crescimento urbano no litoral do paraná tenham se acentuado nos últimos anos, esta área tem recebido maior atenção devido principalmente aos processos erosivos ao longo da orla, que consomem grandes quantias dos cofres públicos para a manutenção de casas, comércios e vias públicas (ANGULO, 1993; ANGULO; ARAÚJO, 1996; ANGULO; SOARES, 1994, NOVAK; LAMOUR; CATTANI, 2016).

FIGURA 2 – ARCO PRAIAL DE MATINHOS E PONTAL DO PARANÁ COM OS PRINCIPAIS BALNEÁRIOS

4.1 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

A geomorfologia do litoral paranaense é caracterizada por terraços arenosos formados durante as regressões e transgressões marinhas do Período Quaternário (ANGULO, 1992), composta por três unidades geomorfológicas principais (FIGURA 3): O Primeiro Planalto, a Serra do Mar, e a Planície costeira ou Zona Litoral. O Planalto Cristalino Atlântico, também conhecido no Paraná como Primeiro Planalto ou Planalto de Curitiba, é formado pelo reverso da Serra do Mar e suas escarpas, correspondendo a áreas que antigamente pertenciam à bacia do Rio Iguaçu (SIGA JÚNIOR, 1995).

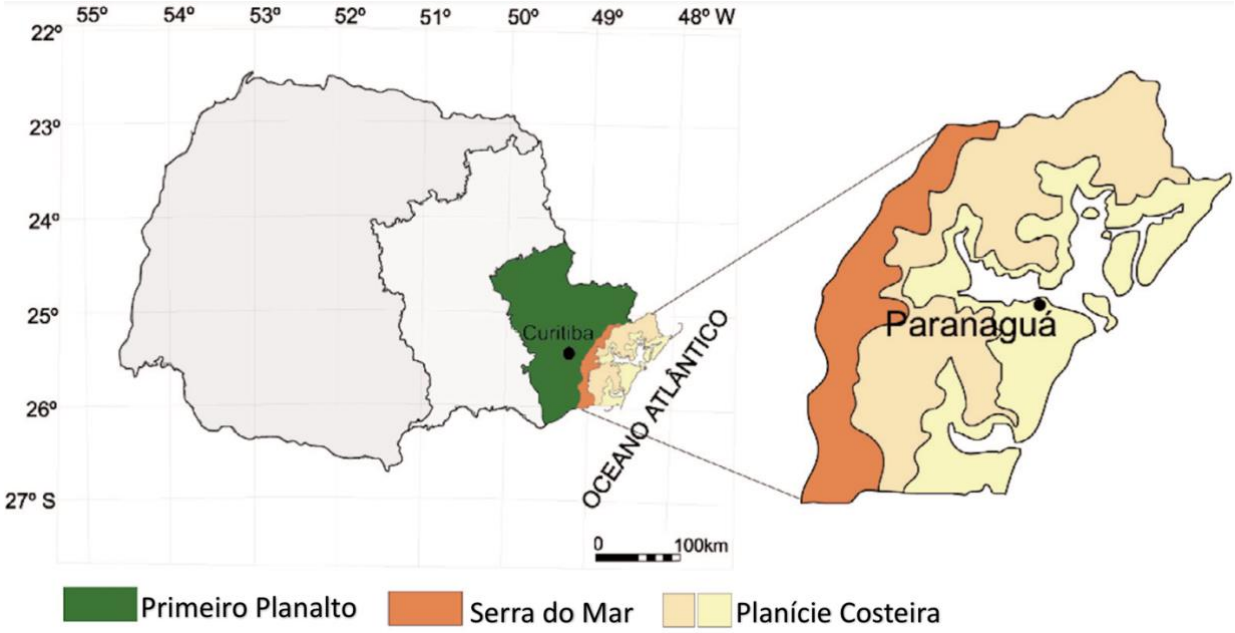
A Serra do Mar por sua vez, apresenta características distintas das de outros Estados vizinhos, pois não constitui apenas uma serra de borda de planalto ou de escarpa, mas também possui setores originados principalmente por erosão diferencial. Nas áreas onde as rochas são mais resistentes ao intemperismo (granitos, migmatitos, rochas efusivas e sedimentares da Formação Guaratubinha) as serras sobressaem entre 400 e 900 m acima do nível geral do Primeiro Planalto. Os diques de rochas intrusivas mesozoicas (diabásios) de maior concentração na parte central, aproximadamente na área da Baía de Paranaguá, coincidindo com o eixo do Arco de Ponta Grossa. Desta forma, a Serra do Mar é composta por bordas dissecadas do planalto e por núcleos serranos denominados altas serras (BIGARELLA et al., 1978; ANGULO, 2004).

A planície costeira ou Zona Litoral, formada durante os dois últimos ciclos transgressivos/regressivos do Período Quaternário (ANGULO, 2004), se estende ao longo de toda a costa paranaense, com cerca de 10 a 20 km de largura, atingindo um máximo de até 55 km na região onde ocorre a baia de Paranaguá (BIGARELLA, 2001). Ela é constituída principalmente por depósitos sedimentares costeiros quaternários que ainda conservam total ou parcialmente as feições morfológicas originadas durante sua deposição (ANGULO, 2004).

Constituída principalmente por formações arenosas, paludais terrestres e marinhas, a planície costeira do litoral do Paraná possui altitudes variantes de 0 a 10 m sobre o nível do mar, podendo atingir até 20 m no interior, com uma diminuição progressiva, do interior do continente em direção ao mar. No entanto, esta tendência é interrompida onde há a presença de dunas eólicas sobrepostas (ANGULO, 1993). No geral, Angulo (2004), apontou a ocorrência de dois domínios geológicos principais para a origem sedimentar do litoral paranaense: o das

rochas do embasamento, ou escudo cristalino, e o da cobertura sedimentar do Período Cenozóico.

FIGURA 3- REGIÕES GEOGRÁFICAS NATURAIS DO ESTADO DO PARANÁ SEGUNDO MAACK (1968)



Fonte: Modificado de Angulo, 2004.

4.1.1. COMPOSIÇÃO SEDIMENTAR

Os sedimentos que compõem esta planície litorânea são de origem terrígena (aluviões terrestres e dunas eólicas), intermediária (manguezais), e marinha (praias e restingas), depositados diretamente sobre o Embasamento Cristalino (BIGARELLA, 2001). Os sedimentos eólicos de origem terrígena, nessa região, ocorrem sob diversas formas, como cordões paralelos à linha de costa, os quais, às vezes, podem se prolongar por mais de 15 km. Sua altura raramente ultrapassa 6 m sobre o nível da planície, sendo mais frequentes alturas de 3 a 5 m. Em vista disso, entre Praia de Leste e Pontal do Sul, no município de Pontal do Paraná, observa-se um cordão interno de maior elevação, com uma altura de 3 a 6 m e largura média de 80 m (ANGULO, 1993). Os sedimentos de origem intermediária de manguezais estendem-se por largas áreas no CEP e na baia de Guaratuba, constituindo ilhas rasas e planas, inundáveis na preamar e emersas na baixa-mar. As raízes do mangue auxiliam na fixação de sedimentos,

que apresentam geralmente uma granulometria composta entre argilas a areias finas, com concentrações variáveis de acordo com a hidrodinâmica da região (BIGARELLA, 2001).

As praias e restingas da planície litorânea do Paraná se estendem por cerca de 90 km, sendo formadas majoritariamente pela deposição sedimentar de origem marinha (BIGARELLA, 2001). Segundo ANGULO (2004), a composição sedimentar das praias do litoral do Paraná é de areias finas a muito finas, bem selecionadas, com predomínio de grau de assimetria negativa, mineralogia essencialmente quartzosa e com teores variáveis de fragmentos carbonáticos e MP não-magnéticos e/ou magnéticos, como a exemplo da Ilmenita (BIGARELLA, 2001). A assembleia de MP consiste em zircões, turmalinas, Hornblendas (>15% cada) com quantidades adicionais de rutilos, estaurolitas, epídotos, apatitas, cianitas, silimanitas, granadas, titanitas, hiperstênios, monazitas e cassiteritas (ANGULO; ARAÚJO 1996; MIHÁLY, 2001; GIANNINI et al., 2004).

As praias e o delta de maré vazante do CEP apresentam intercâmbios significativos de sedimentos. Em condições naturais, as ondas são capazes de transportar os sedimentos do delta e promover sua troca com os sedimentos que compõem as praias localizadas nas margens da desembocadura da baía (LAMOUR, 2007). No entanto, as dragagens do canal de acesso aos portos públicos e privados de Antonina e Paranaguá têm interferido no transporte sedimentar ao longo da costa, visto que os sedimentos transportados ficam retidos no canal (LAMOUR et al., 2003; ANGULO, 2004; LAMOUR, 2007) com taxas de sedimentação de até 19.000 $m^3.mês^{-1}$ (CATTANI; LAMOUR, 2016). Assim, as dragagens constantes do canal navegável acabam gerando um deficit de sedimentos no delta e regiões adjacentes, o que pode causar um decréscimo no volume do delta do CEP, assim como erosão das praias no balneário de Pontal do Sul (ANGULO, 2004; LAMOUR et al., 2003).

Embora muitos rios contribuam para o aporte sedimentar nos sistemas estuarinos do litoral paranaense, apenas os sedimentos mais finos chegam a ser exportados para o sistema oceânico devido a hidrodinâmica mais branda presente nos estuários que aprisiona os sedimentos mais grossos (LAMOUR, 2007). Ademais, não ocorrem rios importantes desaguando nas praias da área de estudo. Segundo Noernberg (2001), os principais rios parecem ter sua direção controlada pelos cordões litorâneos, que dominam o relevo da planície costeira, seguindo paralelos à costa e desaguando nos estuários. Apenas em períodos muito chuvosos há o aparecimento de cursos d'água com aporte sedimentar insignificante desaguando diretamente na praia na forma de sangradouros (LAUBE, 2012).

A deriva longitudinal litorânea desempenha um importante papel no transporte

sedimentar, e consequentemente, no fornecimento de partículas para as praias, que ocorre principalmente de Sul para Norte (Matinhos- Pontal do Paraná), devido à direção da deriva litorânea que flui no sentido SW-NE (BIGARELLA et al., 1978), como resposta ao sistema de ventos dominantes do quadrante sul e sudeste (BIGARELLA et al., 1966).

O sentido da deriva longitudinal litorânea, por sua vez, pode ser evidenciado pela orientação das desembocaduras dos rios e pela morfologia dos deltas de maré vazante dos estuários de Guaratuba e Paranaguá (ANGULO, 1992). Em vista disso, alguns autores (ANGULO, 1992; BIGARELLA, 2001; ANGULO, 2004; LAMOUR, 2007) afirmam que os sedimentos transportados por esse fluxo provêm principalmente da planície costeira, e das ilhas costeiras de Itacolomis e Currais (VEIGA et al., 2004), das dunas frontais e das praias da região. Tal fato é evidenciado pela semelhança dos sedimentos que compõem as praias próximas a desembocadura do CEP e o delta de maré vazante deste estuário (LAMOUR, 2007). Desta forma, a deriva litorânea, contribui para o aporte e transporte sedimentar, agindo no desenvolvimento deste delta e na largura das praias paranaenses, que em relação à baixa-mar, variam de 50 a 80 m, podendo atingir até 200 m, como no caso de Pontal do Sul (BIGARELLA, 2001).

4.1. 2. EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA

Considerando a geomorfologia do litoral do Paraná e a sua dinâmica, as praias foram classificadas como sob influencia de desembocaduras e praias oceânicas (ANGULO, 1993, ANGULO et al., 2017). As praias próximas as desembocaduras das baías, apresentam dinâmica fortemente influenciada pelas correntes de maré que fluem através dessas entradas. Por outro lado, as praias mais afastadas dessas desembocaduras, as denominadas oceânicas, possuem a dinâmica influenciada pela ação de ondas e correntes de deriva litorânea. ANGULO; ARAÚJO (1996) afirmam que a área de estudo compreende praias sob influência de desembocadura estuarina, no arco voltado para o quadrante NE, assim como praias oceânicas, no arco direcionado para o quadrante SSE.

A linha de costa da área de estudo apresenta uma orientação voltada ao quadrante SE, compreendendo praias classificadas como intermediárias à dissipativas na parte sul e central da orla, e dissipativas na região norte, porém com trechos refletivos, como no balneário de Praia de Leste (QUADROS, 2002). No geral, praias com essa classificação apresentam zona de surfe larga, baixo gradiente topográfico, ocorrência de ondas de elevada esbeltes, granulometria fina,

condições estas que favorecem o estoque de areia na porção subaquosa da praia, se manifestando em forma de bancos longitudinais (CALLIARI et al., 2003). Neste sentido, as praias do litoral do Paraná possuem declividades variando entre 1° e 5°, contendo uma ou duas barras de espraiamento em média que se estendem por dezenas de metros (ANGULO; LESSA; SOUZA, 2009). No mesmo sentido, com declividade similar e congruente ao encontrado nas praias, a plataforma rasa paranaense apresenta um gradiente de declividade entre 0,1° e 1,5° (VEIGA et al., 2004; LAMOUR, 2007).

A plataforma continental do litoral paranaense é ampla, com largura média de 130 km. A morfologia da plataforma é controlada pela herança geológica, por estar situada em zona de margem continental passiva. Outro fator contribuinte para a larga extensão da plataforma continental no Sul do Brasil é a presença de derrames basálticos submersos associado ao Arco de Ponta Grossa (CHANG et al., 1992). Sua composição sedimentar é predominantemente de areias finas, com média granulométrica variando do silte grosso até a areia grossa (CHANG et al., 1992). Segundo VEIGA et al (2004), a plataforma continental interna rasa entre o município de Matinhos e Pontal do Paraná apresenta cinco padrões distintos de sedimentos: i) as areias finas e muito finas do delta de maré vazante associado à desembocadura sul do Complexo Estuarino de Paranaguá, ii) as areias muito finas bimodais, com teores de finos entre 10 e 40 %, localizadas próximas à costa, iii) as areias média e grossa unimodais, iv) as areias finas na faixa dos 10 a 15 m de profundidade, unimodais menos selecionadas que as areias finas do delta de maré vazante e v) as areias finas a muito finas das barras do início da zona de arrebentação. Os autores também identificaram que nas amostras classificadas como areias finas e muito finas, os MP representaram de 20 a 40% do total de grãos observados, enquanto que nas areias médias e grossas este percentual caiu para 5%.

4.2 METEOROLOGIA E OCEANOGRAFIA

O clima do litoral paranaense é controlado pelo deslocamento do anticiclone semipermanente do Atlântico Sul e da passagem de massas polares frias nas estações de inverno (LANA *et al.*, 2001). A pluviometria subdivide-se em uma estação típica de chuva entre o final da primavera e do verão, e uma estação seca compreendida entre outono e inverno, usualmente interrompida por um curto e fraco período de chuva no início do inverno (LANA et al., 2001). Segundo VANHONI & MENDONÇA (2008), a região enquadra-se no tipo climático CFa (clima temperado chuvoso e moderadamente quente), úmido em todas as estações e com verão quente, de acordo com a classificação climática de Köppen.

Em relação às médias pluviométricas sazonais do litoral paranaense, foi constatado que o verão apresenta o maior valor de pluviosidade média anual, com aproximadamente 800 mm/ano. Durante o outono a média anual varia entre 500 e 800 mm/ano. O inverno, por sua vez, apresenta o período das menores médias, situando-se em torno de 280 mm/ano. Enquanto que na primavera a chuva distribui-se com maior homogeneidade que nas demais estações, com a média anual variando entre 500 e 600 mm (VANHONI; MENDONÇA, 2008).

A incidência de sistemas frontais na costa sul brasileira é a principal causa de agitação marítima. A evolução e intensidade destes sistemas, por sua vez, estão intimamente relacionadas com a trajetória dos centros de pressão, a ciclogênese e com a proporção de tal fenômeno. No entanto, a formação de sistemas frontais que atuam no litoral paranaense ocorre devido ao encontro das massas polares atuantes na região de diferentes temperaturas e umidades. Com maior ocorrência no inverno, devido à maior incidência da Frente Polar Atlântica nas baixas latitudes (8 a 10°S) (BIGARELLA et al., 1978).

A região sul brasileira apresenta variações sazonais nas massas de ar atuantes, gerando estações distintas. Durante os meses de verão ocorre a predominância da Massa Equatorial Continental, proveniente da zona de baixa pressão próxima a faixa equatorial. Essa apresenta altas temperaturas e umidade, de forma que a estação é caracterizada por grande nebulosidade e chuvas abundantes. Em contrapartida, durante os meses de inverno a região é influenciada predominantemente pela Massa Tropical Marítima, caracterizada pela estabilidade climática e baixa pluviosidade, originando uma estação seca (BIGARELLA *et al.*, 1978). Neste sentido, dependendo da trajetória destes centros de pressão, da ciclogênese associada e dos sistemas frontais induzidos pelos mesmos, a agitação marítima causada pelos ventos que fazem parte de tal processo pode incidir ou não na costa sul brasileira (QUADROS, 2000; LAMOUR et al., 2003; QUADROS et al., 2007).

Os ventos dominantes no litoral paranaense que atingem a costa a partir do quadrante S possuem um giro sazonal E-SE-S, sendo que os provenientes do quadrante S são os mais intensos, com velocidades médias de 2,7 $m.s^{-1}$, atuando o ano todo. Esses ventos atuam com maior frequência entre os meses de junho a agosto, devido a maior ação das frentes frias, enquanto que nos demais meses do ano, predominam os ventos de direção E e SE (OLIVEIRA; DOURADO, 2010). Por conseguinte, a direção de propagação de ondas na plataforma interna é S-SE, sendo dominada por ondas de alta frequência formadas por ventos próximos à costa,

gerados pelas frontogêneses e ciclones subtropicais em fase inicial (NEMES, 2011; NEMES; MARONE, 2013).

Ondas de superfície geradas por ventos são a principal fonte de entrada de energia na zona litorânea. Essas são responsáveis pela erosão da costa e formação de feições deposicionais nas praias (KOMAR, 1976), podendo atuar de duas maneiras ao incidirem no ambiente praial: retirando sedimentos da face praial ou depositando (BIGARELLA et al., 1978). A forma de atuação das ondas sobre o ambiente praial dependem muito da direção e intensidade com que a ondas chegam na costa e também da sua variabilidade sazonal. Assim, ARAÚJO et al. (2003), observaram que durante os meses de verão e primavera, as ondas possuem alturas semelhantes, com valor próximo a 1,25 m. Durante o período correspondente ao outono, a altura foi aproximada de 1,5 m. Para os meses de inverno a distribuição é plana, com os valores elevados de ocorrência variando entre 1,25 e 2,5 m.

Segundo NOERNBERG et al. (2008), aproximadamente 90% das ondas incidentes na costa paranaense são provenientes do quadrante E e S-SE, sendo as demais provenientes de E e NE. Estas apresentam altura máxima entre 2,3 e 3,9 m e período médio entre 11,9 e 16,8 s. O predomínio das ondas incidentes provenientes do quadrante S-SE gera uma corrente de deriva litorânea voltada para o quadrante N (VEIGA, 2005; ANGULO, 1992).

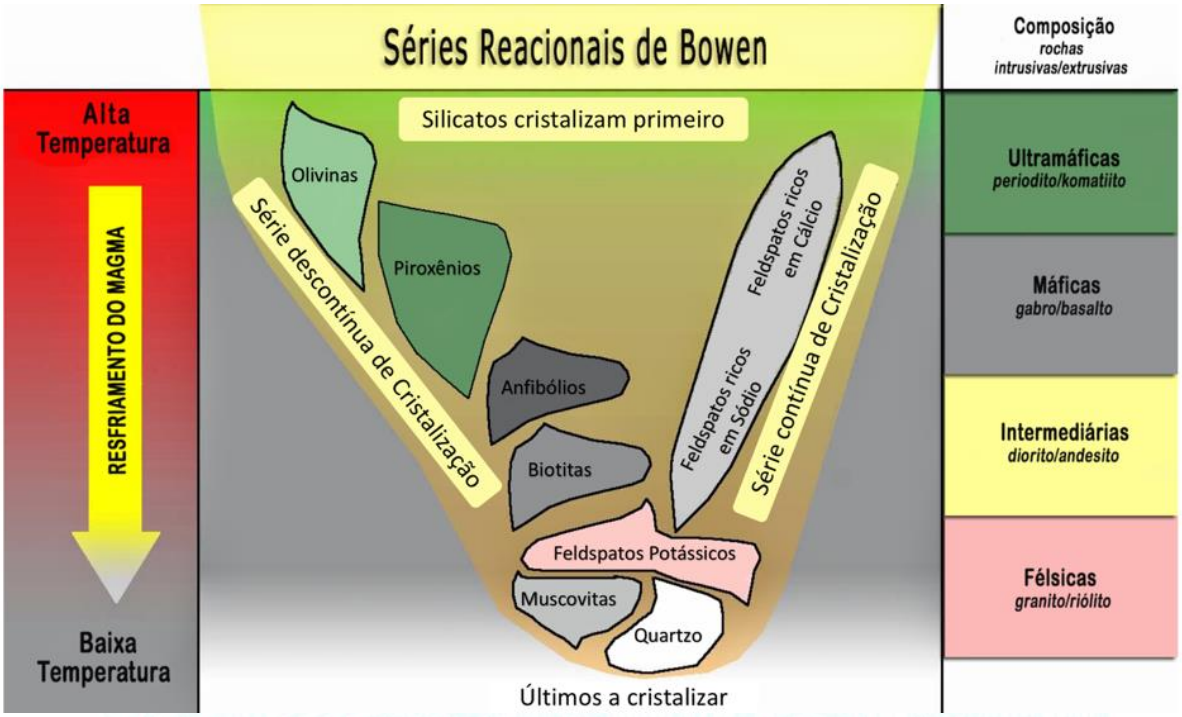
Nas estações úmidas (verão/primavera), a média de correntes residuais tem direção preferencial E e SE, enquanto nas estações secas (outono/inverno), as correntes de deriva alteram-se, sendo a orientação preferencial no quadrante NE (ANGULO, 1992). A capacidade destas correntes de transportar sedimentos está vinculada a momentos de elevada energia de ondas, geralmente relacionada à entrada de sistemas frontais provenientes do quadrante S (NOERNBERG, 2001; QUADROS et al., 2007; NEMES, 2011; NEMES; MARONE, 2013). Já em consideração a influência das correntes de marés na região, MARONE et al (1997), afirmam que a região apresenta um regime de maré semidiurno (duas preamares e duas baixamares em um período de 24 horas) com amplitudes em períodos de sizígia menores que 2 m (em média 1,5 m), o que representa um regime de micro-maré.

5 REFERENCIAL TEÓRICO

5.1 MINERALOGIA DOS MINERAIS PESADOS

Dentro do ciclo sedimentar das rochas, o processo de formação de minerais ocorre por meio da cristalização fracionada, ou seja, conforme o magma vai se resfriando, minerais diferentes se cristalizam em temperaturas distintas, numa sequência definida que depende da pressão local e da composição geoquímica do material fundido. Com a diminuição gradual da temperatura a fração cristalina separa-se do restante líquido, por diferenças de densidade ou efeito da pressão, deixando um magma residual com composição química diferente do original, o que possibilita a cristalização de novos minerais. Desta forma, de acordo com a séries reacionais de Bowen (FIGURA 4), a medida que a temperatura do magma diminui, os minerais cristalizam em uma sequência ordenada formando minerais que apresentam elevado ponto de fusão (olivinas, piroxênios, hornblendas, biotitas), simultaneamente a formação dos primeiros minerais, ocorre a cristalização dos plagioclásios com um teor de cálcio cada vez menor, o que consequentemente eleva a concentração dos teores de sódio na composição do líquido residual, até a formação de minerais com maiores teores de sódio e ponto de fusão mais baixos (muscovitas, K-feldspatos, quartzos) e demais minerais de alta estabilidade (rutilos, zircões e turmalinas) (PRESS et al., 2006).

FIGURA 4- SÉRIES REACIONAIS DE BOWEN



Fonte: Modificado de <https://www.geologyin.com/2014/09/how-does-bowens-reaction-series-relate.html>

Neste sentido, a diferenciação magmática reflete diretamente na estabilidade química dos minerais. Visto que, os minerais que se formam em altas temperaturas são menos estáveis quando em superfície devido a diferença das condições físicas entre a superfície do planeta e o da região de formação. Consequentemente, estes minerais são menos resistentes a processos de intemperismo, transporte e abrasão, podendo muitas vezes, apresentarem concentrações sedimentares representativas em regiões próximas à área fonte (NASCIMENTO JR, 2006). Entretanto, os minerais mostram dois comportamentos distintos devido a sua estabilidade química na superfície terrestre. Existem aqueles que, apesar de ocorrerem em pequenas quantidades na rocha fonte, tendem a se concentrar relativamente no ambiente deposicional devido a sua alta estabilidade (zircão, turmalina, rutilo) (TABELA 1). E também os minerais mais instáveis (anfibólios, piroxênios e olivinas), que se encontram mais abundantes nas proximidades da fonte, e passam a ser desgastados ao longo do transporte sedimentar (ADDAD, 2010).

TABELA 1- ORDEM DE ESTABILIDADE DOS MP

ESTABILIDADE	MINERAIS
Muito Instáveis	Olivina
Instáveis	Hornblenda
	Actinolita
	Augita
	Diopsídio
	Hiperstênio
	Andalusita
Moderadamente Estáveis	Epidoto
	Cianita
	Granada
	Silimanita
	Esfena
	Zoisita
Estáveis	Apatita
	Granada
	Estaurolita
	Monazita
Ultraestáveis	Rutilo
	Zircão
	Turmalina
	Anátese

Fonte: Baseado em PETTIJOHN et al. (1973)

Segundo Suguio (1973) os MP, são minerais acessórios de rochas ígneas, metamórficas e sedimentares que possuem pesos específicos relativamente superiores (> 2,89 $g.cm^{-3}$) aos minerais mais comuns nos sedimentos (minerais leves), isto é, quartzo e feldspatos (MANGE; MAURER, 1992). Isto faz com que as assembleias sedimentares que compõem o ambiente praial possam ser divididas de acordo com as diferenças de densidades dos grãos. Embora mais de 100 diferentes variedades de MP podem ser encontradas nas rochas e consequentemente nos ambientes deposicionais, as mais comumente diagnosticadas são em torno de 20 e não excedem 0,1 a 0,5% das frações terrígenas (SUGUIO, 2007). Não obstante a sua baixa frequência, os MP são de grande importância nos estudos sedimentológicos.

As frações de MP nos sedimentos é comumente composta de várias espécies minerais, que podem indicar sua possível proveniência. Minerais como epidoto, estaurolita, cianita, granada e andaluzita (TABELA 2, ver anexo) são predominantemente de rochas metamórficas; ilmenita, magnetita, zircão, rutilo, turmalina e hornblenda são minerais que se formam tanto

em rochas metamórficas como em ígneas; augita e hiperstênio aparecem principalmente em rochas ígneas básicas (SOUZA, 2007). Segundo SILVA (1978), zircão, turmalina e rutilo são minerais que devido a maior resistência à abrasão e aos ataques químicos são comumente encontrados nos depósitos detríticos sedimentares, ocorrendo de modo geral nas rochas do escudo, incluindo os pegmatitos, diques e veios, que formam basicamente a fonte primária desses minerais.

O zircão e a turmalina, assim como o rutilo e a anátese compõem o que chamamos de minerais ultraestáveis (TABELA 1). Como os dois primeiros são muito duros e inertes (até mais que o próprio quartzo), podem sobreviver a vários ciclos de retrabalhamentos de sedimentos. Desta forma, é esperado que em sedimentos antigos, o zircão e a turmalina passem a ser praticamente os únicos MP que podem ser preservados.

A soma das porcentagens de zircão/turmalina/rutilo é conhecida como índice ZTR, e indica o grau de maturidade mineralógica de arenitos e areias (HUBERT, 1962). Este índice é expresso em porcentagem relativa, correspondente à soma das frequências numéricas desses minerais em relação aos MP, transparentes não-micáceos (GIANNINI et al., 2004; NASCIMENTO JR, 2006; SUGUIO, 2007).

De um modo geral, a abundância de zircão e turmalina em uma assembleia de MP pode sugerir uma abrasão prolongada e/ou intenso intemperismo químico ou retrabalhamento sucessivo de sedimentos antigos (SUGUIO, 2007). As rochas sedimentares paleozóicas das bacias do Paraná e do Parnaíba, são geralmente muito pobres em variedades de MP apresentando, por outro lado, uma grande predominância de zircão e turmalina (SUGUIO; COIMBRA; GUARDADO, 1974; SUGUIO; FÚLFARO, 1977). Nesses casos, é provável também que parte dos MP menos estáveis tenha sido eliminada por ataque químico dos sedimentos do Paleozóico por processos de dissolução (SUGUIO, 2007). Segundo ainda o mesmo autor, a única característica de zircão aplicável na determinação do tipo de rocha matriz parece ser a forma do mineral. Pois, zircões de rochas magmáticas são quase sempre euédricos, enquanto, zircões de rochas parametamórficas ou sedimentares são frequentemente bem arredondados, em virtude de sua origem sedimentar primitiva.

5.1.2 GRANULOMETRIA E EFEITOS HIDRÁULICOS

A variação nas concentrações dos MP em um depósito sedimentar é causada principalmente pelos efeitos hidráulicos (ANDEL, 1950), predominantemente principalmente no transporte longitudinal, resultando em uma pré-seleção das partículas em função de

tamanho, forma, densidades e comportamento hidráulicos similares (MANGE; MAURER, 1992; ADDAD, 2010). Os MP comuns variam de pesos específicos entre 3 e 5 $g.cm^{-3}$. Em virtude disso, os grãos de quartzo associados (aproximadamente 2,60 $g.cm^{-3}$) durante o transporte sedimentar, possuem diâmetros maiores que os dos MP. Esta relação de associação de fragmentos de diferentes diâmetros em decorrência de seus pesos específicos é conhecida como razão hidráulica (RITTENHOUSE, 1943), e varia de acordo com as espécies mineralógicas envolvidas. Este fator é afetado, principalmente, pela forma e pelo tamanho original dos grãos minerais na rocha-matriz e pela natureza dos meios de transporte e deposição (SUGUIO, 2007).

O conceito de equivalência hidráulica, pressupõe que minerais menores e mais densos são depositados junto a minerais maiores e menos densos. Dessa forma, os MP, por conta de sua densidade maior, possuem equivalência hidráulica diferente dos leves (quartzos e feldspatos) e, portanto, distribuição granulométrica distinta, com concentração preferencial nas frações mais finas. O mesmo raciocínio se aplica a associações de MP de diferentes densidades específicas (RUBEY, 1933). Entretanto não só o tamanho e a densidade do grão influenciam na sua velocidade de deposição: a forma do grão também possui papel importante. Minerais placóides e prismáticos são mais facilmente transportados em suspensão que minerais equidimensionais, de tal modo que tendem a equivaler-se hidraulicamente a minerais menos densos de formas mais homogêneas (GUEDES, 2009).

Além dos efeitos hidraúlicos durante o transporte sedimentar, o conteúdo de MP de um sedimento depende de outras variáveis complexas como as diferenças de estabilidades químicas e físicas (dureza do mineral) e da área fonte. Portanto, normalmente no estudo de MP deve-se levar em consideração que a área fonte não é única e sim composta por uma associação de vários tipos de rochas. Além disso, os MP, que normalmente constituem os minerais acessórios das rochas cristalinas, são submetidos ao intemperismo na área-fonte e durante o transporte para o sítio deposicional. Dependendo dos minerais envolvidos e das estabilidades, podem ser originadas grandes diferenças entre as frequências com que ocorrem nas rochas matrizes e nos sedimentos. Tanto que minerais de baixa dureza e consequentemente, baixa resistência a abrasão, podem apresentar drástico empobrecimento durante o transporte sedimentar e, em contraposição, espera-se o enriquecimento relativo acentuado em MP duros e sem clivagem (SUGUIO, 2007).

5.1.3 ÍNDICES MINERALÓGICOS

Tanto os processos atuantes como as variações na contribuição de diferentes áreas fonte imprimem assinaturas na assembleia de MP (SUGUIO, 2007). Como forma de melhor avaliar a influência de cada um dos fatores controladores da assinatura mineralógica, MORTON; HALLWORTH (1994) propuseram a comparação de pares de minerais com características específicas semelhantes, quanto a fonte, equivalência hidráulica e/ou persistência química. A proposta faz com que apenas um destes fatores controle a variação de cada par (A e B) de minerais. Com isso, seria possível inferir a efetividade deste fator com base na variação do par mineralógico no registro sedimentar. Para isso, os índices propostos pelos autores são genericamente representados pela fórmula:

$$ABi=100x(A/(A+B)).$$

Para avaliar a influência do transporte na assembleia de MP, recomenda-se trabalhar com minerais de estabilidade química semelhante, mas de equivalência hidráulica distinta (MORTON; HALLWORTH, 1994), assim como o zircão e a turmalina que compõem o Índice Zircão/ Turmalina (iTZ). Como regra geral, a concentração de minerais menos densos tende a aumentar com o incremento da distância de transporte. Cabe ressalvar, porém, que variações na área fonte ao longo da área de amostragem podem mascarar o índice de controle hidráulico. Desse modo, um bom conhecimento e controle das possíveis variações de área fonte faz-se necessário no estudo da seleção hidráulica de MP (SUGUIO, 2007; GUEDES, 2009).

Em pesquisas de maturidade sedimentar, é preciso ter bastante cuidado com a amostragem, já que diferentes fácies podem concentrar diferentes assembleias de MP e, consequentemente, modificar a proporção de minerais estáveis e instáveis. Deve- se tomar cuidado também com os horizontes de solo: a zona lixiviada, como já observado por GIANNINI et al. (1997) e LANG (2000), modifica bastante a quantidade de minerais instáveis.

Neste sentido, o principal índice utilizado em estudo de maturidade é o ZTR (zircão, turmalina e rutilo), definido por HUBERT (1962). É importante destacar que o índice ZTR foi proposto pelo autor como um índice de maturidade química de rochas sedimentares, onde os processos pós-deposicionais, como a dissolução intraestratal, não seriam de grande

importância. O aumento do índice ZTR, entretanto, tem sido utilizado como indicador da ação da dissolução intraestratal e, conseqüentemente, de idade relativa, em depósitos cenozóicos (DE MIO; GIANNINI, 1997; GIANNINI et al., 1997; LESSA et al., 2000; ROSSETTI et al., 2005). Entretanto, o índice ZTR combina minerais com densidades e comportamentos hidráulicos distintos, e suas variações podem resultar de padrões de transporte e não necessariamente de diferenças de maturidade sedimentar.

Diversos índices, além do ZTR, podem ser obtidos com o intuito de estimar a idade relativa de sedimentos. Para tal estudo, são necessárias duas premissas: mesma área fonte e mesmo tipo de processo e fácies deposicional. Mudanças na área fonte e/ou na seleção hidráulica podem alterar de forma significativa a assembléia de MP e comprometer as interpretações de maturidade e idade relativa. É possível analisar a soma dos grupos definidos por PETTIJOHN; POTTER; SIEVER (1987), como ultraestáves e estáveis (VER TABELA 1), ou estudar pares de minerais, da mesma forma que em estudos de proveniência. Nesse caso, seria necessário agrupar minerais com densidade e hábitos semelhantes, mas diferentes resistências à dissolução intraestratal, como por exemplo hornblenda e turmalina. Observando essas características, é possível criar mais índices de acordo com a disponibilidade de tipos de MP em cada área de estudo (GUEDES, 2009).

5.2 O AMBIENTE PRAIAL

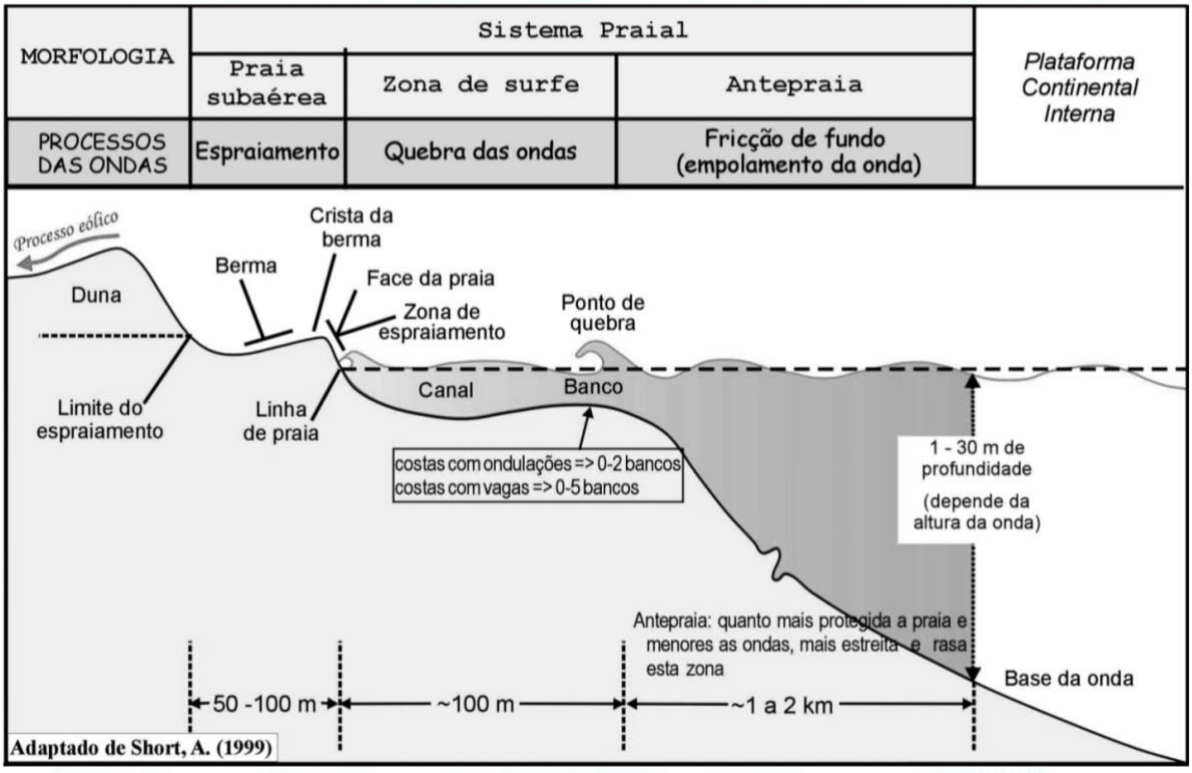
As praias são ambientes de transição entre o continente e o oceano, caracterizada por um acúmulo de sedimentos inconsolidados, não coesivos, que geralmente são arenosos. O ambiente praial tem seus limites marcados pela linha de costa e a profundidade do inicio da zona de arrebentação, onde as ondas iniciam as suas interações físicas com o fundo (HOEFEL, 1998). Este é um ambiente altamente dinâmico pois está sob a influência de forçantes metereológicas, astronômicas e oceanográficas que são responsáveis por ressuspender e transportar os sedimentos, causando alterações em sua morfologia.

Os limites do sistema praial que serão usados como preceitos básicos para este estudo, foram propostos por Short (1999). Sendo assim o ambiente praial pode ser distinguido em zonas (FIGURA 5):

- *Antepraia*: porção que se estende, em direção à terra, a partir do ponto em que as ondas começam a interagir com o fundo e os processos de empilhamento de onda passam a dominar, até o ponto de primeira quebra das ondas ou início da zona de arrebentação;

- *Zona de arrebentação:* Porção do perfil praial onde ocorre o processo de desestabilização e quebra das ondas incidentes. Este processo ocorre quando as ondas se aproximam de águas mais rasas, onde a profundidade assemelha-se a altura da onda.
- *Zona de surf:* Zona onde as ondas incidentes dissipam sua energia e que se estende até a zona de espraiamento, suas características dependem do modo em que ocorre esta dissipação;
- *Zona de espraiamento:* região da praia onde ocorrem os processos de fluxo e refluxo das ondas, sendo que sua análoga morfológica é a face praial.
- *Duna frontal:* Zona onde ocorre acúmulo de sedimentos eólicos é a porção mais elevada do perfil e determina o limite continental da zona praial.

FIGURA 5- CARACTERIZAÇÃO DAS SUBDIVISÕES DO AMBIENTE PRAIAL, ENFATIZANDO A MORFOLOGIA DE CADA ZONA PROPOSTA POR SHORT (1999).



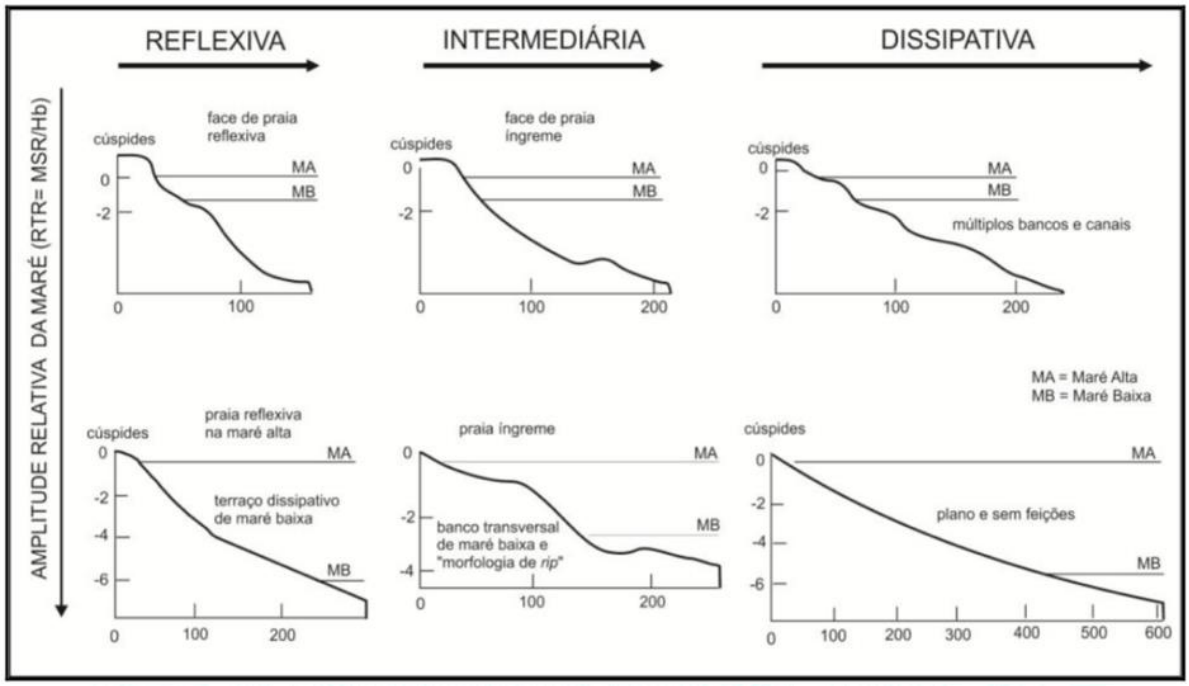
Fonte: Toldo Jr. (2010).

As praias estão entre os sistemas mais dinâmicos da superfície terrestre, podendo ocorrer em todas as latitudes, climas, amplitudes de marés e tipos de costas, sendo influenciadas e modificadas por processos físicos como ventos, ondas e marés (SHORT, 1999). Sua

classificação geralmente está relacionada com os processos físicos aos quais estão submetidas, podendo ser classificadas em dissipativas, reflexivas e intermediárias (FIGURA 6).

No estado dissipativo a zona de surf é larga, apresenta baixo gradiente topográfico e elevado estoque de areia na porção subaquosa da praia. Condições dissipativas são favorecidas pela ocorrência de ondas altas ou pela presença de areias de granulometria fina. Geralmente, em tais condições, as ondas arrebentam longe da face praial, decaindo progressivamente em altura à medida que dissipam sua energia através da arrebentação. Em função da baixa declividade da face da praia, o espraiamento é reduzido (CALLIARI et al, 2003).

FIGURA 6- CLASSIFICAÇÃO DOS ESTADOS MORFODINÂMICOS PRAIAIS, COM DELIMITAÇÃO DO ALCANCE DE MARÉ ALTA (MA) E BAIXA (MB).



Fonte: SOUZA et al. (2005).

O estado refletivo, é caracterizado por elevados gradientes de praia e fundo marinho adjacente, o que reduz sensivelmente a largura da zona de surf. Tende a prevalecer em praias fortemente compartimentadas, em zonas protegidas entre promontórios, na presença de areias grossas. A reserva de areia se encontra, principalmente, na porção subaérea da praia, com pouca areia depositada na porção submarina. A energia das ondas incidentes pode ser aprisionada por refração/reflexão, formando ondas de borda, de longo período, as quais podem gerar cúspides praiais e correntes de retorno (SOUZA, 2012). Ao contrário das praias dissipativas, o espraiamento é máximo (CALLIARI et al., 2003). Enquanto que as Praias intermediárias

apresentam propriedades de ambos extremos, dissipativo e refletivo, ora tendendo para um ou outro extremo (SOUZA, 2012).

5.3 CELULAS DE DERIVA LONGITUDINAL

A morfodinâmica praial reflete a interação entre os tipos sedimentares e forçantes físicas ao longo do tempo e espaço (BIRD, 2008). A direção, velocidade e volume do transporte sedimentar paralelo à praia, tanto na zona de surf como na face da praia, são decorrentes da deriva longitudinal litorânea, e dependem da obliquidade de incidência das ondas, isto é, o ângulo formado entre a crista das ondas, na arrebentação, e a linha de praia. Enquanto na zona de surf o transporte se dá pela corrente longitudinal, e na face da praia o transporte ocorre devido aos processos da zona de espraiamento (MUEHE, 1996).

As correntes longitudinais à costa são formadas na zona de surf estendendo-se pela plataforma interna e são responsáveis pelo transporte sedimentar em longas distâncias pelas costas arenosas, processo esse chamado deriva litorânea (WILLWOCK, 1987). A velocidade e o potencial de transporte destas correntes variam em função de alguns parâmetros como: altura, período, ângulo de incidência da onda, forma da linha de costa e declividade da face praial (TOLDO JR. et al., 1993). Neste sentido, muitos autores (MCCAVE, 1978; KRUMBEIN & PETTIJOHN, 1938; PETTIJOHN, 1957; TOLDO JR. et al., 1993; GIANNINI et al., 2004; MACHADO et al., 2012) estudaram o potencial de transporte e deposição de partículas em função da deriva litorânea.

MCCAVE (1978), mostrou a importância das variações dos parâmetros granulométricos (diâmetro médio, grau de seleção e assimetria) ao longo do transporte sedimentar. Sendo assim, a análise desses parâmetros é uma ferramenta essencial para a compreensão da morfodinâmica frente aos eventuais processos e forçantes físicas. No entanto, MCLAREN (1981) afirmou que somente a distribuição do tamanho dos grãos sedimentares não pode ser utilizada para determinar com segurança o ambiente de deposição.

Neste sentido, alguns autores (KRUMBEIN & PETTIJOHN, 1938; PETTIJOHN, 1957; GIANNINI et al., 2004; MACHADO et al., 2012) destacaram a importância do uso da mineralogia na interpretação do rumo de transporte sedimentar, particularmente os MP. Sendo assim, para estudar o transporte sedimentar, estes autores utilizaram as concentrações e morfometria de MP como ferramenta de identificação da proveniência e dispersão das partículas. Assim, os MP vem sendo utilizados para compreender os processos de transporte e selecionamento de grãos, seja em ambientes atuais ou passados.

Além deles, KOMAR et al. (1989), KOMAR (2007) e LI; KOMAR (1992a, 1992b) consolidaram o conhecimento a respeito das concentrações de MP em função do transporte sedimentar, demonstrando que correntes induzidas por ondas tanto em trocas longitudinais como transversais concentram MP de granulometria mais fina, removendo minerais leves e de granulometria mais grossa. Estes autores apontaram que o transporte sedimentar além de ser responsável por selecionar os MP de acordo com suas características hidráulicas, também atuaria na forma dos grãos, devido ao processo de abrasão que os minerais são submetidos ao longo do transporte, fazendo com que apresentem uma morfometria mais suave, ou seja, mais arredondada.

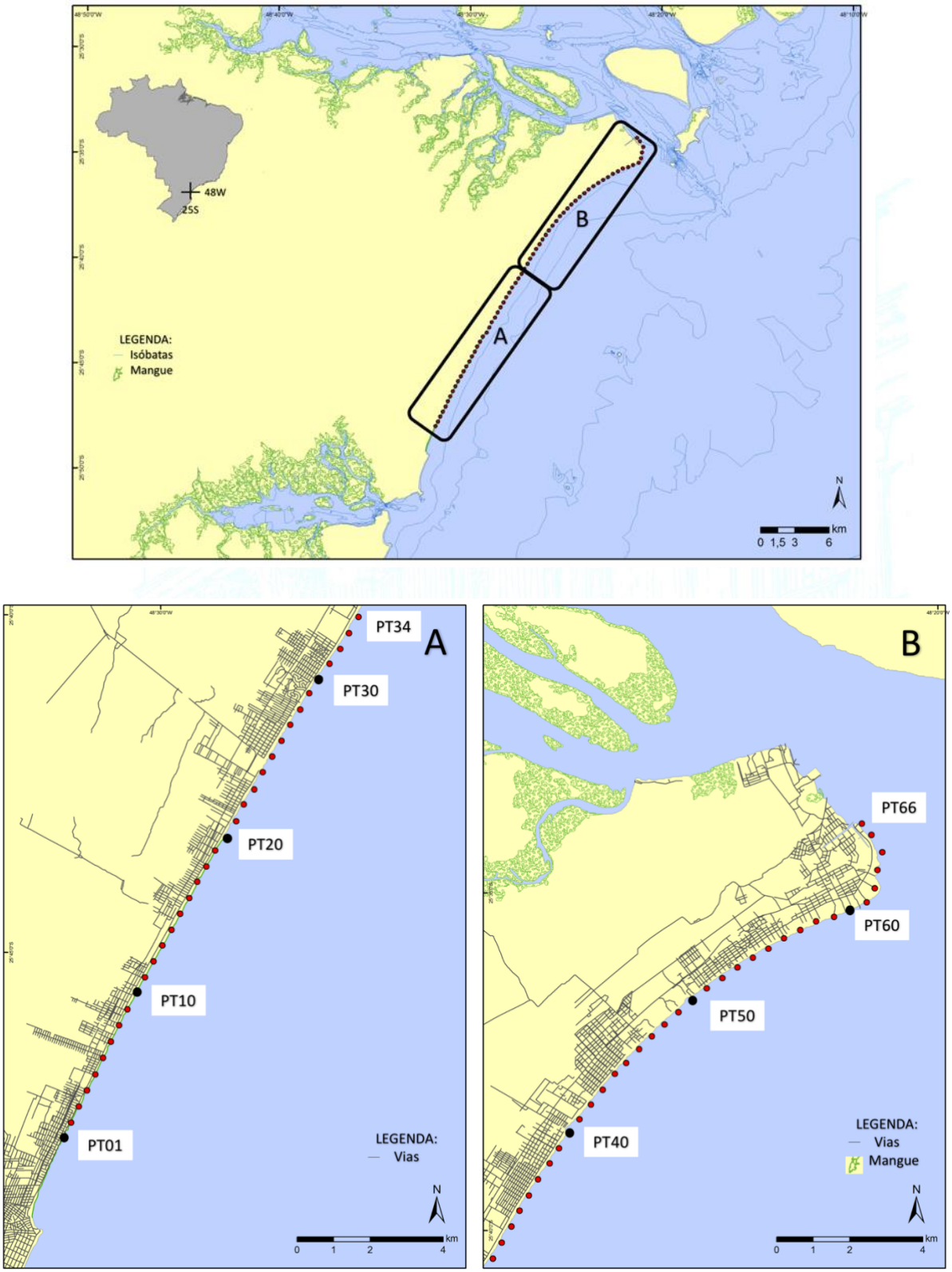
6 MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 AMOSTRAGEM

Para esse estudo foram utilizadas amostras preexistentes de sedimentos arenosos superficiais (≈10 cm de profundidade) em 66 pontos equidistantes em 500 metros na porção de espraiamento do perfil praial, amostrados em uma única campanha de campo no mês de agosto de 2011. Os pontos amostrados foram identificados com numeração crescente de Sul para Norte, começando no balneário Riveira em Matinhos e terminando em Pontal do Sul em Pontal do Paraná (FIGURA 7). A definição do ponto amostral de origem foi determinada em razão dessa área estar relativamente distante de duas possíveis fontes de MP, sendo estas os enrocamentos, os rios Matinhos e Caiobá (aproximadamente 2 e 5 km de distância do ponto inicial, respectivamente) e pontais rochosos (aproximadamente 3 e 6 km). Desta forma, a malha de pontos foi escolhida para evitar uma possível influência referente a estas áreas fontes de minerais e conseguir avaliar efetivamente a distribuição mineralógica em função do transporte longitudinal.

A malha amostral foi previamente escolhida por ALVES (2011), para caracterizar as células de deriva longitudinal litorânea em função da variação dos parâmetros estatísticos granulométricos. Em seu estudo, esta autora adotou o método descrito por GAO; COLLINS (1992) que define um espaçamento médio de 500 m entre pontos amostrais. Assim, será utilizado a mesma amostragem, porém avaliando o potencial de tendência de transporte sedimentar perpendicular e longitudinalmente à costa, pela análise da variação granulométrica e mineralógica dos MP.

FIGURA 7- MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS AMOSTRAIS EM DOIS SETORES. A) PONTOS AMOSTRAIS DE 1-33 SEGUINDO EM DIREÇÃO NE. B) MALHA DE PONTOS DE 33-66.



6.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA E MORFOMÉTRICA

No laboratório de sedimentologia, as amostras passaram por ataque químico com ácido clorídrico (HCl) diluído a 10% para a retirada de carbonatos totais. Em seguida, foram homogeneizadas e destinadas à análise granulométrica por difratometria laser no granulômetro *Bluewave* (*MICROTRAC*). Concomitantemente a essa análise, foi realizada a granulometria por peneiramento, onde as amostras foram homogeneizadas e quarteadas manualmente para evitar que houvesse qualquer tipo de selecionamento das frações durante a obtenção de sub-amostras dos sedimentos. Em seguida, as amostras foram secas em estufa e então pesadas 100 g de material que foi utilizado nas etapas seguintes do processo.

Após a pesagem, o material foi elutriado sob fluxo constante, até total retirada dos finos em suspensão. Em seguida, o material elutriado foi filtrado e seco em estufa por um período de 24 h. Assim, a amostra seguiu para o processo de peneiramento e separada em frações de acordo com a classificação de WENTWORTH (1922). A obtenção dos parâmetros estatísticos granulométricos foi estabelecida pelo método de FOLK; WARD (1957), onde são considerados três pontos da curva de frequência acumulada para a definição do diâmetro médio, grau de seleção, assimetria e curtose das partículas.

A determinação do teor de carbonatos contidos nas amostras foi efetuada pelo ataque químico com HCl diluído em 10% da sua concentração original, seguindo o método de GROSS (1971). Posteriormente, foram comparados os pesos inicial e final da amostra, sendo assim possível a determinação de sua diferença, o que possibilitou o cálculo de teor de carbonatos.

Além destas, foi realizada a análise morfométrica das partículas (média de 2.000 a 2.500 partículas imageadas) de cada amostra pelo hardware *SIA* (*System of Image Analysis*) acoplado ao granulômetro, com a finalidade de avaliar a eficiência do transporte sedimentar ao longo do perfil amostral, pela análise do grau de arredondamento e esfericidade dos grãos. Desse modo, o número de partículas imageadas para o estudo seguiu o pressuposto de SUGUIO (1973), onde o autor afirma que 1 g de areia fina bem selecionada contempla aproximadamente 1.200 partículas. Logo, tendo como base que a área de estudo apresenta uma granulometria média de areias finas, bem selecionadas (ANGULO; LESSA; SOUZA, 2009), e que são necessários de 2 a 3 g de material para a análise no granulômetro, pode-se inferir que o imageamento de até 2.500 partículas conseguirá contemplar a análise de aproximadamente toda a amostra, sem repetição de medições para um mesmo grão.

Posteriormente, a análise da concentração de minerais pesados de diferentes densidades foi correlacionada com as células de deriva longitudinal litorânea. No qual, o grau de

maturidade das partículas (maior grau de esfericidade e arredondamento), expresso em porcentagem, ao longo do perfil amostral foi usado para identificar o sentido do transporte sedimentar, visto que é de se esperar um melhoramento no percentual morfométrico das amostras no mesmo sentido do transporte.

6.3 ANÁLISE MINERALÓGICA

Para esse estudo foram utilizadas amostras que distam 1 km entre si, pois levou-se em consideração que a distância inicial usada para as análises granulométricas não apresentaria grande variação nos dados de mineralogia de MP em função do esforço laboratorial necessário para a análise. Assim, ao final da análise granulométrica por peneiramento foram selecionadas as duas frações imediatamente abaixo da moda da fração arenosa da amostra para a quantificação do teor de MP (GIANNINI, 1993). O método de se reduzir as análises de MP a uma ou duas frações granulométricas, tem a vantagem de produzir uma observação uniforme, reduzindo o efeito de seleção hidráulica (CARVER, 1971).

Por sua alta densidade específica, os MP contidos na fração escolhida foram separados dos demais (minerais leves) através da separação gravimétrica por meio de decantação em Bromofórmio ($CHBr_3$; 2,83 a 2,89 $g.cm^{-3}$) a 20 °C, em capela de exaustão. Desta forma, os grãos de MP tenderam a decantar, enquanto que os minerais leves tenderam a flutuar. Ambas as parcelas foram então acondicionadas em papel filtro para lavagem dos grãos com álcool etílico (C_2H_5OH). Em seguida, as amostras foram secas em estufa para a evaporação total do álcool e foram então pesadas as frações de MP e leves, afim de calcular suas proporções (KRUMBEIN; PETTIJOHN, 1938).

Posterior à pesagem, foi realizado o ataque químico para a retirada de películas carbonáticas dos MP com HCl diluído a 10% e a separação de minerais magnéticos com o uso de um imã de mão envolto em papel, sendo anotado as suas proporções. É importante salientar que esses procedimentos de retirada de fragmentos carbonáticos e magnéticos das amostras devem ser feitos para facilitar a análise ótica dos MP não magnéticos, pois são na sua grande maioria opacos e não permitem a passagem da luz.

Finalmente, para a identificação e contagem em microscópio petrográfico, foram montadas lâminas de MP a partir da imersão dos grãos da fração pesada não magnética em bálsamo do Canadá, sempre tomando cuidado para não sobrepor os grãos e evitar a formação de bolhas nas lâminas. O bálsamo do Canadá foi escolhido nesse estudo por ser um líquido de

baixa birrefringência e, portanto, não interfere na análise óptica dos MP. De modo consequente, o reconhecimento óptico de minerais por petrografia convencional seguiu à recomendação de MANGE; MAURER (1992), observando as características intrínsecas de relevo, brilho, cor, birrefringência, pleocroísmo e hábito de cristalização (TABELA 2) de cada mineral, através de uma análise quali-quantitativa.

O método utilizado para determinar a abundância relativa das assembleias mineralógicas foi o *line-counting*, ou contagem em linha, proposto por GALEHOUSE (1969), o qual consiste na identificação e contagem sistemática dos grãos transparentes não micáceos abaixo de linhas transversais equidistantemente espaçadas na lâmina. Desta forma, seguindo o método apontado por esse autor, foram identificadas cerca de 300 partículas por lâmina para a análise da abundância de cada espécie de mineral que foi expressa em porcentagens, e também para os cálculos dos índices TZ (iTZ, Índice Turmalina-Zircão) e ZTR (iZTR, Índice Zircão-Turmalina- Rutilo) conforme a proposta de MORTON, HALLSWORTH (1994), que foram utilizados como um indicador direto da maturidade mineralógica dos grãos ao longo do transporte sedimentar e na identificação de possíveis proveniências.

O iTZ foi calculado pela fórmula proposta por MORTON, HALLSWORTH (1994):

$$\mathbf{iAB=100x(A/(A+B))}$$

Assim:

$$\mathbf{iTZ=100x(Z/(Z+T))}$$

Este índice foi escolhido para o estudo do transporte sedimentar, por serem minerais semelhantes do ponto de vista da estabilidade química e da proveniência, porém com hábito, densidade e equivalente hidráulico distintos. O iZTR foi calculado pela somatória das porcentagens de zircão, turmalina e rutilo sobre os MP detríticos não micáceos e translúcidos das mesmas amostras onde se aplicou o iTZ.

Assim:

$$\mathbf{iZTR= 100x(\Sigma ZTR/ \Sigma MPtranslúcidos)}$$

Esse índice reflete o grau de maturidade mineralógica dos sedimentos, pois combina minerais resistentes à dissolução química. Dessa forma, um alto índice iZTR está associado a vários ciclos sedimentares. No entanto esses minerais apresentam densidades relativamente distintas, por isso suas variações podem ser resultado do efeito combinado da dissolução pós-deposicional e do transporte sedimentar (NÓBREGA; SAWAKUCHI; ALMEIDA, 2008; CORRÊA et al., 2008; OCHOA et al., 2013).

7 RESULTADOS

7.1 GRANULOMETRIA E MORFOMETRIA

A análise granulométrica por peneiramento, identificou 72,30% das amostras com um diâmetro médio na faixa das areias finas (0,125 – 0,250 mm), porém com algumas amostras de areias muito finas (4,61%; 63 – 0,125 mm) e areias médias (23,07%; 0,250 – 0,500 mm) (GRÁFICO 1). Os sedimentos com maior diâmetro médio (mais grossos) localizam-se no quadrante sul, próximo aos balneários de Flamingos (Ponto 01) e Praia de Leste (Ponto 27). Verifica-se uma gradual redução da granulometria para areias finas na porção central da área de estudo, até a presença de areias muito finas entre os pontos 55 ao 61, que correspondem ao balneário de Pontal do Sul.

No geral, o grau de seleção médio das partículas (GRÁFICO 2) foi classificado entre bem selecionado (35,38%) e moderadamente selecionado (56,9%), com acentuada melhora no grau de seleção nas populações localizadas de Sul para Norte. Os valores de grau de assimetria (GRÁFICO 3) abrangem desde amostras negativas (16,92%) à aproximadamente simétricas (52,30%) e positivas (24,61%). Já a curtose (GRÁFICO 4), foi majoritariamente mesocúrtica (63,07%) com algumas amostras platicúrticas (27,69%). Quanto ao teor de carbonatos nas amostras, foi observado um valor médio de 1,017%, apresentando valor máximo de 9,08% no ponto 01 e mínimo de 0,13% no ponto 40.

GRÁFICO 1- COMPARAÇÃO DO DIÂMETRO MÉDIO PELO MÉTODO DE PENEIRAMENTO E GRANULOMETRIA A LASER AO LONGO DO PERFIL AMOSTRAL DE SUL (S) À NORTE (N). AMF= AREIA MUITO FINA, AF= AREIA FINA, AM= AREIA MÉDIA E AG= AREIA GROSSA

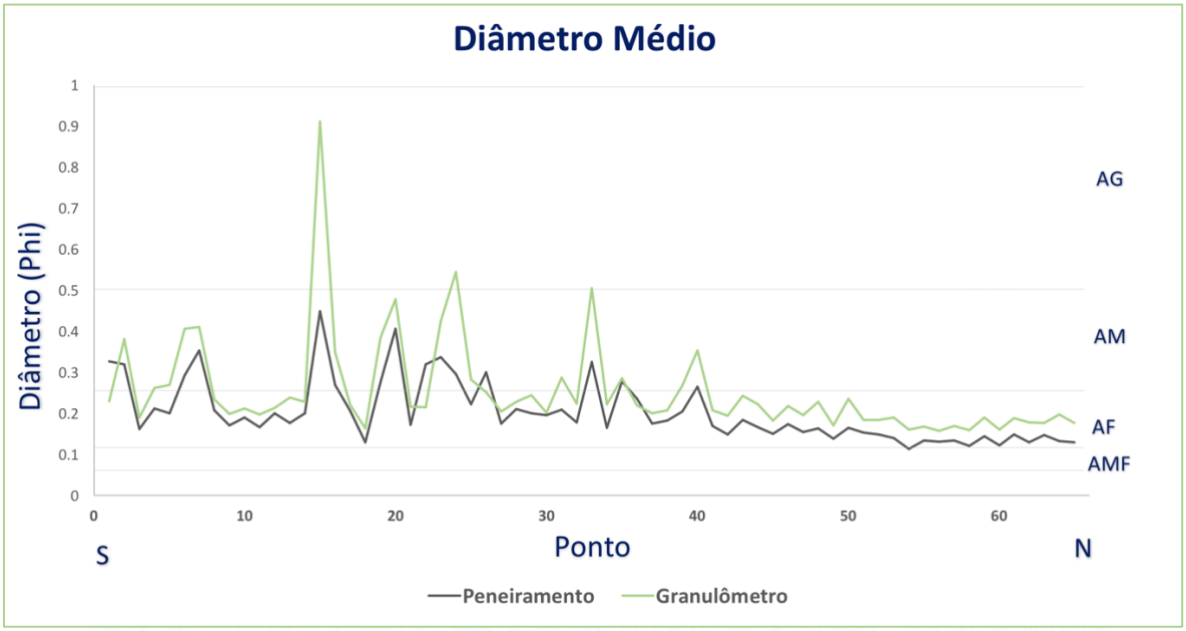
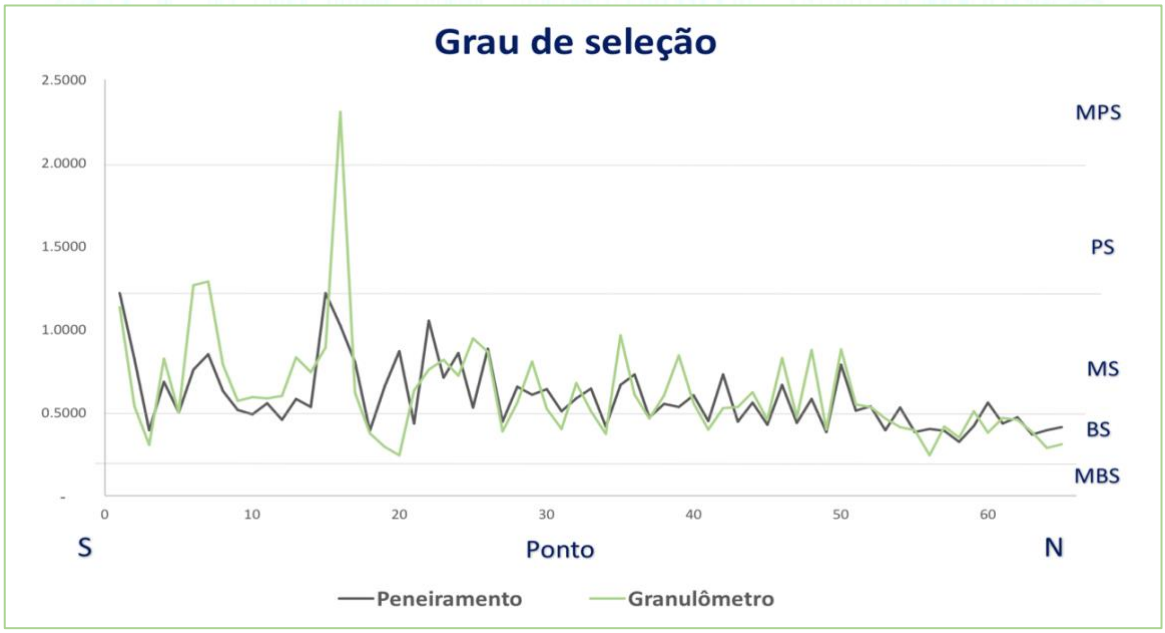


GRÁFICO 2- COMPARAÇÃO DO GRAU DE SELEÇÃO PELO MÉTODO DE PENEIRAMENTO E GRANULOMETRIA A LASER AO LONGO DO PERFIL AMOSTRAL. MBS= MUITO BEM SELECIONADO, BS= BEM SELECIONADO, MS= MODERADAMENTE SELECIONADO, PS= POBREMENTE SELECIONADO E MPS= MUITO POBREMENTE SELECIONADO.



A análise da granulometria a laser, por sua vez, identificou a mesma porcentagem de amostras com diâmetro médio (GRÁFICO 1) na faixa das areias finas (72,30%), com 23,07% das amotras correspondentes a areias médias e 3 amostras de areias grossas (Pontos15, 25 e 34). As amostras caracterizadas como areias grossas pelo granulômetro corresponderam a faixa das areias médias (250 – 500 mm) pelo método do peneiramento. No entanto, assim como no método de peneiramento, também foi identificado um padrão de diminuição do diâmetro médio das amostras de Sul para Norte.

O grau de seleção (GRÁFICO 2) das amostras variou de muito pobremente selecionado (1,51%) até muito bem selecionado (9,23%), com maior concentração em amostras moderadamente selecionadas (56,92). Assim como os dados de peneiramento, também foi identifcada uma tendência de melhoria na seleção das partículas de Sul para Norte. A assimetria (GRÁFICO 3) das amostras variou de muito negativa a muito positiva, com maiores porcentagens de assimetria negativa (43,07%) e aproximadamente simétrica (30,76%), com gradativa diminuição da assimetria ao longo do perfil amostrado (S-N). Por fim, a curtose (GRÁFICO 4), apresentou dados estendendo desde muito leptocúrticas (6,15 %), até muito platicúrticas (3,07%) com valores mais acentuados na faixa das platicúrticas (38,46%) e mesocúrticas (32,30%) sem nenhum padrão identificado.

GRÁFICO 3- COMPARAÇÃO DA ASSIMETRIA PELO MÉTODO DE PENEIRAMENTO E GRANULOMETRIA A LASER AO LONGO DO PERFIL AMOSTRAL. MN= MUITO NEGATIVA, N= NEGATIVA, AS= APROXIMADAMENTE SIMÉTRICA, P= POSITIVA, MP= MUITO POSITIVA.

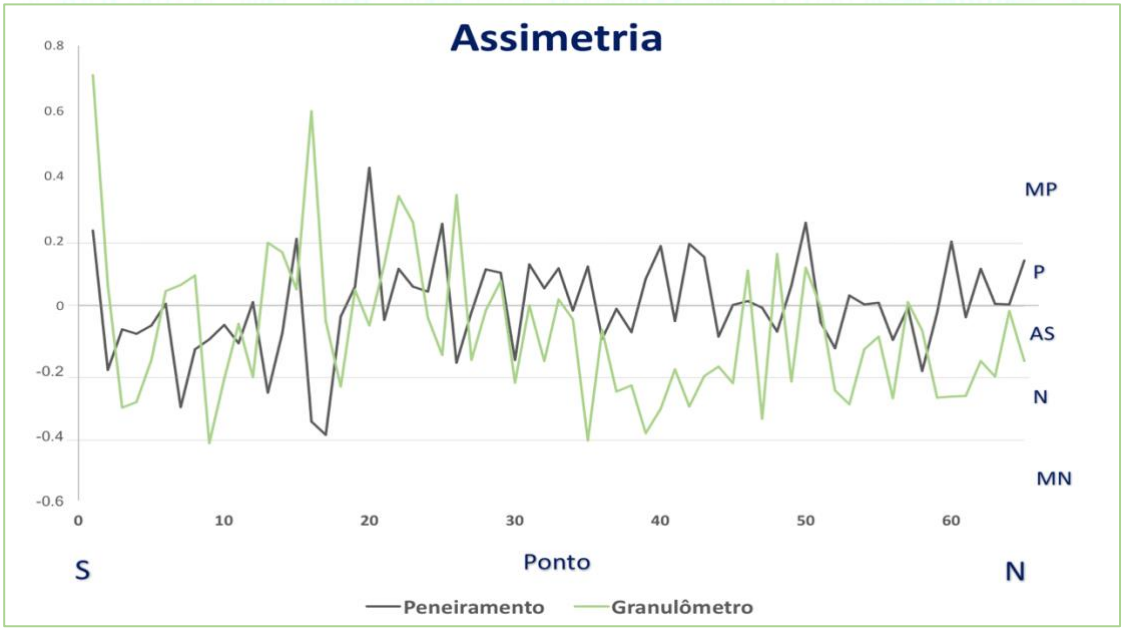
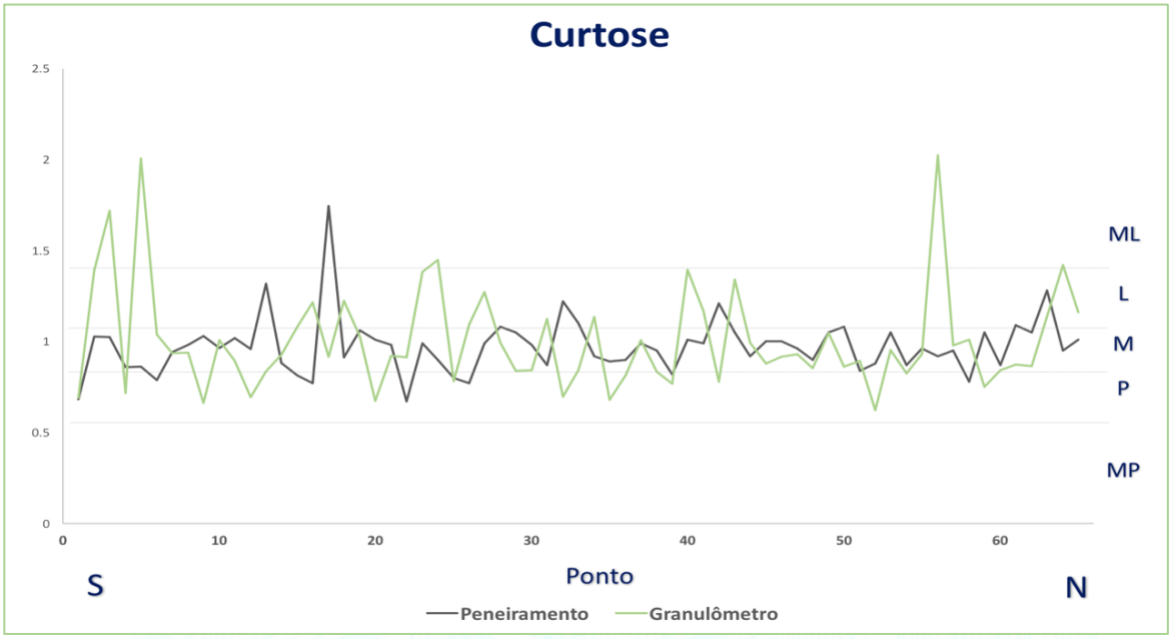


GRÁFICO 4- COMPARAÇÃO DA CURTOSE PELO MÉTODO DE PENEIRAMENTO E GRANULOMETRIA A LASER AO LONGO DO PERFIL AMOSTRAL. MP= MUITO PLATICÚRTICA, P= PLATICÚRTICA, M= MESOCÚRTICA, L= LEPTOCÚRTICA, ML= MUITO LEPTOCÚRTICA.



A morfometria dos sedimentos foi analisada para estimar os graus arredondamento e esfericidade das partículas ao longo do transporte sedimentar. Notam-se valores de esfericidade maiores do que arredondamento nas amostras, não sendo encontrado variações significativas nos dados morfométricos ao longo do perfil amostral ou em função do transporte sedimentar.

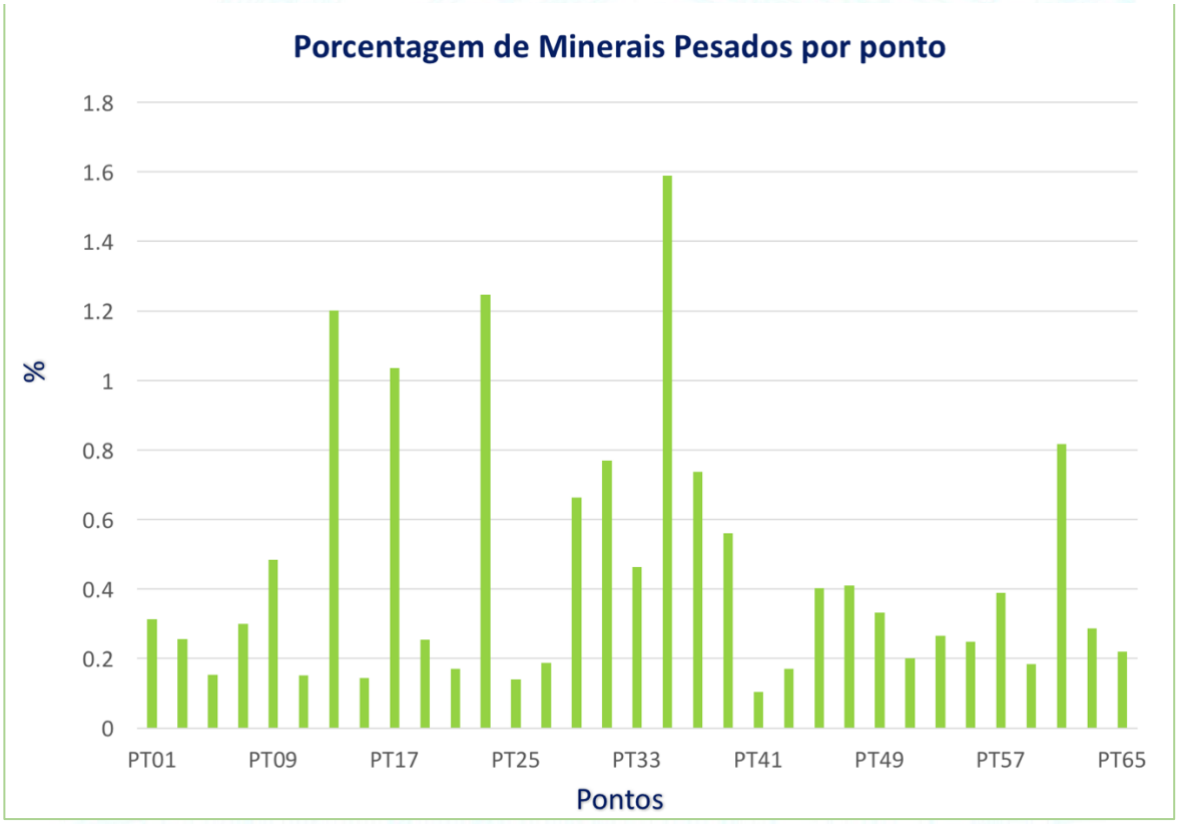
7.2 MINERAIS PESADOS

A porcentagem média de MP nas 33 amostras analisadas foi de 0,45% com valores máximos de 1,59% e valores mínimos de 0,10%. Foram observados 5 concentrações mais elevadas, que correspondem aos balneários de: Solimar (Ponto 13), Ipacaray (Ponto 17), Gaivotas (Ponto 23), Santa Teresinha (Ponto 35) e Pontal do Sul (Ponto 61) (GRÁFICO 5). Em contrapartida, foram identificados 4 pontos com as menores concentrações de MP nos balneários: Flórida (Ponto 5), Solimar (Ponto 11), Praia de Leste (Pontos 25 e 27) e Ipanema (Pontos 41 e 43).

A identificação ótica dos MP contabilizou 9.213 minerais totais, distribuídos em aproximadamente 300 minerais para cada uma das 33 amostras (GRÁFICO 6, FIGURA 8). Com exceção dos pontos 01,15 e 21 que após a separação magnética, não apresentaram a quantidade total de MP translúcidos desejados. Pela análise ótica, foi possível identificar 18

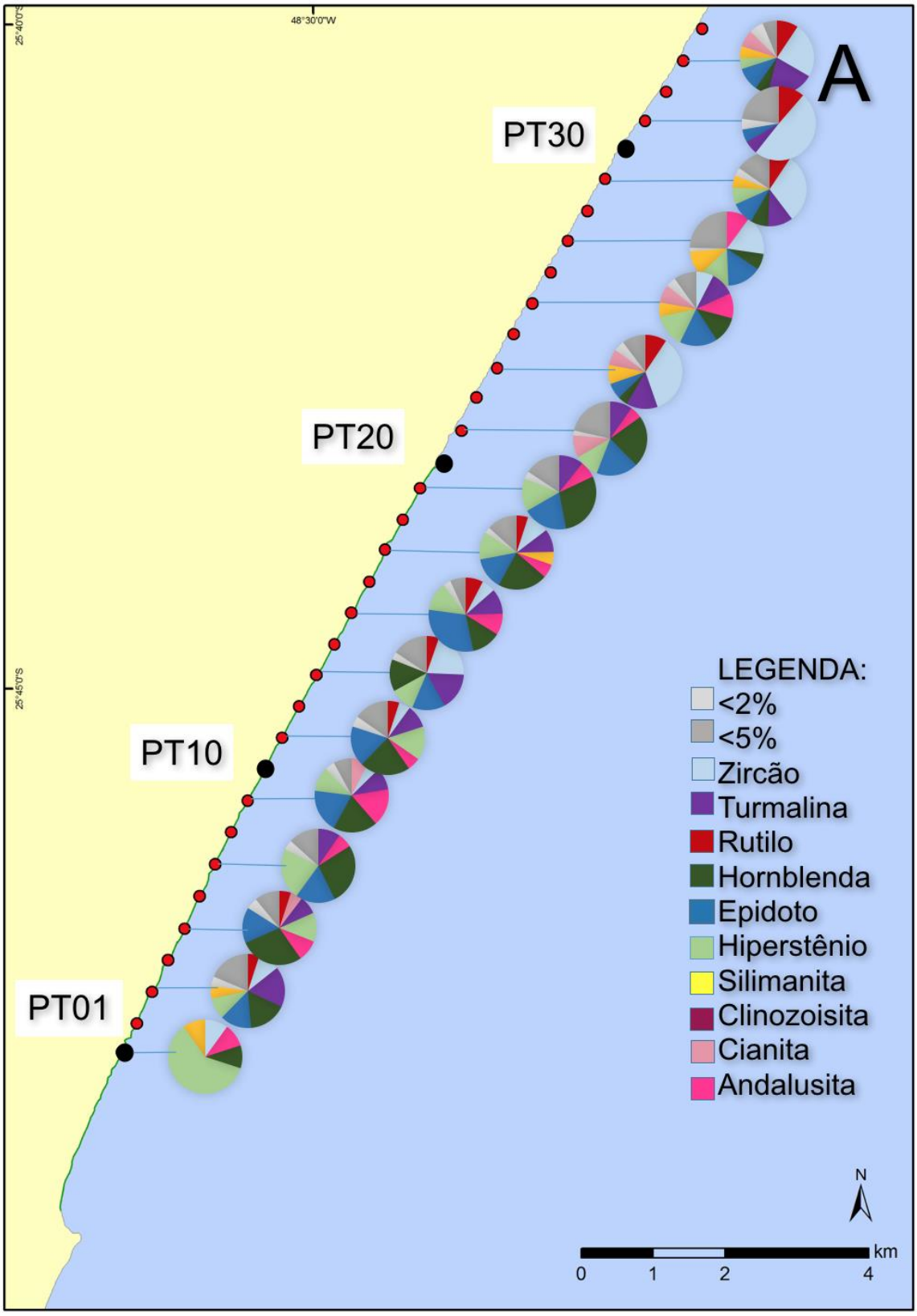
minerais, dos quais: zircão (16,9%), epidoto (14,3%), turmalina (13,9%), hornblenda (13,2%), hiperstênio (8,2%), silimanita (6,5%), cianita (5,6%), andalusita (5,3%), rutilo (4,9%), clinozoisita (3,0%), diopsídio (2,3%), augita (2,2%), tremolita (0,8%), zoisita (0,8%), estaurolita (1,1%) e granada (0,4%). Quanto a morfologia, pela análise ótica verificou-se MP com graus de arredondamento variáveis, apresentando desde zircões euédricos até grãos mais arredondados.

GRÁFICO 5- CONCENTRAÇÃO DE MINERAIS PESADOS AO LONGO DO PERFIL AMOSTRAL



A análise da concentração de MP ao longo da área de estudo (FIGURA 8) possibilitou uma melhor visualização da distribuição da assembleia de MP de diferentes estabilidades químicas. Constata-se um aumento na concentração de minerais ultra estáveis como zircões, turmalinas e rutilos de Sul para Norte, acompanhando o sentido da deriva longitudinal litorânea.

FIGURA 8- CONCENTRAÇÃO DE MINERAIS PESADOS AO LONGO DO



PERFIL AMOSTRAL

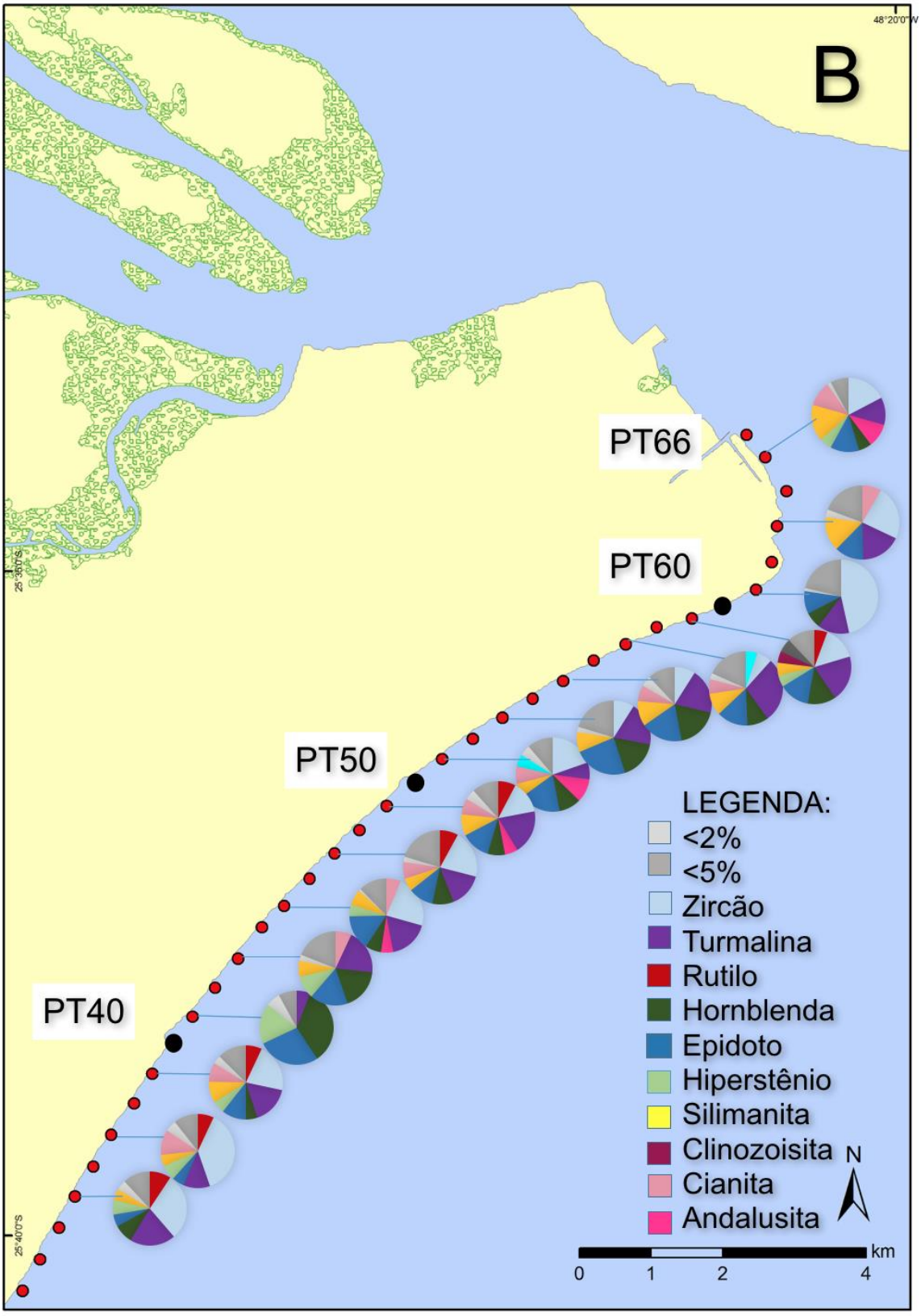
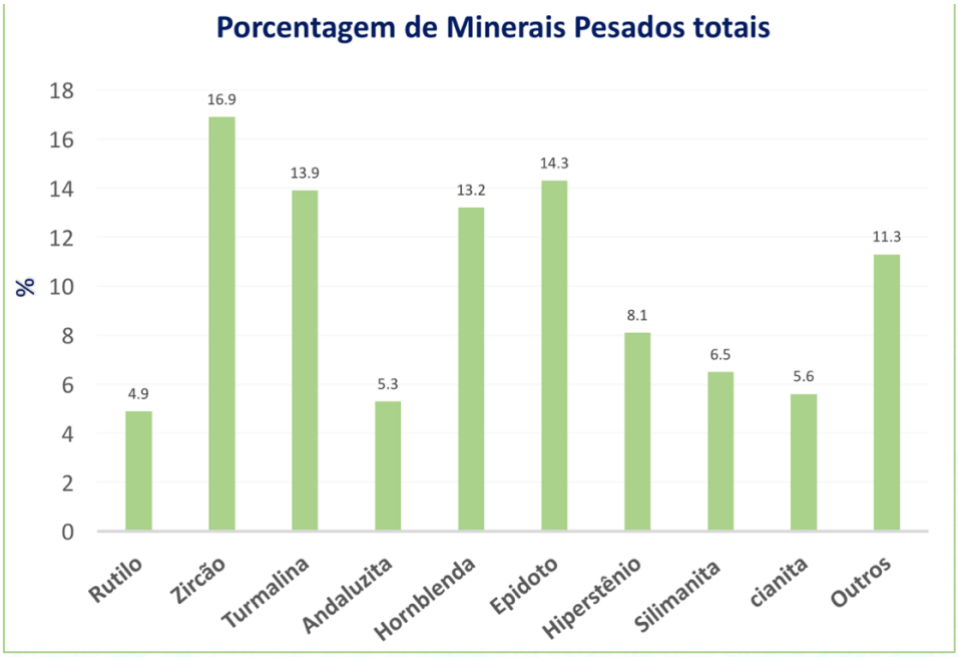
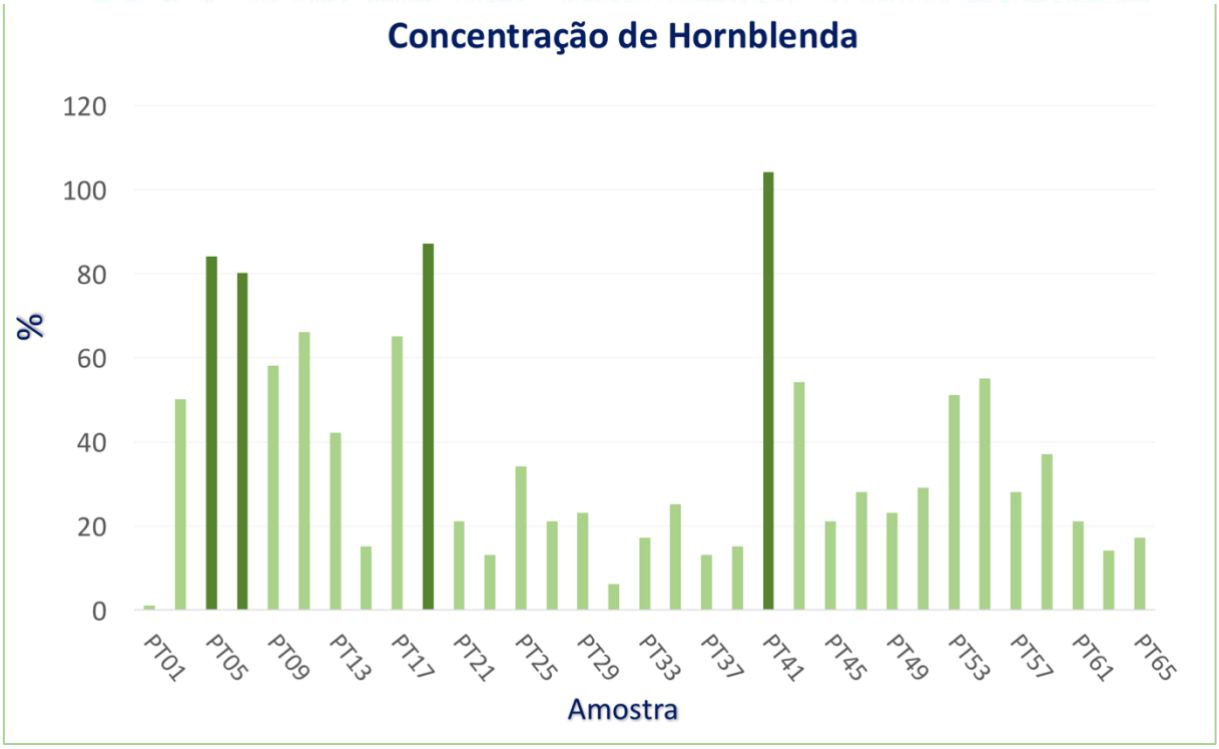

B
48°20'0"W
25°35'0"S
25°40'0"S
PT66
PT60
PT50
PT40
LEGENDA:
<2%
<5%
Zircão
Turmalina
Rutilo
Hornblenda
Epidoto
Hiperstênio
Silimanita
Clinozoisita
Cianita
Andalusita
N
km
0
1
2
4

GRÁFICO 6- PORCENTAGEM DE MP TOTAIS



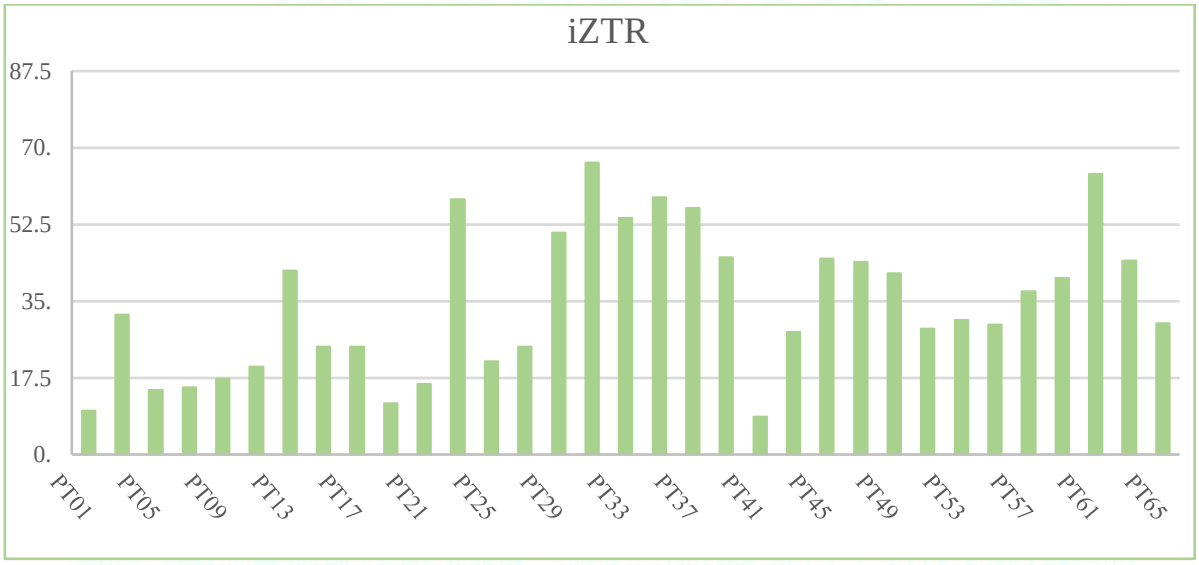
Um dado interessante levantado por esse estudo foi a concentração de hornblendas totais (13,2%), e ao longo dos pontos amostrais (GRÁFICO 7). Foram identificadas 3 áreas de maiores concentrações de hornblendas ao longo da área estudada: dois pontos próximos ao balneário Flórida em Matinhos (≈28%, Pontos 05 e 07), um ponto entre Ipacary e Gaivotas (29%, Ponto 19) e outro entre os balneários de Ipanema e Olho d'água (34,6%, Ponto 41).

GRÁFICO 7- CONCENTRAÇÃO DE HORNBLENDAS POR AMOSTRA



A análise da maturidade sedimentar ou iZTR identificou valores médios de concentração de 34,4%. O máximo foi de 66,6% no ponto 31 e o mínimo de 8,6% no ponto 41. Além disso, também é observado um aumento na concentração de zircão, rutilo e turmalina nas amostras de Sul para Norte (GRÁFICO 8- FIGURA 9), indicando um aumento significativo na maturidade das partículas nesta direção.

GRÁFICO 8- ÍNDICE ZIRCÃO-TURMALINA-RUTILO



Segundo os dados de concentração obtidos pela análise ótica (FIGURA 10), o iTZ médio do perfil amostral foi de 53,6% (GRÁFICO 9), com máxima de 94,1% no ponto 19 entre Ipacaray e Gaivotas, com mínimas de 16,1% e 10,8% nos pontos 27 e 31 entre os balneários de Praia de Leste e Santa Terezinha, 23,6% no ponto 37 correspondente ao balneário de Ipanema, 27,1% no ponto 51 localizado no Atami Sul e por fim, um valor de 23% no ponto 61, correspondente ao balneário de Pontal do Sul.

GRÁFICO 9- ÍNDICE TURMALINA-ZIRCÃO

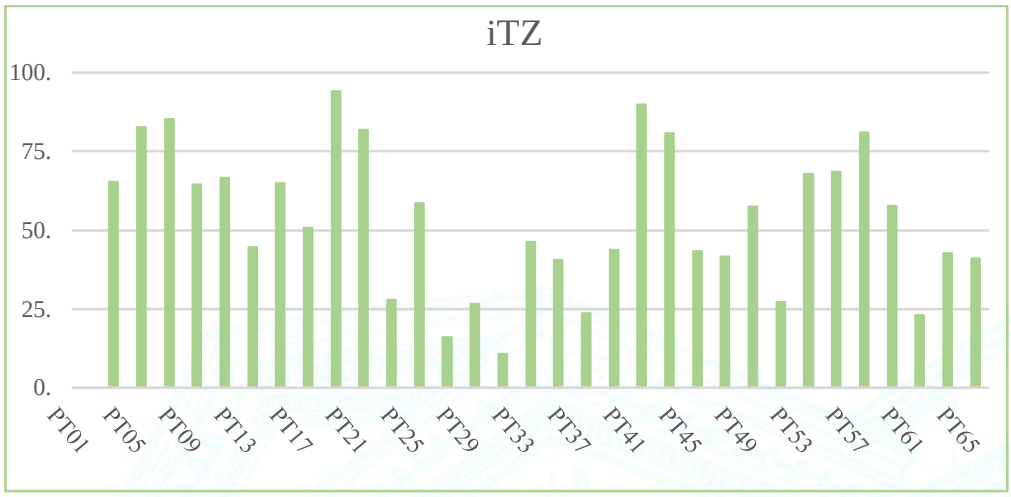
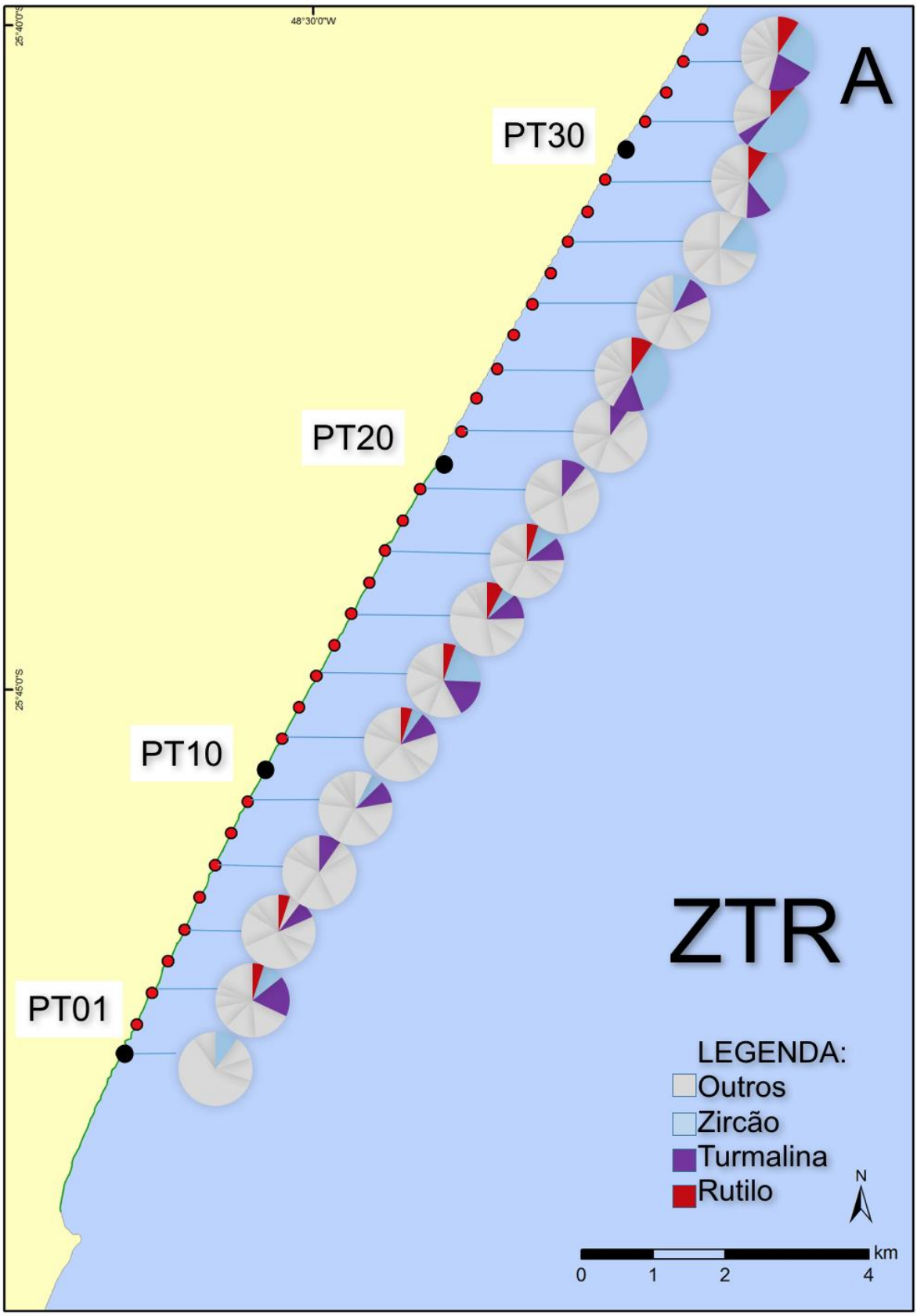


FIGURA 9- CONCENTRAÇÃO (%) DE ZIRCÃO, TURMALINA E RUTILO AO LONGO DO PERFIL AMOSTRAL



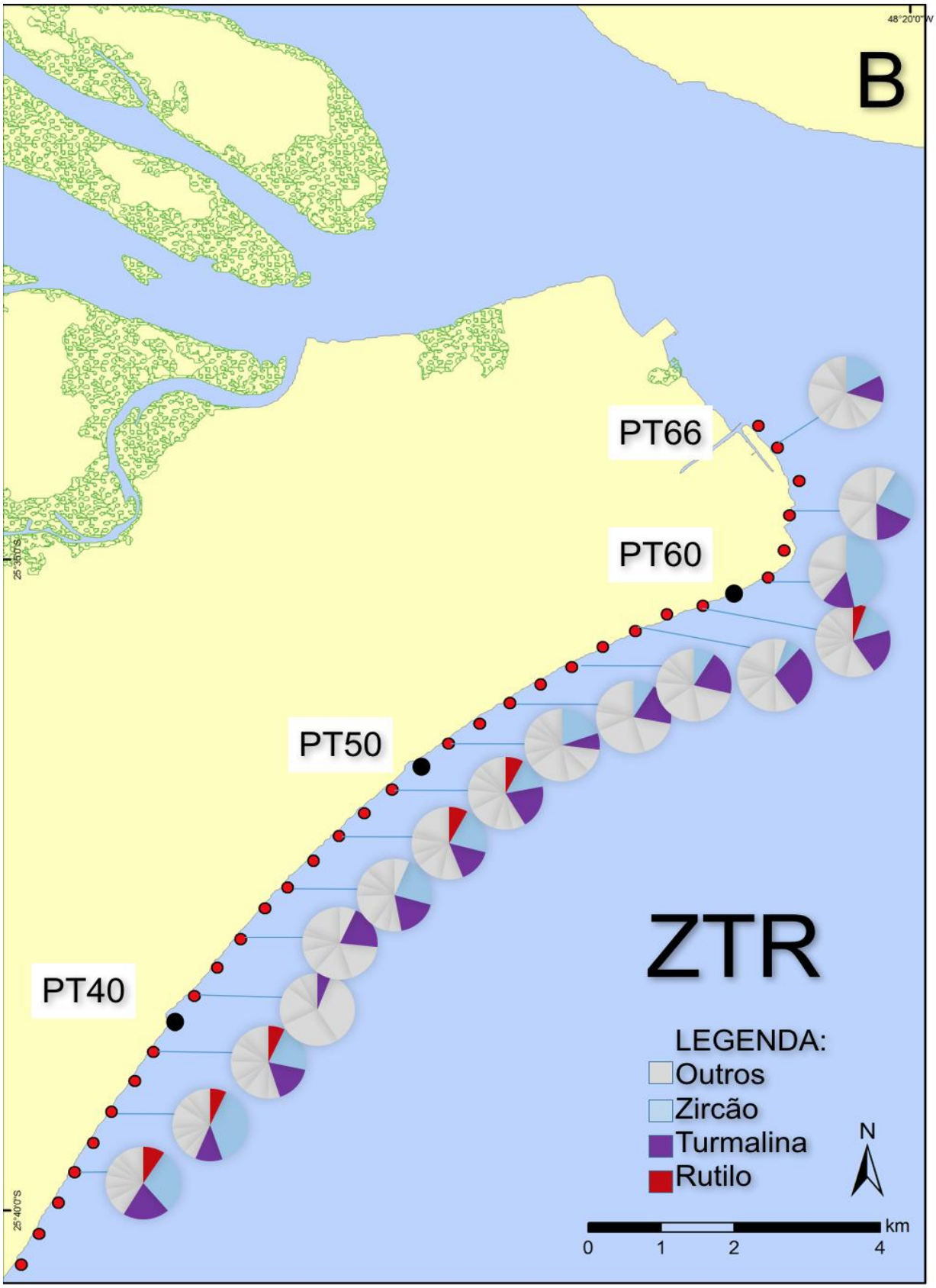
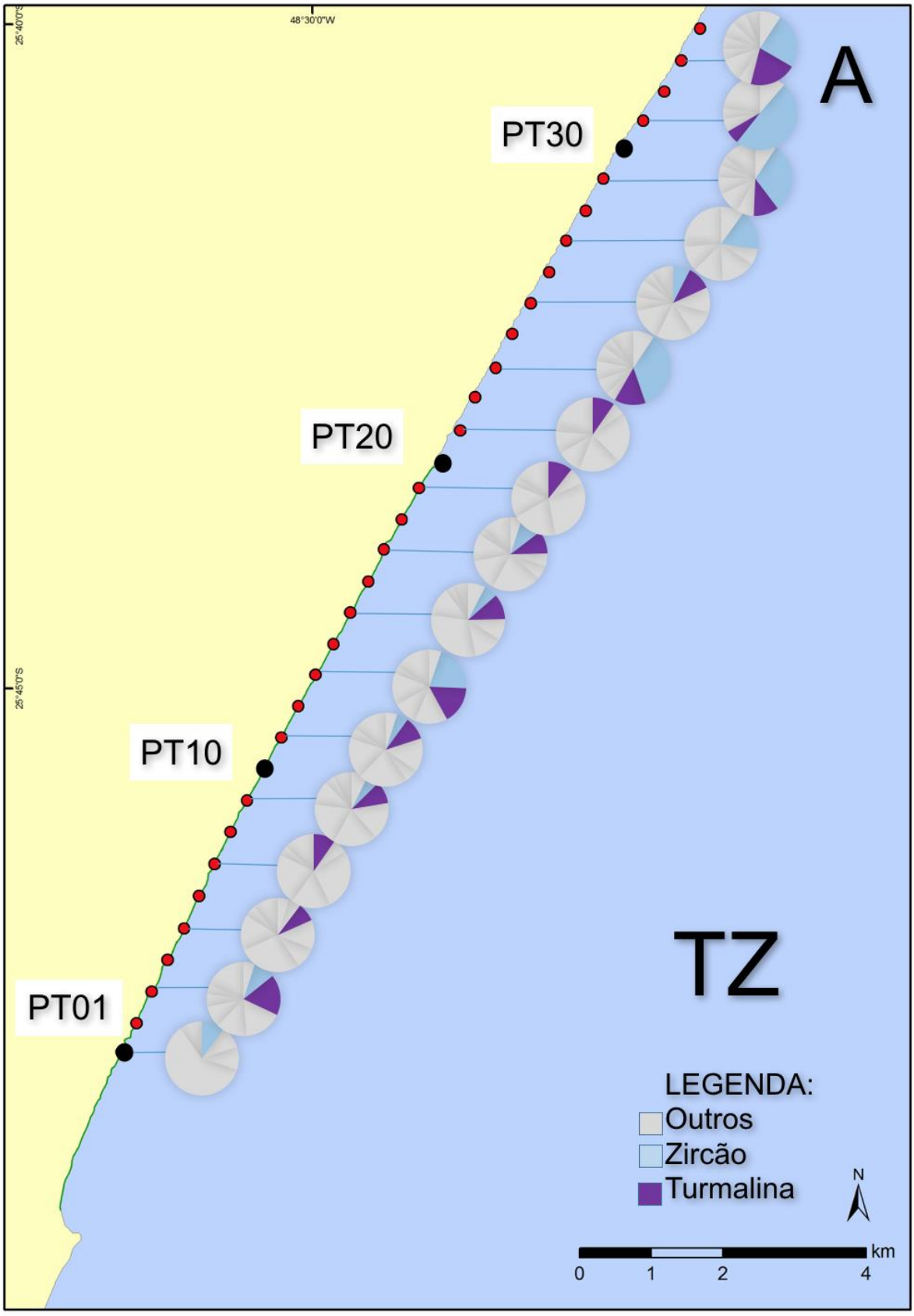
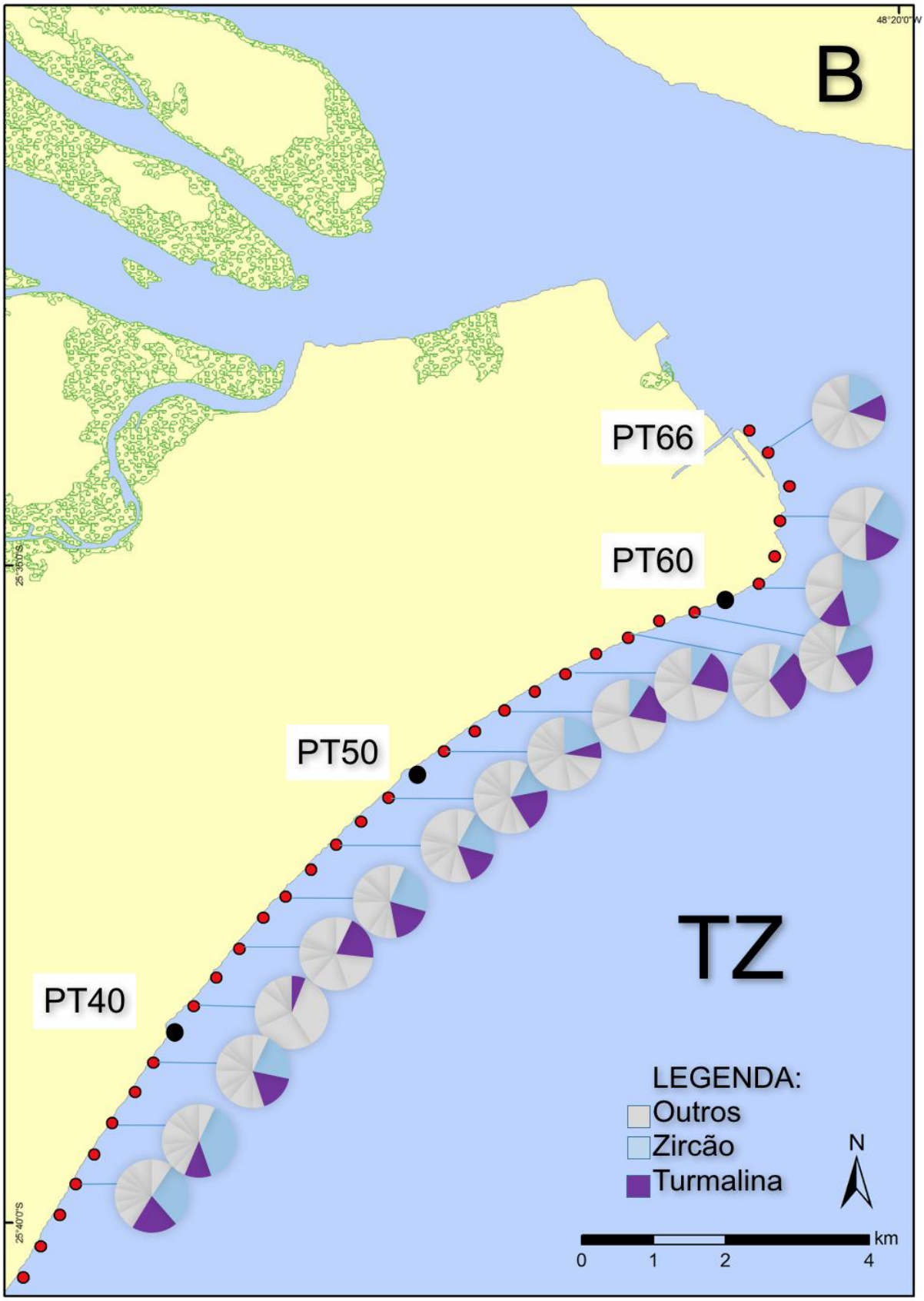

B
48°20'0"W
25°35'0"S
25°40'0"S
PT66
PT60
PT50
PT40
ZTR
LEGENDA:
Outros
Zircão
Turmalina
Rutilo
N
0
1
2
4
km

FIGURA 10- CONCENTRAÇÃO (%) DE TURMALINA E ZIRCÃO AO LONGO DO PERFIL AMOSTRAL

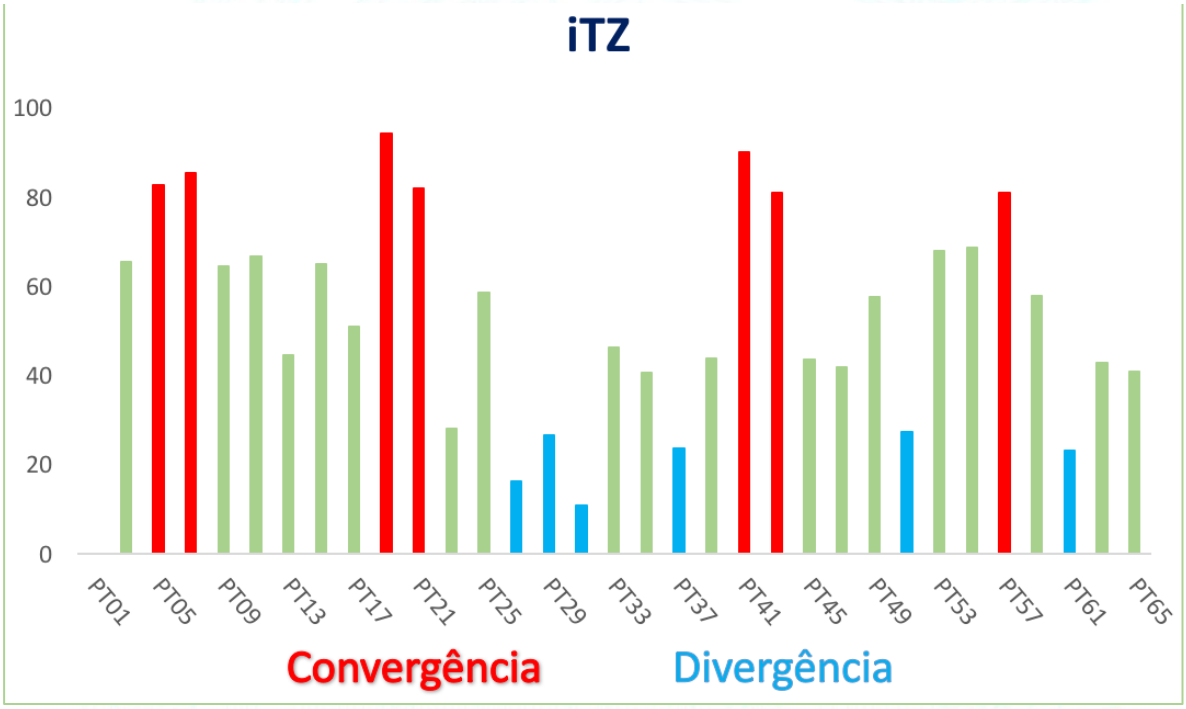




Pelo uso do iTZ, foi possível identificar tendências sedimentares correspondentes aos encontros de células de deriva longitudinal litorânea, nos pontos de concentrações mínimas e máximas do mineral menos denso. A concentrações máximas ocorreram nos pontos 05, 07,19,

21, 39, 41 e 57, possivelmente representando convergências entre células, com maior perturbação hidrodinâmica na região. Tais características são representativas de áreas com tendências a processos erosivos, no quais os minerais leves foram retrabalhados pela dinâmica da região e os MP acabaram se concentrando. Já os Pontos 27, 29, 31, 51 e 61 demonstram características de divergência entre células de deriva litorânea. Apresentando uma dinâmica mais branda e tendência de maior aporte de partículas em geral, resultando na diminuição na porcentagem de pesados, visto que estes são minerais acessórios e apresentam concentrações reduzidas (GRÁFICO 10).

GRÁFICO 10- ÍNDICE TURMALINA-ZIRCÃO, MOSTRANDO OS VALORES MÁXIMOS (VERMELHO) E MÍNIMOS (AZUL)



Neste sentido, baseado nos dados fornecidos pelo iZT, foram confeccionados mapas (FIGURA 8 e 9) temáticos mostrando a representação dos encontros de células de deriva longitudinal litorânea na área estudada.

FIGURA 11- MAPA DOS ENCONTROS DE CÉLULAS DE DERIVA LONGITUDINAL LITORÂNEA, DEMARCANDO OS PONTOS DE CONVERGÊNCIA (VERMELHO) E DIVERGÊNCIA (AZUL) DO SETOR A DA ÁREA DE ESTUDO.

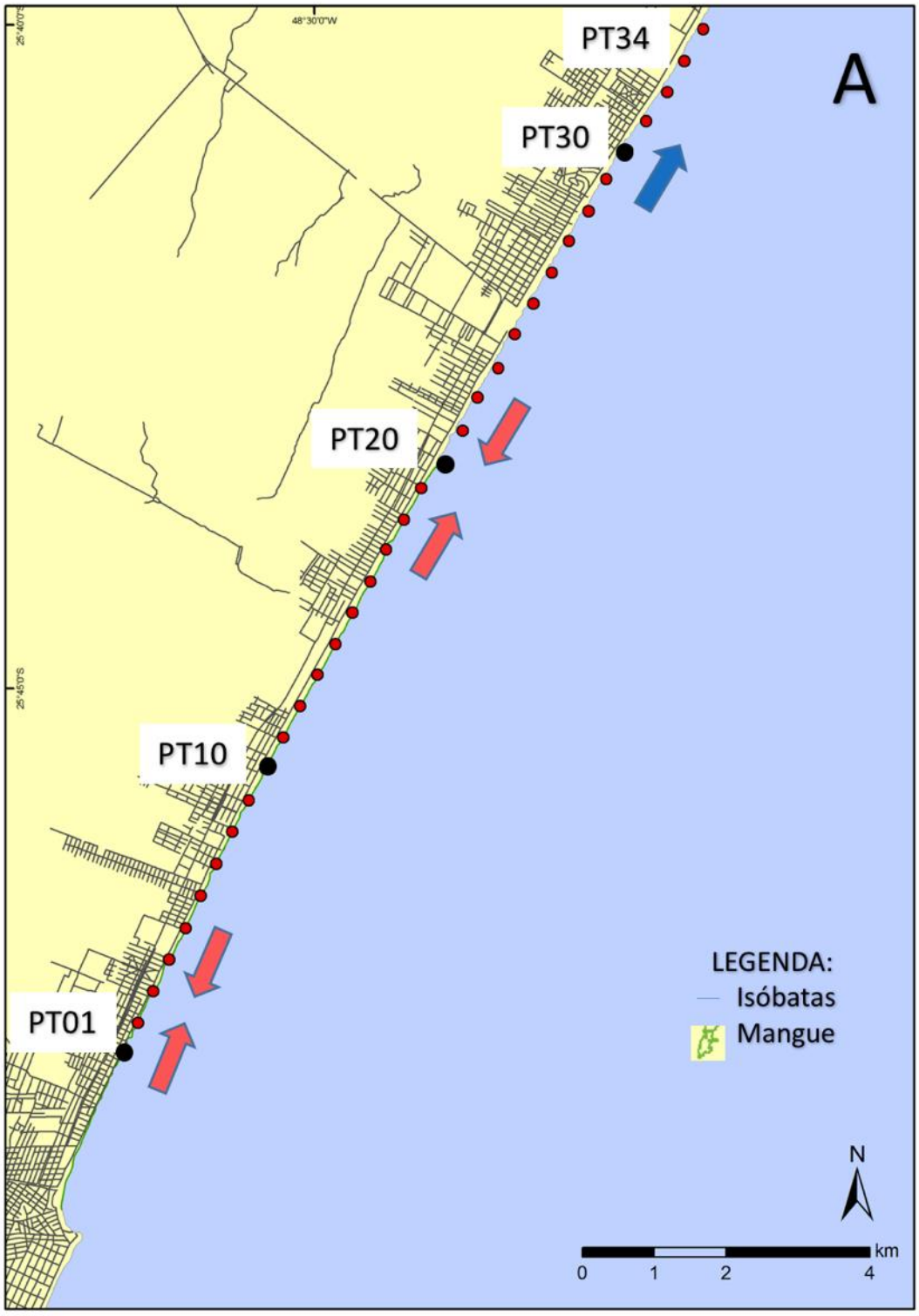
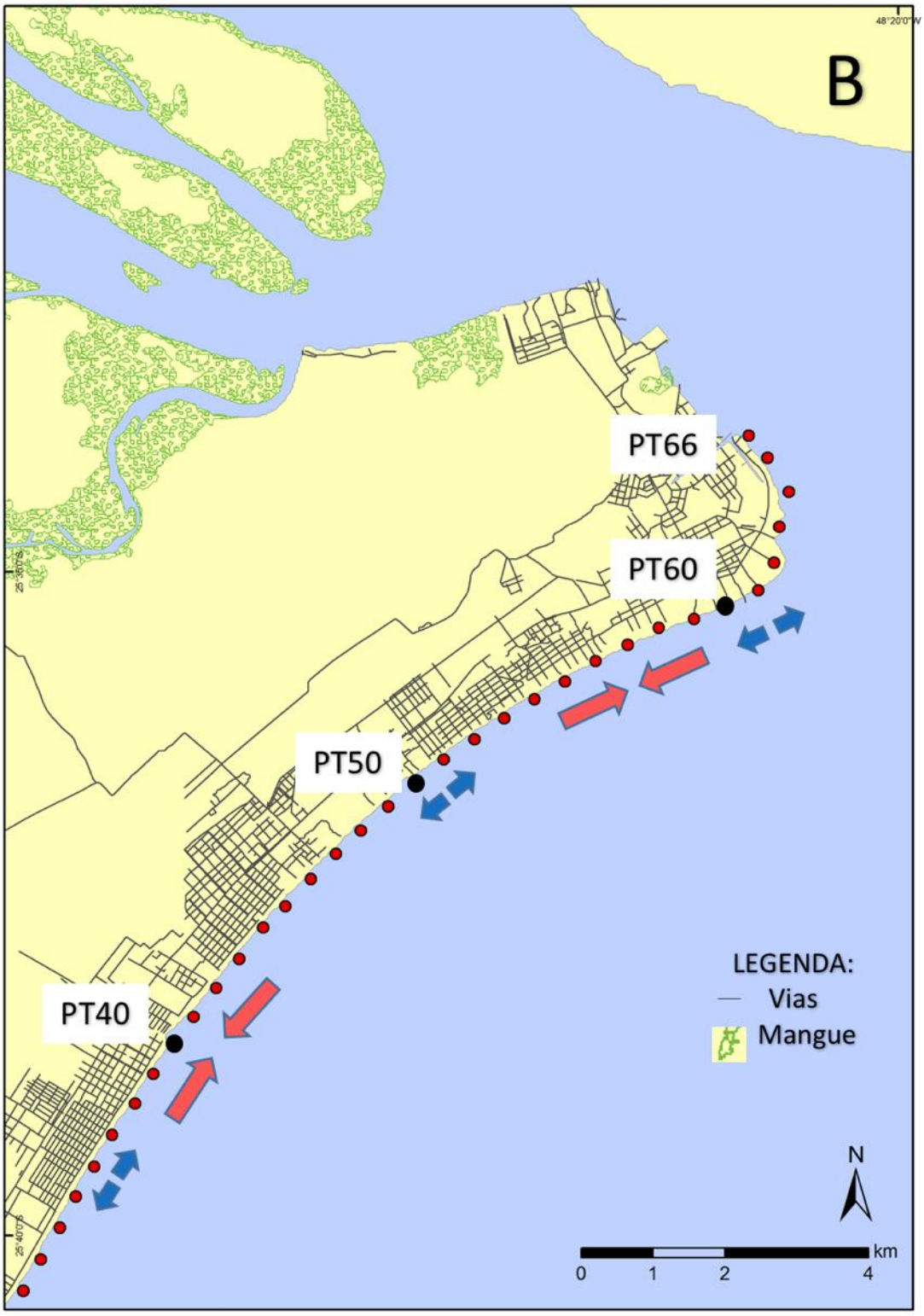


FIGURA 12- MAPA DOS ENCONTROS DE CÉLULAS DE DERIVA LONGITUDINAL LITORÂNEA, DEMARCANDO OS PONTOS DE CONVERGÊNCIA (VERMELHO) E DIVERGÊNCIA (AZUL) DO SETOR B DA ÁREA DE ESTUDO.



8 DISCUSSÃO

8.1. GRANULOMETRIA

A determinação final do diâmetro médios das partículas levou em consideração a concordância estatística entre os dois métodos realizados. Visto que em ambas análises as amostras foram classificadas na classe de areia finas e moderadamente selecionadas, o que corrobora com estudos granulométricos anteriores da região (BIGARELLA, 2001; ANGULO, 2004; ALVES, 2011). Embora no presente estudo não tenha sido encontrado uma diferença estatísica nos dados de diâmetro médio, em outro estudo, GUILHERME et al. (2015), realizaram um teste comparativo entre 3 métodos de análises granulométricas utilizando 10 amostras da área de estudo onde constataram que o método por difratometria a laser quando comparado ao peneiramento, superestima os tamanhos das partículas (PINA; LIRA, 2009), sendo, porém, menos susceptível a erros metodológicos.

Foram constatadas pequenas discrepâncias entre métodos nos parâmetros granulométricos de assimetria e curtose. A assimetria determinada pela granulometria à laser apresentou uma tendência de diminuição nos valores ao longo do transporte de Sul para Norte, apontando uma média geral de assimetria negativa, o que corrobora com a assimetria encontrada por ÂNGULO, 2004. Enquanto que no peneiramento, as amostras foram classificadas como aproximadamente simétricas. As curvas de curtose por sua vez, foram classificadas como platicúrticas pelo método de difratometria a laser e mesocúrticas pelo peneiramento.

Assimetria negativa, e.g., é relacionada à retirada dos sedimentos finos por efeito de joeiramento (*winnowing*), tendo relação com eventos de maior intensidade e duração de um agente deposicional altamente energético (GUEDES, 2009). Assim, a hipótese para o aumento da assimetria negativa nos sedimentos, está atribuída a entrada de outra população (sedimentos), como conchas carbonáticas e/ou MP (GUEDES et al. 2011). O que não seria o caso do presente estudo visto que pela análise da difratometria a laser, a assimetria ficou mais negativa ao final do transporte sedimentar, sem o aumento concomitante da população de conchas carbonáticas ou dos MP. A assimetria positiva, por outro lado, pode ser atribuída à menor competência de um fluxo unidirecional, incapaz de transportar material mais grosso, como atestado por GUEDES et al. (2011).

Nas análises granulométricas de ambos os métodos, foi verificado uma diminuição gradativa no diâmetro médio das amostras e uma melhoria no grau de seleção de Sul para Norte. Este fato corrobora com dados pretéritos levantados na região que apontam uma corrente de deriva longitudinal litorânea com direção S-N, sendo a principal responsável pelo transporte sedimentar e retrabalhamento das partículas nessa região (BIGARELLA, 2001; NOERNBERG et al., 2001, LAMOUR et al., 2003; ANGULO, 2004; VEIGA et al.,2004; VEIGA, 2005; ALVES, 2011). No entanto, era esperado que os dados morfométricos apresentassem partículas mais arredondadas e esféricas ao longo do transporte sedimentar e da direção da deriva longitudinal, porém tal correlação não foi possível realizar, tornando necessário novos estudos morfométricos e de intercâmbios de sedimentos na região.

Os dois maiores picos no diâmetro médio das amostras, se encontram em Praia de Leste e entre os balneários Ipacaray e Gaivotas. SANTOS FILHO (2009), apresenta o mapa batimétrico da plataforma continental do estado paranaense, através desse foi possível observar que o arquipélago de Currais favorece a formação de um tombolo em direção à costa, associado ao balneário Praia de Leste. Dessa forma, a diminuição da batimetria e a presença das ilhas ocasionam a difração das ondas incidentes na costa nessa região, o que gera uma perda de energia das mesmas. Em outro estudo da região, ALVES (2011) aponta que a presença dos maiores diâmetros médios no balneário de Praia de Leste pode ser em função da incidência de trens de onda com maior potencial de arraste. A vista disso, no presente trabalho espera-se que o mesmo esteja acontecendo na região entre os balneários de Ipacary e Gaivotas (Ponto 19) onde foram encontrados os maiores diâmetros médios, devido a presença da Ilha de Itacolomis.

8.2. ASSEMBLEIA MINERALÓGICA

Por ser um mineral de baixa estabilidade, a identificação de concentrações significativas de hornblenda nas amotras dos balneários de Ipacary, Gaivotas e Ipanema indicam possivelmente uma área fonte próxima aos pontos amostrados. Como não existem rios importantes desaguando próximo aos pontos, consideram-se duas possíveis hipóteses de contribuições. A primeira considera uma contribuição proveniente de Sul transportada pela corrente de deriva longitudinal litorânea, podendo ter origem nos enrocamentos e pontais rochosos e tenham apresentado uma eficiência hidráulica durante o transporte. Já a segunda, pressupõe que as ilhas oceânicas paranaenses (Itacolomis e Currais) sejam as possíveis áreas fontes dos MP instáveis, como a hornblenda. Neste sentido, em um estudo sedimentológico da

plataforma interna rasa do litoral do Paraná, VEIGA et al. (2004), assim como demais autores (ANGULO, 1992; BIGARELLA, 2001; ANGULO, 2004; LAMOUR, 2007) afirmam que os sedimentos transportados pela corrente de deriva longitudinal litorânea provêm principalmente da planície costeira e das Ilhas costeiras de Itacolomis e Currais.

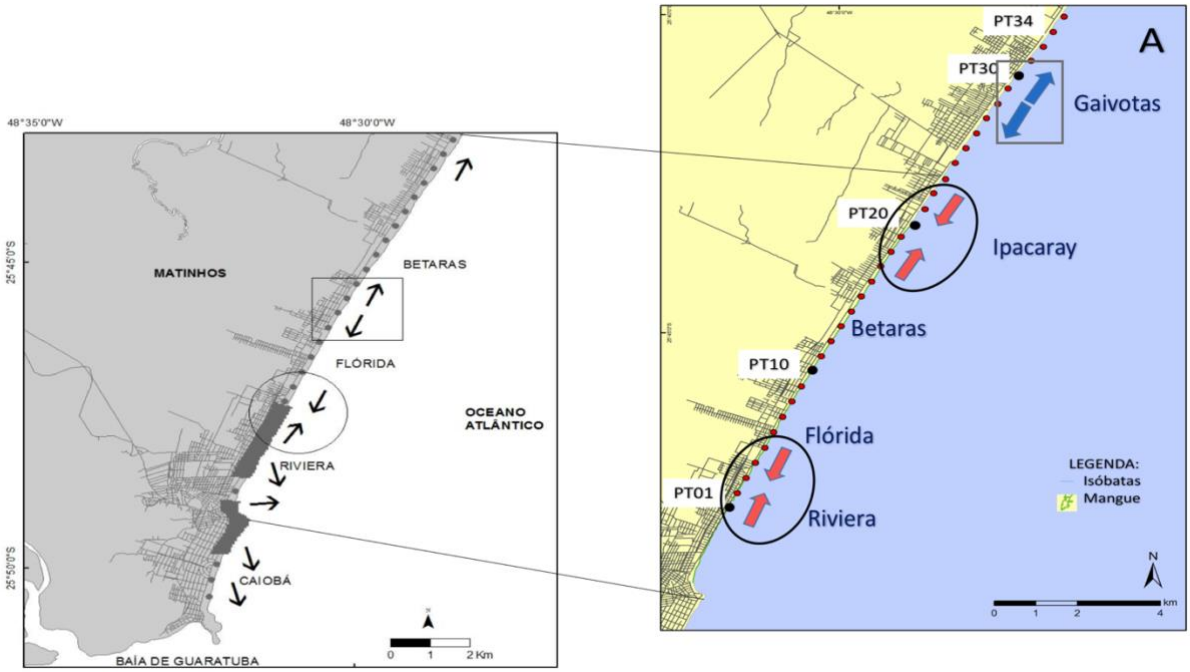
A análise do índice Zircão-Turmalina-Rutilo reflete o grau de maturidade mineralógica dos sedimentos, pois combina minerais resistentes à dissolução química. Dessa forma, um alto índice iZTR está associado a vários ciclos sedimentares. No entanto esses minerais apresentam densidades relativamente distintas, por isso suas variações podem ser resultado do efeito combinado da dissolução pós-deposicional e do transporte sedimentar (NÓBREGA et al., 2008; CORRÊA et al., 2008; OCHOA et al., 2013). Neste estudo, o iZTR mostrou um aumento na maturidade dos grãos ao longo do transporte sedimentar, seguindo a mesma direção da deriva longitudinal litorânea. Igualmenente, MIHALY (1997), ao aplicar o iZTR no litoral norte paranaense, e GUEDES (2009) ao estudar a evolução sedimentar da Ilha Comprida em São Paulo, também encontraram uma tendência de aumento no índice de maturação das partículas no mesmo sentido da deriva (NE).

O índice iTZ responde aos processos de seleção hidráulica do transporte sedimentar, cuja variação espacial serve de subsídio para a identificação de células de deriva longitudinal litorânea. Portanto, para estudar a influência do transporte na assembléia de MP, recomenda-se trabalhar com minerais de estabilidade química semelhante, mas de equivalência hidráulica distinta (iTZ). Como regra geral, a concentração de minerais menos densos (Turmalina) tende a aumentar com o incremento da distância de transporte (GUEDES, 2009; ANGULO, 2007). No entanto, de acordo com os dados do iTZ obtidos no presente (GRÁFICO 9), não foi possível fazer uma correlação significativa e direta entre o aumento nas concentrações de turmalina ao longo do transporte sedimentar.

As variações significativas entre concentrações totais de MP avaliadas pelo iTZ conseguiu determinar possíveis pontos de encontros de células de deriva longitudinal litorânea nos pontos de concentrações mínimas e máximas de MP. Assim, nos pontos 05 e 07, correspondente ao balneário Riviera foram encontradas concentrações altas de minerais mais densos, o que possivelmente indica a tendência de processos erosivos na região, característico de encontros convergentes de células. Desta forma, os minerais leves possuem maior probabilidade de serem retrabalhados, fazendo com que os MP se concentrem por possuirem maior resistência ao transporte. NOVAK; LAMOUR; CATTANI (2016), usando o método GSTA por GAO; COLLINS (1992), identificaram um encontro convergente de células para a mesma região. Os autores também observaram um encontro convergente próximo ao balneário

Flórida, que não foi possível correlacionar com os dados de iTZ (FIGURA 13).

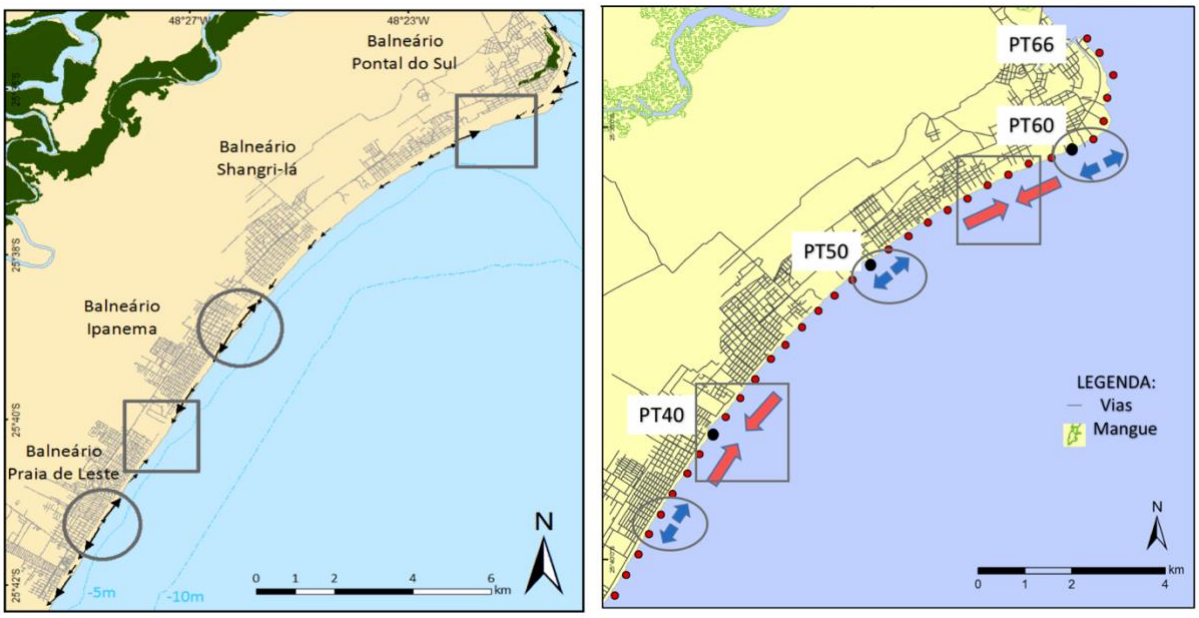
FIGURA 13- COMPARAÇÃO ENTRE A IDENTIFICAÇÃO DE CÉLULAS DE DERIVA LONGITUDINAL LITORÂNEA OBTIDA NO ESTUDO DE NOVAK; LAMOUR; CATTANI (2016) (À ESQUERDA) E NO PRESENTE ESTUDO (À DIREITA).



Entre os pontos 19 e 21, correspondente ao intervalo entre os balneários Ipacary e Gaivotas, a análise de MP identificou um segundo encontro convergente entre células que não chegou a ser obervado por NOVAK; LAMOUR; CATTANI (2016), seguido de um encontro divergente de células, com características deposicionais próximo a Praia de Leste (FIGURA 13). A tendência de transporte ao longo do arco praial do município de Pontal do Paraná foi estudado por ALVES (2011) pelo método GSTA, no qual, a autora delimitou pontos de convergência e divergência de células que corroboram com o que foi encontrado na análise de MP no presente estudo. Assim, a autora também encontrou um ponto com características deposicionais no balneário de Praia de Leste. No entanto, PILATO et al. (2011), através de levantamentos morfodinâmicos com topografia praial, identificaram um foco erosivo no balneário Praia de Leste, próximo à zona de divergência identificada no presente trabalho. Essa discrepância de resultados pode ocorrer devido às diferentes escalas temporais abrangidas pelo estudo, pois o levantamento realizado pelos autores corresponde a um período de 4 meses, enquanto que os dados utilizados por ALVES (2011) e no presente trabalho foram coletados em uma única campanha, representando assim uma componente residual do transporte

sedimentar da região.

FIGURA 14- COMPARAÇÃO ENTRE A IDENTIFICAÇÃO DE CÉLULAS DE DERIVA LONGITUDINAL LITORÂNEA OBTIDA NO ESTUDO DE ALVES (2011) (À ESQUERDA) E NO PRESENTE ESTUDO (À DIREITA).



No presente trabalho como no de ALVES (2011), foi observado uma zona de convergência de células no balneário de Ipanema (FIGURA 14). Na altura do Ponto 45, próximo ao balneário Olho D'Água, ALVES (2011) encontrou uma zona de divergência entre células que não foi identificada pelas análise do iTZ neste estudo. No entanto, entre os pontos 51 e 53, no balneário de Shangri-lá, observou-se uma possível ocorrência de padrão divergente entre células em ambos os trabalhos, sendo que ALVES (2011), não encontrou alterações significativas nas concentrações totais de MP. Por fim, congruente aos dados da autora de tendência de transporte e variação da linha de costa, o presente estudo delimitou uma faixa de encontro de células com características erosivas (convergentes), em Pontal do Sul, correspondente ao que foi encontrado no ponto 57 pelo iTZ.

9 CONCLUSÃO

No geral, o litoral centro-norte do Paraná possui uma composição sedimentar predominantemente de areias finas, moderadamente selecionadas, com um decréscimo do diâmetro e seleção dos grãos de Sul para Norte, congruente a direção da deriva litorânea.

Foram identificadas 4 zonas de convergência e 2 de divergência entre células de deriva litorânea. Dessa forma, delinearam-se regiões de tendência a processos sedimentares deposicionais próximas aos balneários Praia de Leste e Shangri-lá, sendo essas correspondentes com os padrões divergentes entre as células. No balneário Pontal do Sul, na região entre Praia de Leste e Ipanema, Balneário Riviera e entre os balneários Ipacary e Gaivotas, observa-se convergência de células, apresentando processos sedimentares com tendências erosivas.

A aplicação dos índices mineralógicos para a identificação de céluas de deriva longitudinal litorânea mostraram resultados condizentes com os demais estudos sedimentológicos realizados na região e com a variação da linha de costa.

Para análises futuras sugere-se a aplicação de outros índices mineralógicos nas praias e plataforma interna rasa do litoral do Paraná, a fim de estimar com maior robustez as áreas fontes de sedimentos.

10 REFERENCIAS

ADDAD, J. E. **Minerais pesados: uma ferramenta para prospecção, proveniência, paleogeografia e análise ambiental**. 2ª edição ed. São Paulo, 2010.

ALBINO, J.; PAIVA, D.; MACHADO, G. **Geomorfologia, tipologia, vulnerabilidade erosiva e ocupação urbana das praias do litoral do Espírito Santo, Brasil.** Geografares, n. 2, 2001.

ALVES, L. C. **Identificação De Células De Deriva Longitudinal Litorânea Através Do Mapeamento Sedimentológico das Praias Do Município De Pontal Do Paraná (Pr).**, 2011. 66 p. Monografia - Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná, 2011.

ANDEL, V. Tj. H. **Provenance, Transport and Deposition of Rhine Sediments.** 1950.

ANGULO, R. J. **Geologia da planície costeira do estado do Paraná.** Tese de Doutorado - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 334, 1992.

ANGULO, R. J. **Mapa Do Cenozóico Do Litoral Do Estado Do Paraná.** Boletim Paranaense de Geociências, v. 55, p. 25–42, 2004. Disponível em: <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/geociencias/article/viewFile/4281/3437>.

ANGULO, R. J. **Morfologia E Gênese das Dunas Frontais Do Litoral Do Estado Do Paraná.** Revista Brasileira de Geociências, v. 23, n. 1, p. 68–80, 1993.

ANGULO, R. J.; ARAÚJO, A. D. **Classificação da Costa Paranaense com base na sua Dinâmica, como Subsídio à Ocupação da Orla Litorânea**. Boletim Paranaense de Geociências, Curitiba, n. 44, p. 7-17, 1996.

ANGULO, R. J.; LESSA, G. C.; SOUZA, M.C. 2009. **The Holocene Barrier Systems of Paranaguá and Northern Santa Catarina Coasts, Southern Brazil.** Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil. 2009.

ANGULO, R.J. **Problemas na terminologia de ambientes e subambientes litorâneos clásticos dominados por ondas.** Boletim Paranaense de Geociências, Curitiba, v. 44, p. 51-57, 1996.

ANGULO, R.J. **Variações na configuração da linha de costa no Paraná nas últimas quatro**

décadas. Boletim Paranaense de Geociências. n.41. 52-72p. Editora UFPR. Curitiba: 1993

ANGULO, R.J.; SOARES, C. R. **Beach profile variations between 1981 and 1993 in southern coast of Paraná State.** Boletim Paranaense de Geociências, v. 42, p 203-216. 1994.

ARAÚJO, C. E. S.; FRANCO, D.; MELO, E.; PIMENTA, F. Wave Regime **Characteristics of The Southern Brazilian Coast. Proceedings of the sixth International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries**. COPEDEC VI, Colombo, Sri Lanka, n 097; p 15. 2003.

BEER, T. **Environmental oceanography.** Segunda edição. Editora CRC Press, Boca Raton, Florida, 1997. 367p.

BIGARELA, J. J. **Contribuição ao Estudo da Planície Litorânea do Estado do Paraná.** Brazilian Archives of Biology and Technology - An international Journal, p. 65–110, 2001.

BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; de MATOS, D. J.; WERNER A. **A Serra do Mar e a porção oriental do Estado do Paraná. Um problema de segurança ambiental e nacional (contribuição à geografia, geologia e ecologia regional).** 1a edição. Governo do estado do Paraná, Secretaria de Estado do Planejamento – Associação de Defesa e Educação Ambiental (ADEA). Curitiba, 1978.

BIGARELLA, J.J.; FREIRE, S.S.; SALAMUNI, R.; VLANA, R. **Contribuição ao estudo dos sedimentos praiais recentes II - Praias de Matinhos e Caiobá.** Boletim da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, v. 6, p. 1-113. 1966.

BIRD, E. C. F. **Coastal geomorphology : an introduction**. Segunda edição. Editora John Wiley & Sons Ltd. West Sussex, Inglaterra, 411p. 2008.

CALLIARI, L. J.; MUEHC, D.; HOEFEL, F. G.; TOLDO JR., E. **Morfodinâmica praial: uma breve revisão.** Brazilian Journal of Oceanography, v. 51, n. unico, p. 63–78, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-87592003000100007&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>.

CARVER, R. E. **Heavy mineral separation.** In CARVER, R.E Procedures in Sedimentary Petrology, Wiley, New York, p. 573-596, 1971.

CATTANI, P.; LAMOUR, M. **Considerations Regarding Sedimentation Rates along the E-W Axis of the Paranaguá Estuarine Complex, Brazil: A Bathymetric Approach.** Journal of Coastal Research, 32 (3), p. 619-628.Florida, ISSN 0749-0208, 2016.

CHANG H. K.; KOWSMANN R.O.; FIGUEIREDO A.M.F.; BENDER A. A. **Tectonics and stratigraphy of the East Brazil Rift system: an overview.** Tectonophysics, 213:97-138. 1992.

CORRÊA, I. C. S.; AYUP-ZOUAIN, R. N.; WESCHENFELDER, J.; TOMAZELLI, L. J. **Áreas Fontes dos Minerais Pesados e sua Distribuição sobre a Plataforma Continental Sul-brasileira, Uruguaiana e Norte-argentina.** Revista Pesquisas em Geociências, 35 (1): 137-150, 2008.

DE MIO, E.; GIANNINI, P.C.F. **Variação de minerais pesados transversal à planície litorânea de Peruíbe-Itanhaém, SP**. In: CONGR. ASSOC. BRASIL. DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 6, Curitiba. Resumos Expandidos... Curitiba, Abequa. p.109-114. 1997.

FOLK, R.L.; WARD, W.C. **Brazos River bar: a study in the signi cance of grain size parameters.** Journal of Sedimentary Petrology 27, p. 3–26, 1957.

FRIHY, O.E.; DEWIDAR, K.M. **Patterns of erosion/sedimentation, heavy mineral concentration and grain size to interpret boundaries os littoral sub-cells of Nile Delta, Egypt.**International Journal of Marine Geology, Geochemistry and Geophysics. n. 199, p. 27-43. Editora Elsevier. 2003.

GALEHOUSE, J. S. **Counting grain mounts: number percentage vs. number frequency.** Journal of Sedimentary Research, v. 39, n. 2, 1969.

GAO, S.; COLLINS, M. **Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of "transport vectors".** Sedimentary Geology. vol. 80, pp. 47-60. 1992.

GIANNINI, P. C. F. **Sistemas deposicionais no quaternário costeiro entre Jaguaruna e Imbituba, SC.** *Tese* (Pós-graduação) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1993.

GIANNINI, P.C.F. **Sedimentação quaternária na planície costeira de Peruíbe-Itanhaém (SP).** Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 234p., 1987.

GIANNINI, P.C.F.; ANGULO, R.J.; SOUZA, M.C.; KOGUT, J.S.; DELAI, M.S. **A erosão na costa leste da ilha do Mel, baía de Paranaguá, Estado do Paraná: modelo baseado na distribuição espacial de formas deposicionais e propriedades sedimentológicas.** São Paulo, Revista Brasileira de Geociências 34(2), 231-242. 2004.

GIANNINI, P.C.F.; GUEDES, C.C.F.; ASSINE, M.L.; ANGULO, R.J.; SOUZA M.C.; PESSENDA, L.C.R.; TATUMI, S.H. **Variação transversal e longitudinal de propriedades sedimentológicas nos cordões litorâneos da ilha Comprida, litoral sul paulista.** In: CONGR. ASSOC. BRASIL. DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 2003.

GIANNINI, P.C.F.; LESSA, G.C.; KOGUT, J.S.; ANGULO, R.J. **Variação nas assembléias de minerais pesados de testemunhos rasos na planície costeira de Paranaguá (PR).** In: Congr. Assoc. Brasil. De Estudos Do Quaternário, 6, Curitiba. Resumos Expandidos... Curitiba, Abequa. p.58-62.1997.

GUEDES, C. C. F.; GIANNINI, P. C. F.; NASCIMENTO, D. R.; et al. **Controls of heavy minerals and grain size in a holocene regressive barrier (Ilha Comprida, southeastern Brazil).** Journal of South American Earth Sciences, v. 31, n. 1, p. 110–123, 2011. Elsevier Ltd. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2010.07.007>.

GUEDES, C.C. **Evolução Sedimentar Quaternária da Ilha Comprida.** Dissertação de Mestrado (inédito), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 2009.

GUILHERME, P. D. B.; BORZONE, C. A., DE LIMA BUENO, M.; LAMOUR, M. R. **Análise granulométrica de sedimentos arenosos de praias através de imagens digitais. Descrição de um protocolo de mensuração de partículas no software ImageJ-Fiji.** Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology, 23-32, 2016.

GROSS, M.G. **Carbon Determination. In CARVER, R.E Procedures in Sedimentary Petrology**, Wiley, New York, p. 573-596, 1971

HOEFEL, F. G. **Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas: uma revisão bibliográfica**. Editora da Universidade do Vale do Itajaí, 1998.

HOWELL, J.W. **Glossary of Geology and Related Sciences.** Washington, Amer. Geol. Inst. 325p. 1960.

HUBERT, J.F. **A zircon-turmaline-rutile maturity index and the dependence of de composition of heavy mineral assemblages with the gross composition and texture of sandstone.** Journal of Sedimentary Petrology, 32(3):440-450. 1962.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico de 2010.** Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: Abril, 2016.

KOMAR, P. D. **Beach processes and sedimentation.** Prentice-Hall Inc. New Jersey – EUA. 428 p. 1976.

KOMAR, P. D. **The Entrainment, Transport and Sorting of Heavy Minerals by Waves and Currents.** Heavy Minerals in Use. 1a edição. Editora Elsevier. Itália. 2007, 1329p.

KOMAR, P.O., CLEMENS, K.E., LI, Z., SHIH, S.M., **The efect of selective sorting on factor analyses of heavy-mineral assemblages.** J. Sediment. Petrol. 59, p. 590-596, 1989.

KRUMBEIN W. C.; PETTIJOHN F.J. **Manual of sedimentary petrography.** New York, D. Appleton- Century Co., P.549, 1938.

KRUMBEIN W.C.; SLOSS L.L. **Stratigraphy and Sedimentation.** W. H. and Freeman and Co., San Francisco, p. 660, 1956.

LAMOUR, M. R. **Dinâmica sedimentar do canal da Gralheta, via de acesso ao Porto de Paranaguá – PR.** Dissertação (Mestrado em Geologia) – Setor de Ciências da Terra, UFPR. 102 p. 2000.

LAMOUR, M. R. **Morfodinâmica sedimentar da desembocadura do Complexo Estuarino de Paranaguá – PR**. Tese (Pós graduação em Geologia). UFPR. 161 p. 2007.

LAMOUR, M. R.; NOERNBERG, M. A.; QUADROS C. J. L.; ODRESKI, L. L. R.; SOARES C. R. **Erosão na Desembocadura Sul da Baía de Paranaguá e sua Relação com o Assoreamento do Canal da Galheta.** II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa. 4p. Brasil, 2003.

LAMOUR, M.R. **Dinâmica sedimentar da desembocadura do Complexo Estuarino de Paraná –**PR. Tese (pós graduação em geologia). UFPR. P.161, 2007.

LANA, P.C; MARONE, E.; LOPES, R.M.; MACHADO, E.C. **The subtropical estuarine complex of Paranaguá Bay, Brazil.** Ecological Studies, Coastal Marine Ecosystems of Latin America. Editora Springer- Verlag Berlin Heidelberg. v.144. p.131-145. 2001.

LANG, L. O. **Heavy mineral weathering under acidic soil conditions.** Applied Geochemistry, v. 15, n. 4, p. 415–423, 2000. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0883292799000645>.

LAUBE, D. M. **Morfodinâmica praial associada a sangradouros no município de Pontal do Paraná.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Paraná, 106 p, 2012.

LESSA, G. C.; ANGULO, R. J.; GIANNINI, P. C.; ARAÚJO, A. D. **Morphostratigraphy and evolution of a regressive barrier In south Brazil.** Marine Geology, 165:87-108. 2000.

LI, M. Z.; KOMAR, P. D. **Longshore grain sorting and beach placer formation adjacent to the Columbia River.** Journal of Sedimentary Research, v. 62, n. 3, 1992a.

LI, M. Z.; KOMAR, P. D. **Selective entrainment and transport of mixed size and density sands: Flume experiments simulating the formation of black-sand placers.** Journal of Sedimentary Research, v. 62, n. 4, 1992b.

MACHADO, D. A., MONTEIRO, L. A. F.; GÓES, A. M.; DE MESQUITA M. J.; LIMA, F. M. **Proveniência De Sedimentos da Bacia De Curitiba Por Estudos De Minerais Pesados.** Revista Brasileira De Geociências, p. 563-72. 2012.

MANGE M.A. & MAURER H.F.W. **Heavy Minerals in Colour.** London, Chapman & Hall, p. 147, 1992.

MARONE, E.; MANTOVANELLI, A.; NOERNBERG, M. A.; KLINGENFUSS, M. S.; LAUTERT, L.F.C.; PRATA JUNIOR, V.P. **Caracterização Física do Complexo Estuarino da Baía de Paranaguá.** Relatório APPA/CEM, v. 2. Pontal do Sul: UFPR. 1997.

McCAVE, I.N. **Grain size trends and transport along beaches: Example from eastern England.** Marine Geology, v. 28. n. 1, p. 43-51, 1978.

MCLAREN, P. **An Interpretation of Trends in Grain Size Measures.** SEPM Journal of Sedimentary Research SEPM JSR, Vol. 51. 1981.

MIHÁLY, P. **Dinâmica Sedimentar Do Litoral Norte Paranaense E Extremo Sul Paulista.** Boletim Paranaense de Geociências, v. 49, p. 95–114, 2001.

MORTON A.C., HALLSWORTH C.R. **Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones.** Sedimentary Geology, 124:3-30, 1994.

MORTON, A. C.; CLAOUÉ-LONG, J. C.; HALLSWORTH, C. R. **Zircon age and heavy mineral constraints on provenance of North Sea Carboniferous sandstones.** Marine and Petroleum Geology, v. 18, n. 3, p. 319–337, 2001.

MORTON, A. C.; HALLSWORTH, C. **Chapter 7 Stability of Detrital Heavy Minerals During Burial Diagenesis.** Developments in Sedimentology. v. 58, p.215–245, 2007. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0070457107580076>.

MORTON, A. C.; HALLSWORTH, C. R. **Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones.** Sedimentary Geology, v. 124, n. 1–4, p. 3–29, 1999. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0037073898001183>.

MORTON, A. C.; SMALE, D. **The effects of transport and weathering on heavy minerals from the Cascade River, New Zealand.** Sedimentary Geology, v. 68, n. 1–2, p. 117–123, 1990. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/003707389090122A>.

MUEHE, D. **Critérios Morfodinâmicos para o Estabelecimento de Limites da Orla Costeira para fins de Gerenciamento.** Revista Brasileira de Geomorfologia 2: 1, p. 35-44, 2001.

MUEHE, D. **Geomorfologia costeira.** Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos, v. 4, p. 253-308, 1996.

NASCIMENTO JR, D. R. **Morfologia e sedimentologia ao longo do sistema praia-duna frontal de Ilha Comprida, SP**. Dissertação (Mestrado em Estratigrafia e Sedimentação) - Instituto de Geociências, University of São Paulo, São Paulo, 2006.

NEMES, D. D. **Caracterização das ondas de superfície na plataformal interna do estado do Paraná.** Dissertação (Pós graduação em Sistemas Costeiro e Oceânicos). UFPR. 130 p. 2011.

NEMES, D. D.; MARONE, E. **Caracterização Das Ondas De Superfície Na Plataforma Interna Do Estado Do Paraná.** Boletim Paranaense de Geociências, v. 69, n. October 2016, 2013. Disponível em: <http://revistas.ufpr.br/geociencias/article/view/26022>.

NOBREGA, J. E. S.; SAWAKUCHI, A. O.; ALMEIDA, R. P. **Minerais pesados da porção média e superior do Grupo Gauritas (Eocambriano, RS): considerações sobre a proveniência sedimentar.** Revista Brasileira de Geociências, 38(3): 554- 565, 2008.

NOERNBERG M. A. **Processos morfodinâmicos no complexo estuarino de Paranaguá − Paraná − Brasil. Um estudo a partir de dados in situ e LandSat TM. Tese de Doutorado,** p.180, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2001.

NOERNBERG, M. A.; ANGELOTTI, R.; CALDEIRA, G. A.; RIBEIRO DE SOUSA, A. F. **Determinação da Sensibilidade do Litoral Paranaense à Contaminação por Petróleo.** Braz. J. Aquat. Sci. Technol. v. 12, p. 49-59. 2008.

NOVAK, L. P.; LAMOUR, M. R.; CATTANI, P. E. **Vulnerabilidade aos processos erosivos no litoral do paraná estabelecido pela aplicação da análise multicritérios.** RA'E GA - O Espaco Geografico em Analise, v. 38, p. 195–218, 2016.

OCHOA, F. L.; GÓES, A. M.; ROSSETI, D. F.; SAWAKUCHI, A. O.; CASSINI, L. V.; COUTINHO, J. M. V. **Discriminação dos depósitos cenozoicos da parte emersa da Bacia Paraíba (NE, Brasil) por meio de minerais pesados e granulometria**. Brazilian Journal of Geology, São Paulo, 43 (3): 555-570, 2013.

OLIVEIRA, E.; DOURADO, M. **Estudo da Variabilidade do Vento na Baía de Paranaguá.** X Omarsat. Resumo expandido. Formato digital. 2009.

PETTIJOHN, F. J. **Sedimentary rocks**. 1957.

PETTIJOHN, F.J.; POTTER, P.E.; SIEVER, R. **Sand and sandstones**. New York, Springer 553p. 1987.

PIERRI, N.; ANGULO, R.; SOUZA, M. DE; KIM, M. **A ocupação e o uso do solo no litoral paranaense: condicionantes, conflitos e tendências.** Desenvolvimento e Meio Ambiente, v. 13, p. 137–167, 2006. Disponível em: <http://revistas.ufpr.br/made/article/view/9849>.

PILATO, R. A.; FREITAS, F. R.; LAMOUR, M. R. **Comportamento morfo-sedimentar das**

praias do município de Pontal do Paraná: dados preliminares. XIII Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. 5 p. Brasil. 2011.

PINA, P.; LIRA, C. **Sediment image analysis as a method to obtain rapid and robust size measurements.** Journal of Coastal Research, 56(2):15621566. 2009.

PRESS, F, SIEVER R., GROTZINGER, J. & JORDAN, T. H. **Para Entender a Terra.** Tradução Rualdo Menegat, 4 ed. – Porto Alegre,p. 656, 2006.

QUADROS, C.J. L; MARONE, E.; ANGULO, R. J.; MARTINS, G. J.; NETTO JR, J. P. B. **Dinâmica morfosedimentar associada à incidência de sistemas frontais em duas praias do litoral paranaense.** Boletim Paranaense de Geociências, v. 60, 2007.

QUADROS, C.J.L. **Morfodinâmica praial associada a passagens de sistemas frontais em duas praias arenosas do litoral paranaense.** Dissertação (Mestrado em Geologia) Universidade Federal do Paraná., Curitiba, 2002. Disponível em: <https://scholar.google.com.br/scholar?q=Morfodinâmica+praial+associada+a+passagens+de+sistemas+frontais+em+duas+praias+arenosas+do+litoral+paranaense&btnG=&hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5#0>.

RITTENHOUSE, Gordon. **Transportation and deposition of heavy mineral.** Geological Society of America Bulletin, v. 54, n. 12, p. 1725-1780, 1943.

ROSSETTI, D. F.; TOLEDO, P.M.; GÓES, A.M. **New Geological Framework for the Western Amazonia: Implications for Biogeography and Evolution.** Quaternary Research, 63:78-89. 2005.

RUBEY, W.W. **The size distribution of heavy minerals within a water-lain sandstone. Journal of Sedimentary Petrology**, **3**:3–29. 1933.

SANTOS FILHO, J. R. **Geomorfologia da plataforma continental do estado do Paraná e norte de Santa Catarina**. Monografia (Graduação em Oceanografia). UFPR. 67 p. 2009.

SHORT, A.D. **Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics.** Editora John Wiley & Sons Ltd. New York, 1999. 392p.

SHORT, A.D. **Handbook of beach and Shoreface Morphodynamics.** Editora John Wiley & Sons Ltd. New York,1999. 392p. 1999.

SIGA JUNIOR, O. **Domínios tectônicos do Sudeste do Paraná e Nordeste de Santa Catarina: geocronologia e evolução crustal.** Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995. doi:10.11606/T.44.1995.tde-05112013-093542. Recuperado em 2018-10-30, de www.teses.usp.br

SILVA, M.A.M. **Proveniência de minerais pesados em areias praiais no sudeste brasileiro: de Rio Grande a Chuí, Rio Grande do Sul.** Sedimentary Geology, 24: 133-148. 1978.

SOUZA, C. R. G. **Praias Arenos Oceânicas do Estado de São Paulo (Brasil): Síntese dos Conhecimentos sobre morfodinâmico, sedimentologia, transporte costeiro e erosão costeira.** Revista do departamento de Geografia, USP, p. 307-371, 2012.

SOUZA, D. R. DE. **Distribuição dos minerais pesados ao longo do curso inferior do rio Itajaí-Açu/SC e sua correlação sedimentar com a planície costeira, praia e plataforma continental interna adjacente**, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/89877>.

SUGUIO, K; COIMBRA, A. M.; GUARDADO, L. R. **Correlação sedimentológica de arenitos da bacia do Paraná.** Boletim IG, v. 5, p. 85-116, 1974.

SUGUIO, K; FULFARO, V. J. **Geologia da margem ocidental da bacia do Parnaíba (Estado do Pará).** Boletim IG, v. 8, p. 31-54, 1977.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. São Paulo, Edgard Blücher, 400p. 2007.

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. No. 552.5 SUG. 316 p. 1973.

TANAKA, A. P. B. **Sedimentologia, Cronologia e Dinâmica Progradacional das Planícies Costeiras de Campos Verdes e Ji (Laguna, SC)**. Universidade de São Paulo. 2010.

TANAKA, A.P.B. **Evolução Sedimentar da Planície Retrobarreira de Campos Verdes (Laguna, SC) e os Sambaquis de Carniça.** São Paulo, Inst. Geoc. Univ. S. Paulo. Monografia. 84p. 2007.

TANAKA, A.P.B., GIANNINI, P.C.F., SAWAKUCHI, A.O. **Rumo de crescimento progradacional da planície de cordões litorâneos de Campos Verdes (Laguna, SC).** 44o Congresso Brasileiro de Geologia, Curitiba. 2008.

TOLDO JR, E. E. **Parâmetros morfodinâmicos da Praia de Imbé, RS.** Pesquisas, v. 20, p. 27-32, 1993.

TRASK, P. D. **Source Of Beach Sand At Santa Barbara, California, As Indicated By Mineral Grain Studies**. Corps Of Engineers Washington Dc Beach Erosion Board, 1952.

VAN ANDEL, T. H. **Recent Marine Sediments of Gulf of California**: PART 2. 1964.

VANHONI, F.; MENDONÇA, F. **O clima do litoral do estado do Paraná.** Revista Brasileira de Climatologia, v. 3, p. 49–63, 2008. Disponível em: <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/revistaabclima/article/view/25423/17042>.

VEIGA, F.A. **Processos morfodinâmicos e sedimentológicos na plataforma continental rasa paranaense.** Tese (Pós-graduação em Geologia Ambiental) – Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

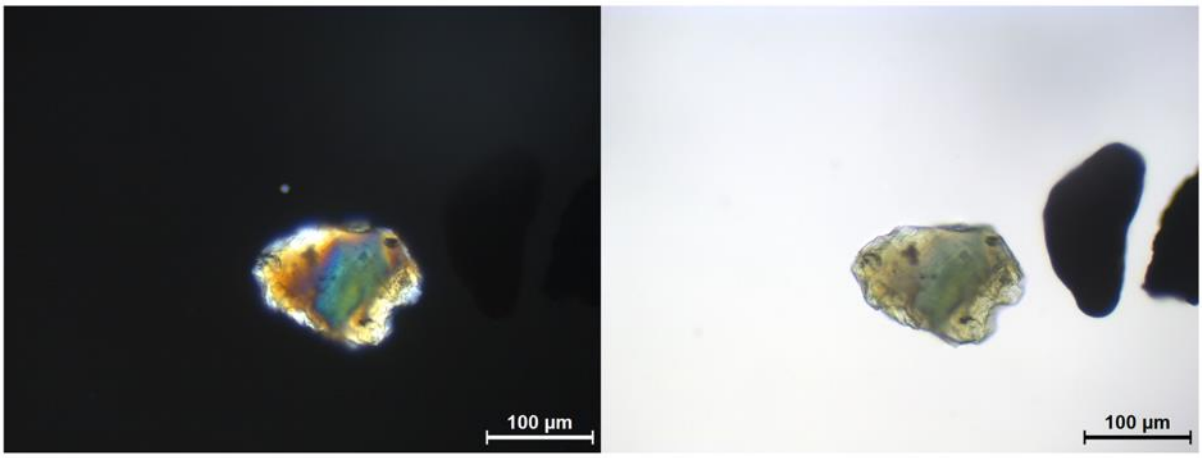
VEIGA, F.A.; ANGULO, R.J.; MARONE, E.; BRANDINI, F.P. **Características sedimentológicas da plataforma continental interna rasa na porção central do litoral paranaense.** Boletim Paranaense de Geociências. n.55, p.67-75. Editora UFPR. Curitiba: 2004.

VILLWOCK, J. A. **Processos costeiros e a formação das praias arenosas e campos de dunas ao longo da costa sul e sudeste brasileira.** Simpósio sobre ecossistemas da costa sul-sudeste brasileira: Síntese dos conhecimentos, v. 1, p. 380-398, 1987.

WENTWORTH, C.R. **A scale of grade and class terms for clastic sediments.** Journal of Geology. n.30. p. 377-392. Editora The University of Chicago Press. Chicago, 1922.

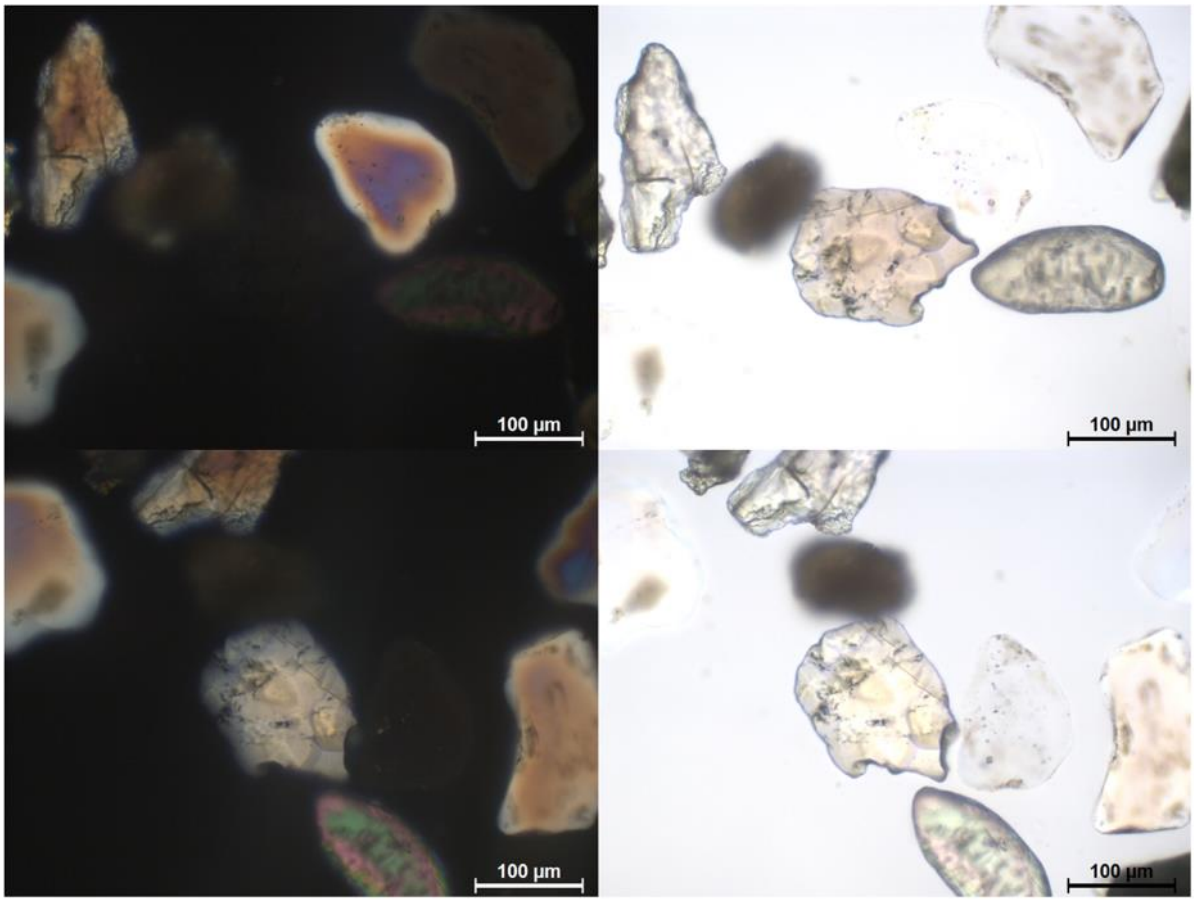
APÊNDICE 1 – FOTOGRAMETRIA DE MINERAIS PESADO

ACTINOLITA ($(Ca,Na)_2(Mg,Fe)_5(Si,Al)_8O_{22}(OH)_2$)

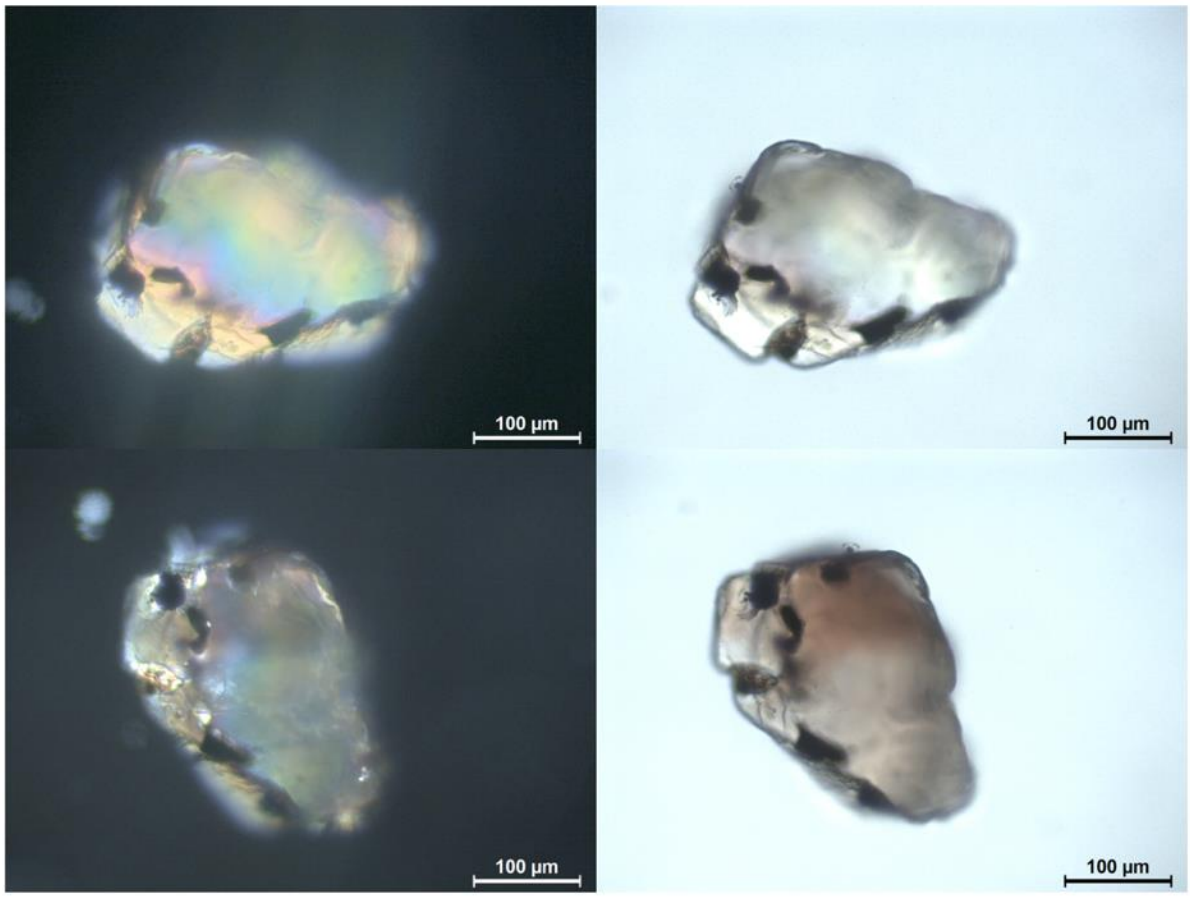


Actinolita em luz polarizada (à esquerda) e luz natural (à direita), apresentando hábito fibroso e cor esverdeada característica. Actinolitas possuem ângulo de extinção menor, entre 11 e 15, sendo geralmente mais claras e menos pleocróicas.

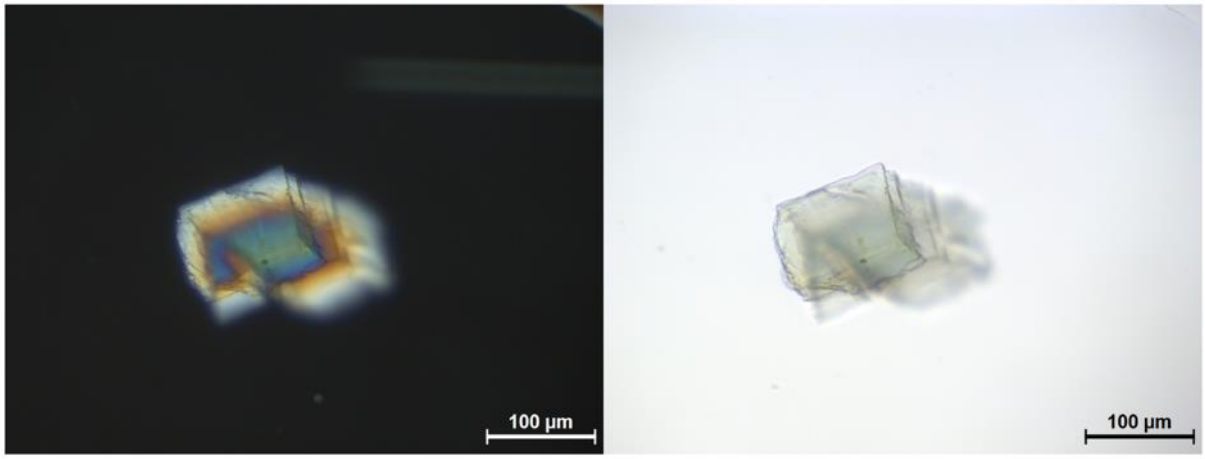
ANDALUSITA (Al_2Sio_5)



Andalusitas sob lentes polarizadas (à esquerda) e luz natural (à direita), onde pode se obervar o distinto pleocroísmo do mineral de incolor a rosa e/ou roseado, podendo colorir o mineral por completo, ou apenas partes dele. Também é observado o relevo de baixo a moderado e extinção paralela. grãos irregulares e angulosos, subarredondados, evoluindo para arredondados com a abrasão. Andalusitas tendem a ser mais comuns nas frações mais grossas das areias. Uma clivagem boa em (110) pode dominar populações de grãos alongados, algumas vezes apresentando resquícios das faces prismáticas caso sejam mais proximais. Raramente alcançam maiores graus de esfericidade, mesmo em ambientes de praia (ADDAD, 2010).

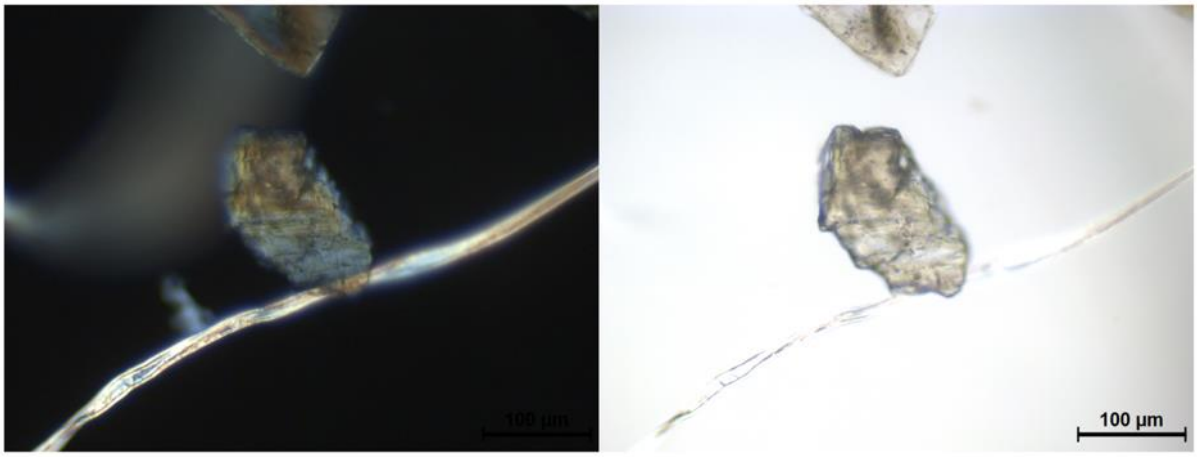


CIANITA (Al_2O (Sio_4))



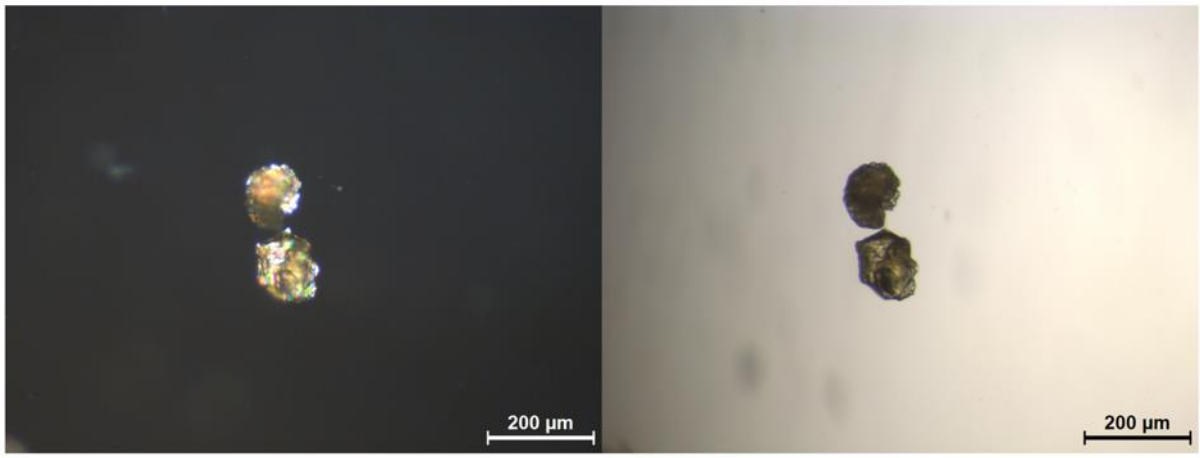
Cianita com clivagem característica em {100} e {001}, bem preservada, sem muitas inclusões aparentes. Também ocorrem como fragmentos de clivagem, alongados com cantos arredondados, evoluindo com a abrasão para grãos ovais achatados. Eventualmente podem ser encontrados grãos arqueados ou dobrados. As cianitas tendem a ser mais freqüentes nas frações mais grossas das areias.

CLINOZOISITA ($Ca_2Al_3O(SiO_4)(Si_2O_7)(OH)$)



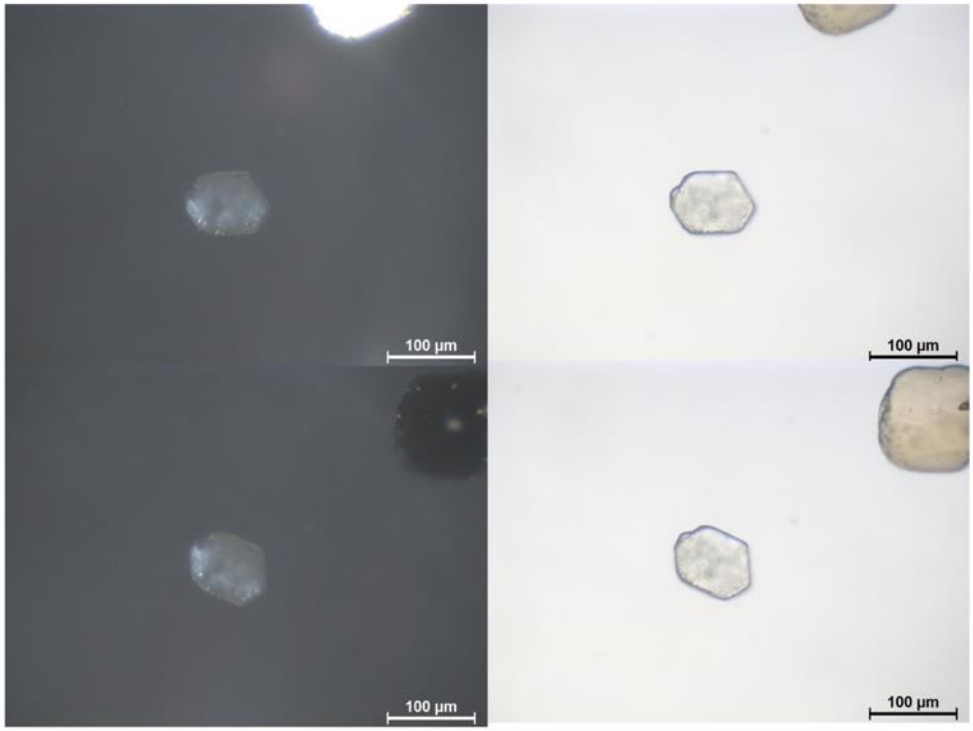
Clinozoisita com alto relevo, em posição de extinção paralela, porém imcompleta. Hábito angular, cor amarelo pálido/verde pálido característico com cores de interferência de segunda ordem em azul (à esquerda).

EPIDOTO ((Ca,Na,Fe)$al_2O.Si_3O_{11}OH$)



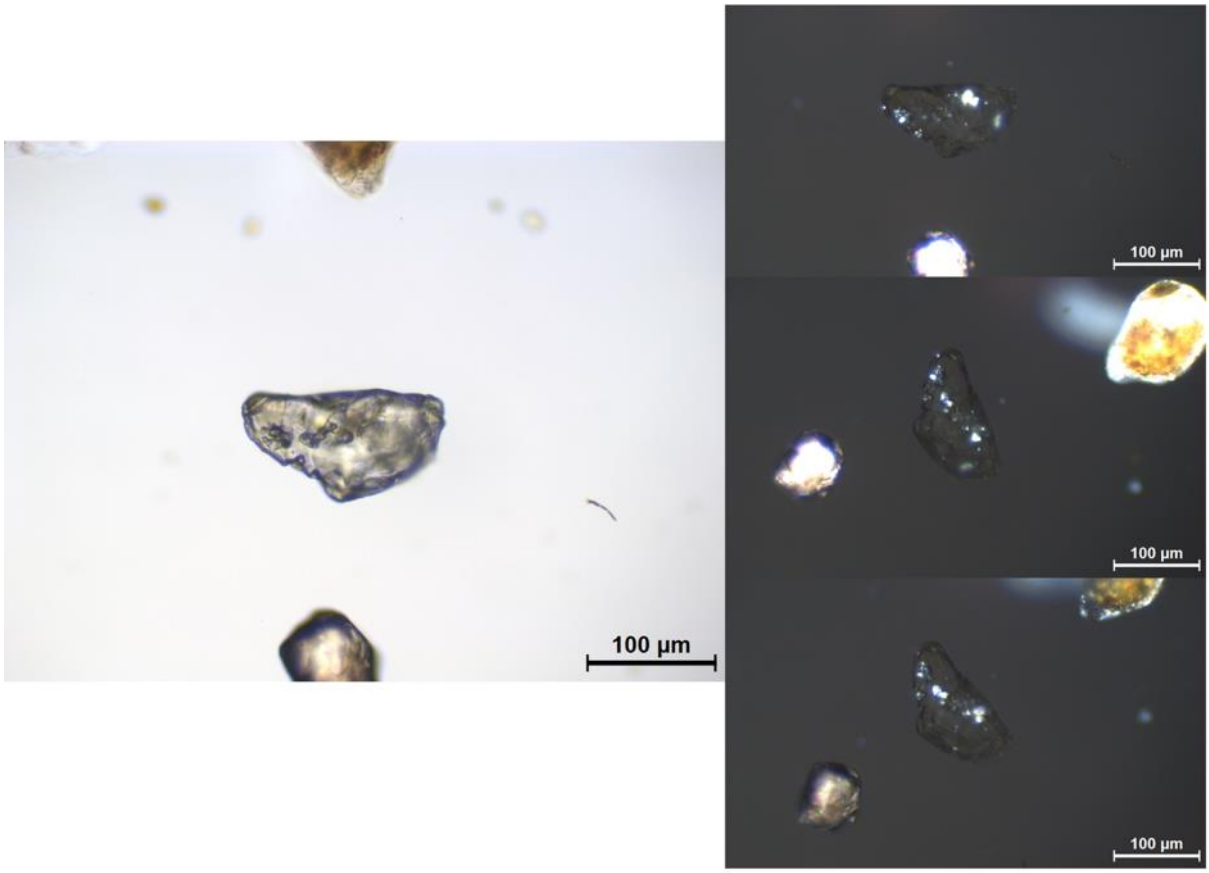
Dois epidotos em luz polarizada e natural, apresentando alto relevo característico, cor verde pistache em luz natural e cores brilhantes de segunda ordem em luz polarizada. Segundo ADDAD (2010), os grãos são controlados por fraturas conchoidais, atingindo arredondamento alto em sedimentos retrabalhados ou ambientes de praia. Algumas variedades são dominadas pela clivagem paralela ao alongamento dos grãos em (001), que chega a ser perfeita. Muitas populações, se caracterizam por grãos límpidos irregulares que lembram vidro quebrado.

GRANADA ($A_3B_2(SiO_4)_3$)

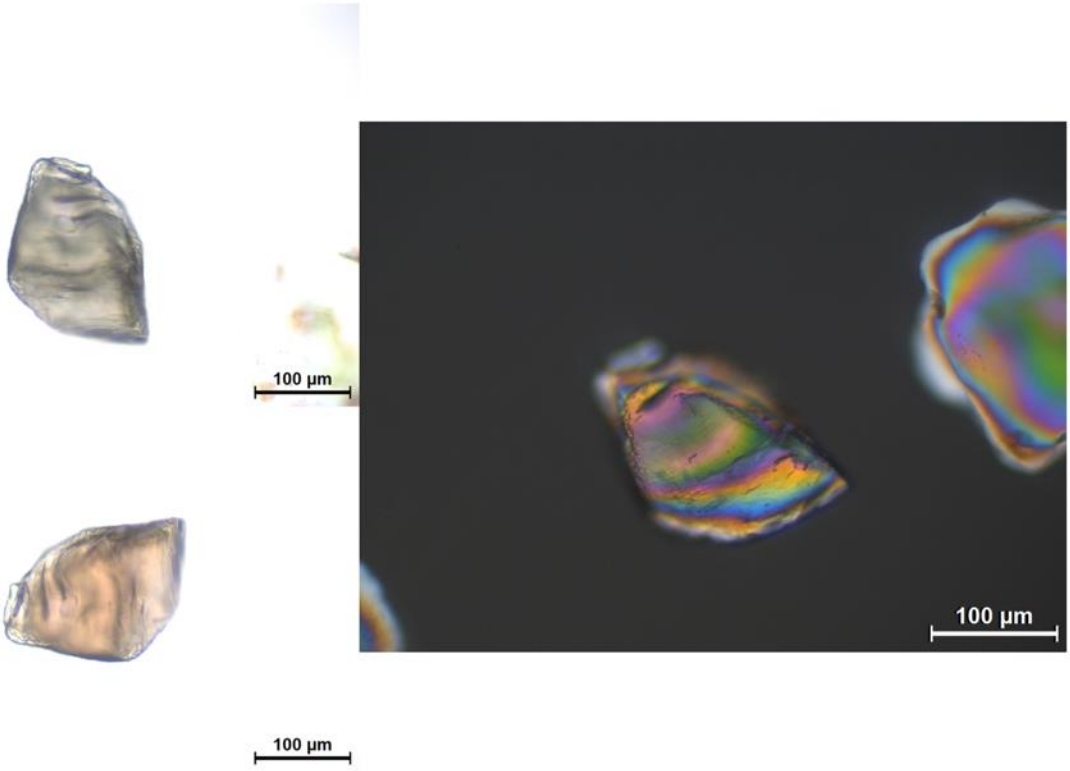


Na Imagem acima foram identificadas granadas isotrópica com isometria na forma de um hexagono bem preservadas, indicando baixo grau de maturidade. Enquanto que abaixo, foi

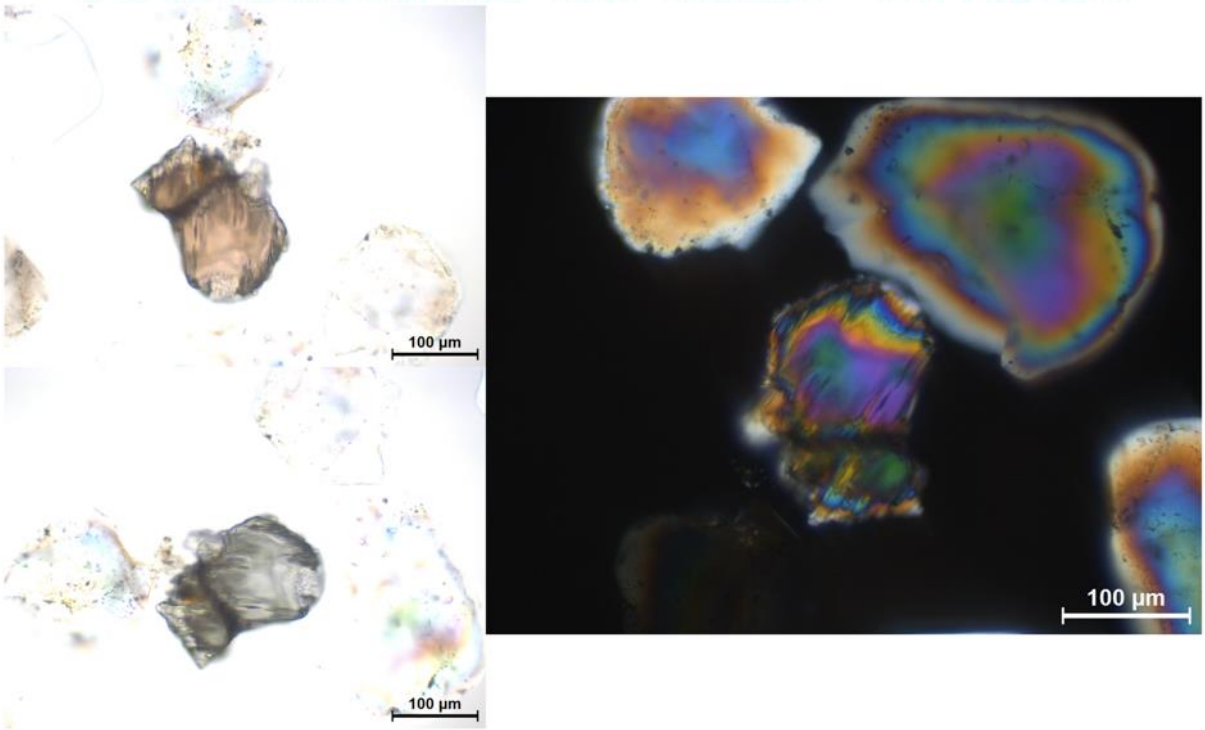
observado outra granda sob luz natural com um relevo muito alto, e a sua direita, o mesmo mineral é representado sob luz polarizada em ângulos diversos demonstrando a isotropia característica de todos os minerais isométricos, que ficam sempre extintos em luz polarizada. No entanto, percebe-se que o mineral não fica completamente extinto pela presença de algumas inclusões com cores de interferência de primeira ordem.



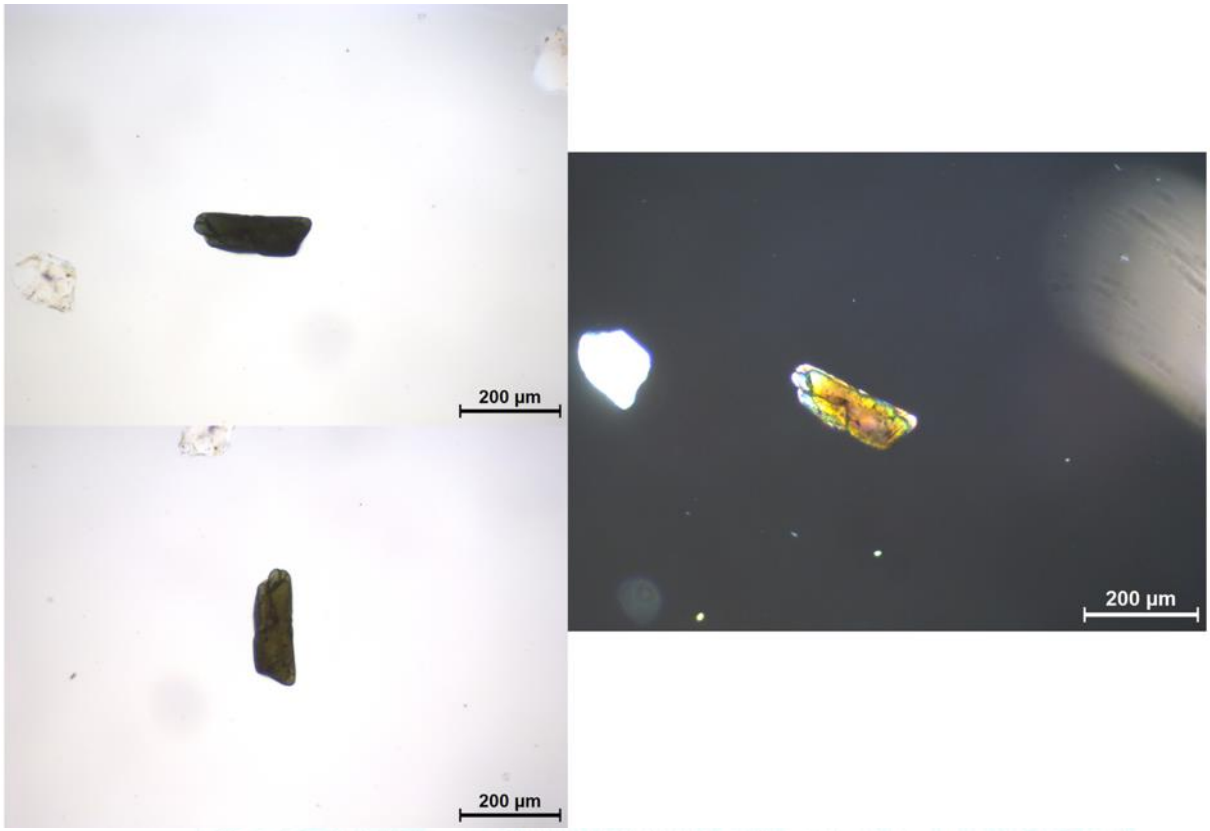
HIPERSTÊNIO ($(Fe^{2},Mg)_{2}[Si_{2}O_{6}]$)



Minerais de Hiperstênio com distintas cores, mudando de tons rosa até um verde pálido como distinto pleocroísmo, relevo moderado. Em luz polarizada, os minerais apresentam cores de interferência de segunda ordem.

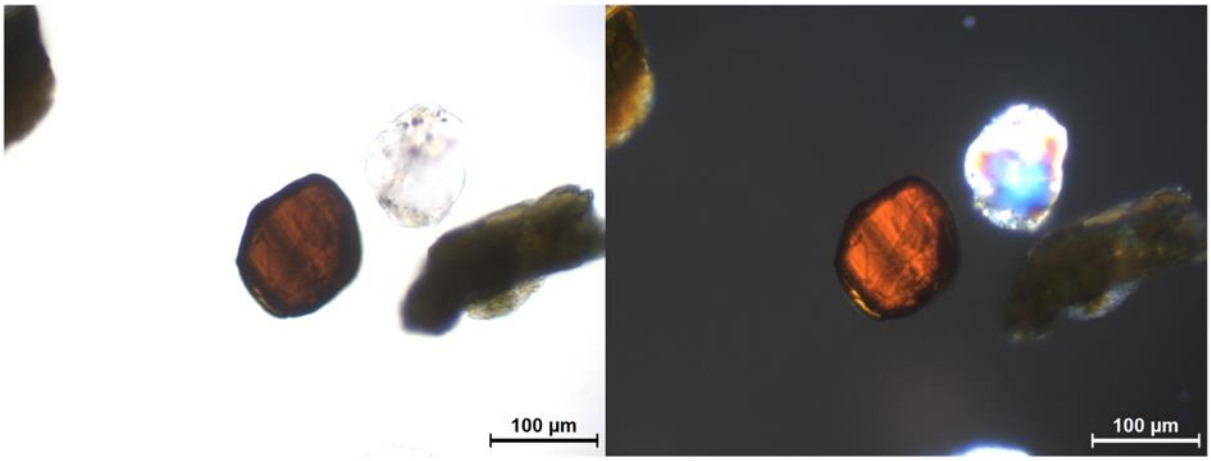


<u>HORNBLENDA</u> ($Ca_2Na(Mg,Fe)_4(Al,Fe,Ti)AlSi_8AlO_{22}(OH,O)_2$)



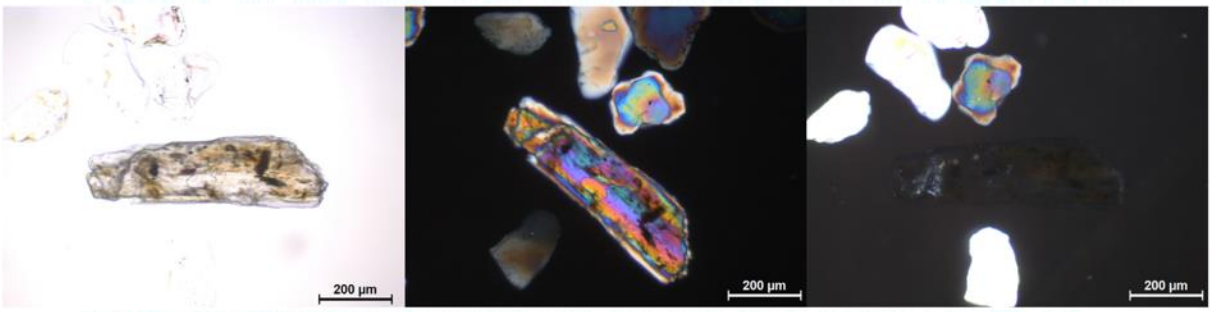
Mineral de Hornblenda encontrado em concentrações variáveis ao longo do perfil estudado, podendo indicar maior proximidade a área fonte devido a sua instabilidade perante os processos químicos e físicos. Grãos mais espessos podem se tornar razoavelmente arredondados com o transporte em ambientes favoráveis. Mostram fraturas conchoidais em direções normais às clivagens. Dissoluções e alterações nas bordas, acompanhando e penetrando nas clivagens, não são incomuns em grãos com histórico de soterramento, atingindo aspectos esqueletais. Muitas vezes apresentam inclusões de magnetita, rutilo e apatita.

RUTILO (TiO_2)



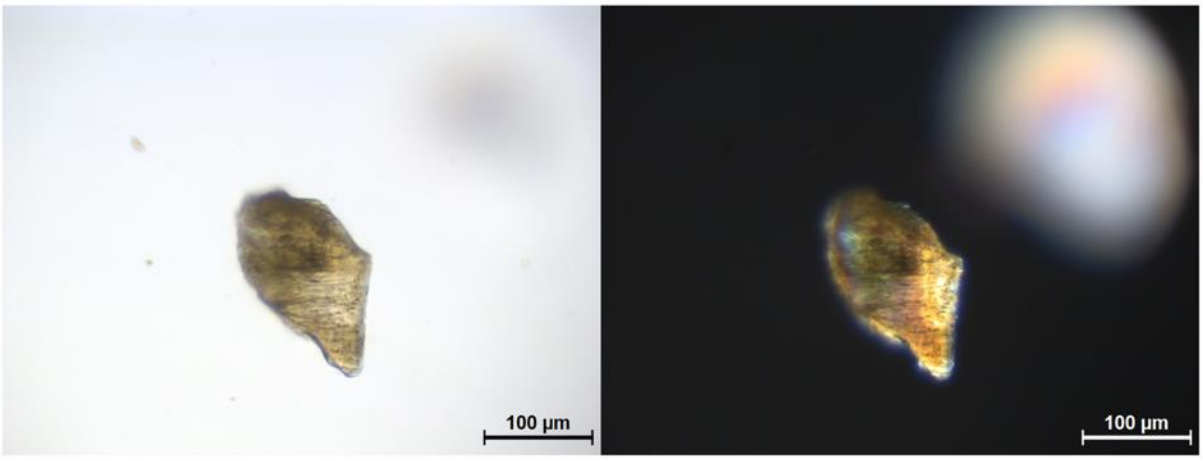
Dentre os minerais ultraestáveis encontrados nesse estudo, o rutilo apresentou menor concentração nas amostras. Este mineral possui características bem constratantes dos demais minerais, o que facilita a sua identificação. Apresentando alto relevo, cor vermelho amarronzada e cores de interferência extremas que são muitas vezes mascaradas pela cor marcante do mineral. Segundo ADDAD (2010), o rutilo tem a tendência de conservar o formato euédrico devido à dureza, com arestas progressivamente arredondadas. Chegam a atingir altos graus de arredondamento e esfericidade em sedimentos retrabalhados. Apresentam clivagens distintas em (100) e (110), além de fratura subconchoidal.

SILIMANITA (Al_2Sio_5)



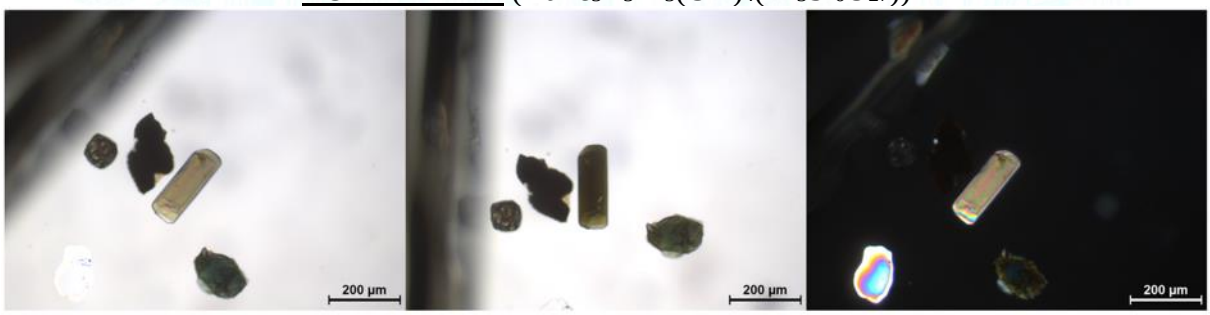
A silimita é um mineral geralmente incolor, podendo apresentar bastantes inclusões de outros minerais e hábito prismático característico. Em luz polarizada, o mineral apresenta fortes cores de interferência de segunda ordem e extinção paralela completa.

TREMOLITA ($Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$)



Os grãos detríticos de tremolita (acima) geralmente apresentam intrusões opacas e hábito prismático. Se possível a visualização, a clivagem do mineral geralmente ocorre em ângulos de 60° e 120°. Além disso, a baixa birrefringência, falta de pleocroísmo e extinção angular faz com que o mineral seja facilmente identificado. Bordas recortadas, serrilhadas e denteadas são comuns. Mostram fraturas conchoidais em direções normais às clivagens. Dissoluções e alterações para clorita, nas bordas ou acompanhando e penetrando nas clivagens, são comuns em grãos com histórico de soterramento (ADDAD, 2010).

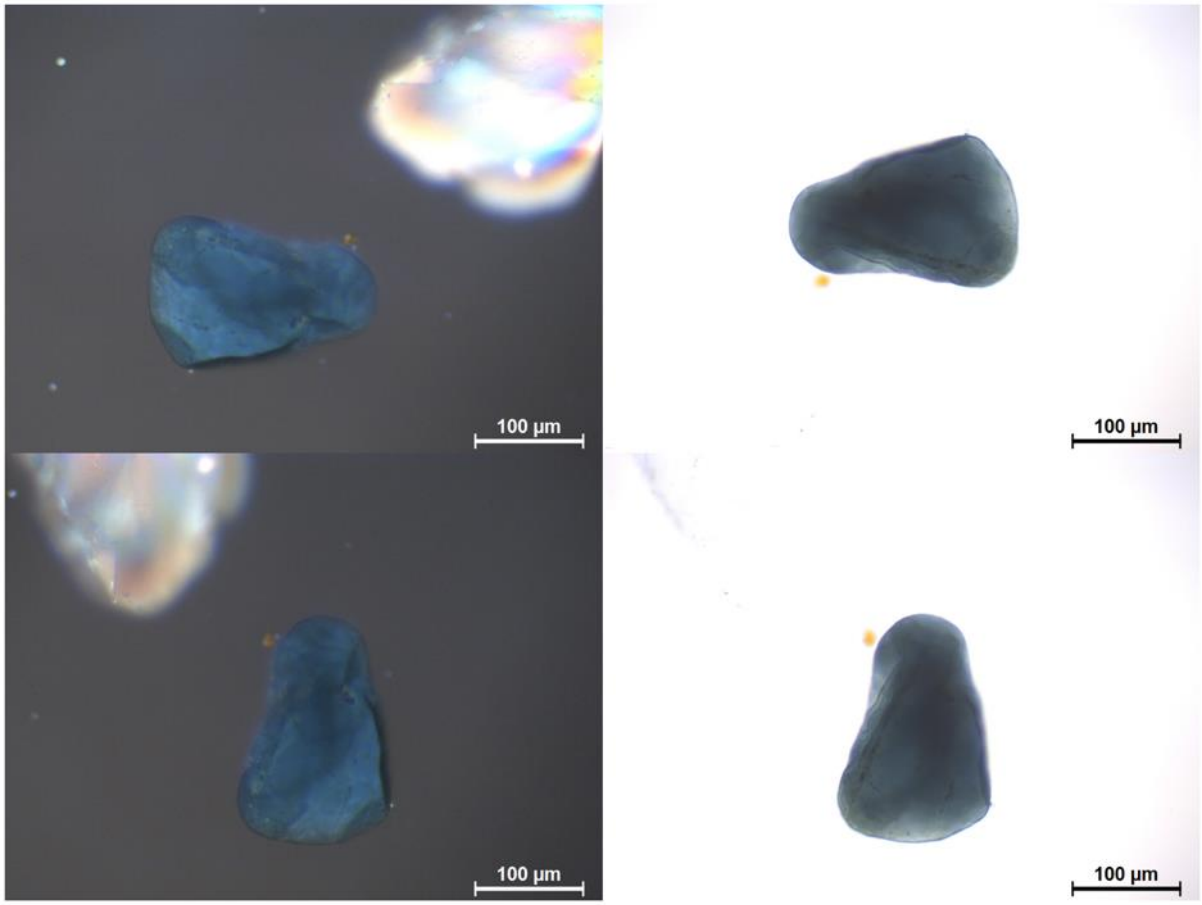
<u>TURMALINA</u> ($NaFe_3B_3Al_3(OH)_4(Al_3Si_6O_{27})$)



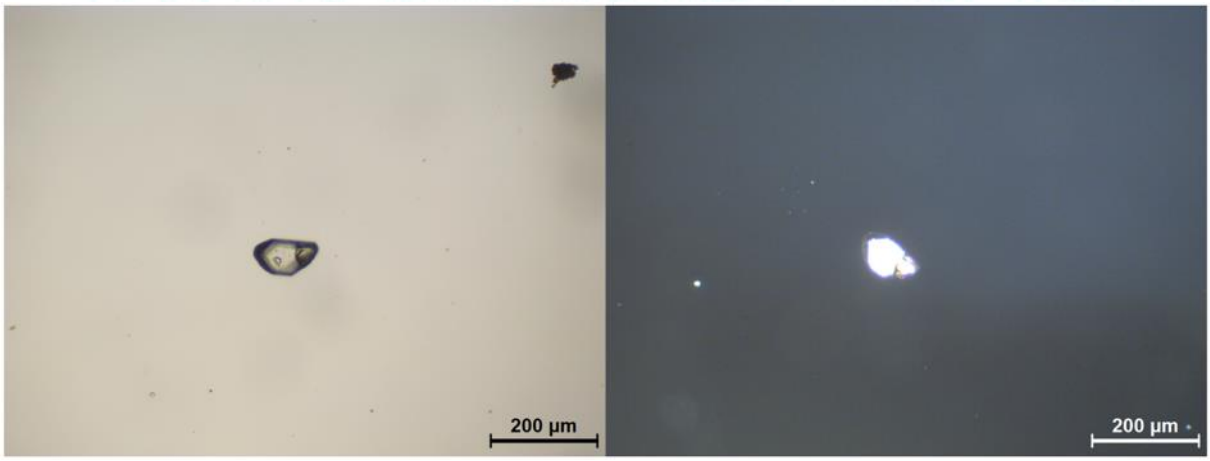
Muito abundantes nesse estudo, as turmalinas podem ser identificadas pelo seu distinto pleocroísmo combinado a altas cores de interferência, fazendo com que o mineral seja diferenciado das estaurolitas. Além das turmalinas comuns, também foram identificados outros minerais pertencentes ao grupo das turmalinas, porém com cores características marcantes, como: Azul (abaixo), Pardas e roxas.

As características de minerais de turmalina nos sedimentos apontam grãos prismáticos, estriados verticalmente, a esféricos, passando por fragmentos irregulares com diversos graus de arredondamento. A partição basal e fraturamento conchoidal controlam os grãos durante o transporte. Terminações do prisma são comuns em grãos proximais. Uma forma típica é a seção

basal trigonal, com laterais de aparência curvada. São comuns os grãos com sobrecrescimentos sintaxiais ou descontínuos, formados durante diagênese ou metamorfismo (ADDAD, 2010).

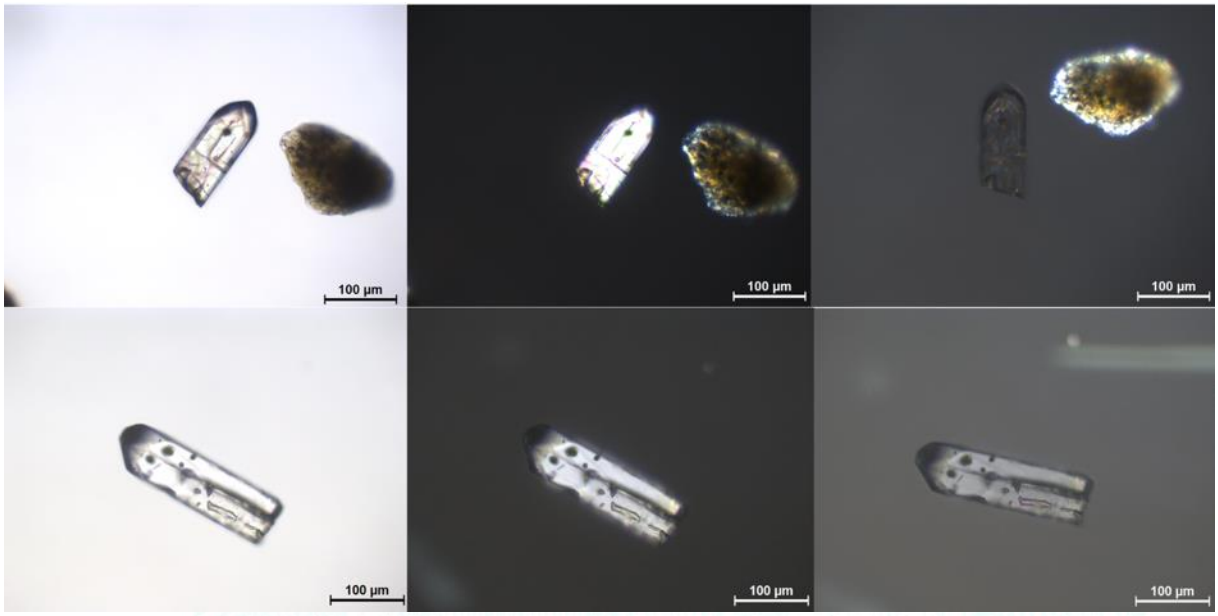


ZIRCÃO ($ZrSiO_4$)

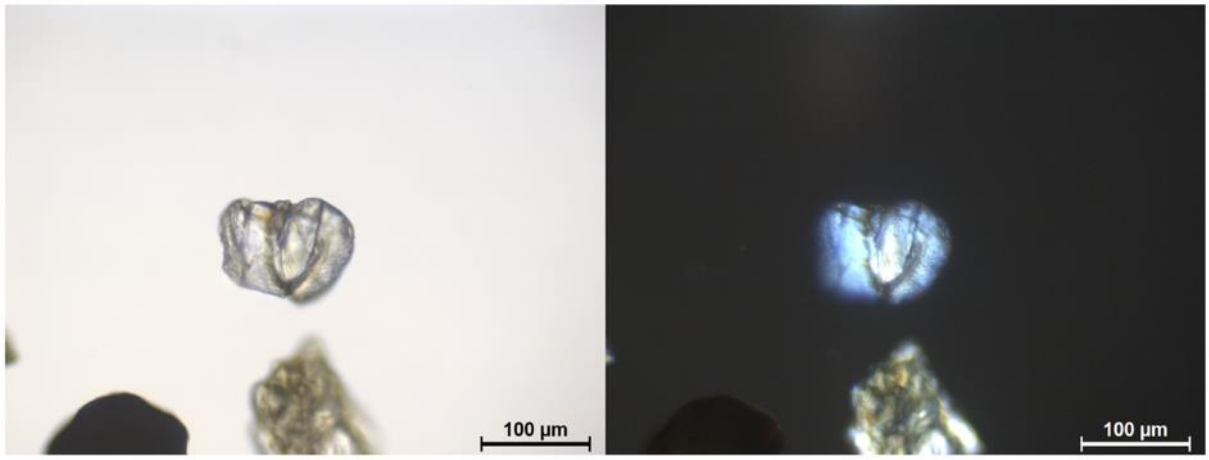


Devido à sua estabilidade química e dureza alta, os minerais de Zircão tendem a manter a forma de grãos prismáticos. Em retrabalhamentos sedimentares ou ambientes de praia, evolui

para grãos ovais, perfeitamente arredondados. Os grãos apresentam fraturamento conchoidal e podem mostrar uma clivagem imperfeita em (110), determinando populações com presença de grãos quebrados. Em populações mistas, os grãos maiores tendem a ser mais arredondados, enquanto que grãos menores mostram formas próximas às euédricas.



ZOISITA $(Ca_2Al_2)(SiO_4)(Si_2O_7)(OH))$



Zoisitas são minerais com características cores de interferência em tons de azul e extinção ondulatória incompleta, como representado na figura acima. Também são reconhecidas pelo alto relevo e hábito prismático.

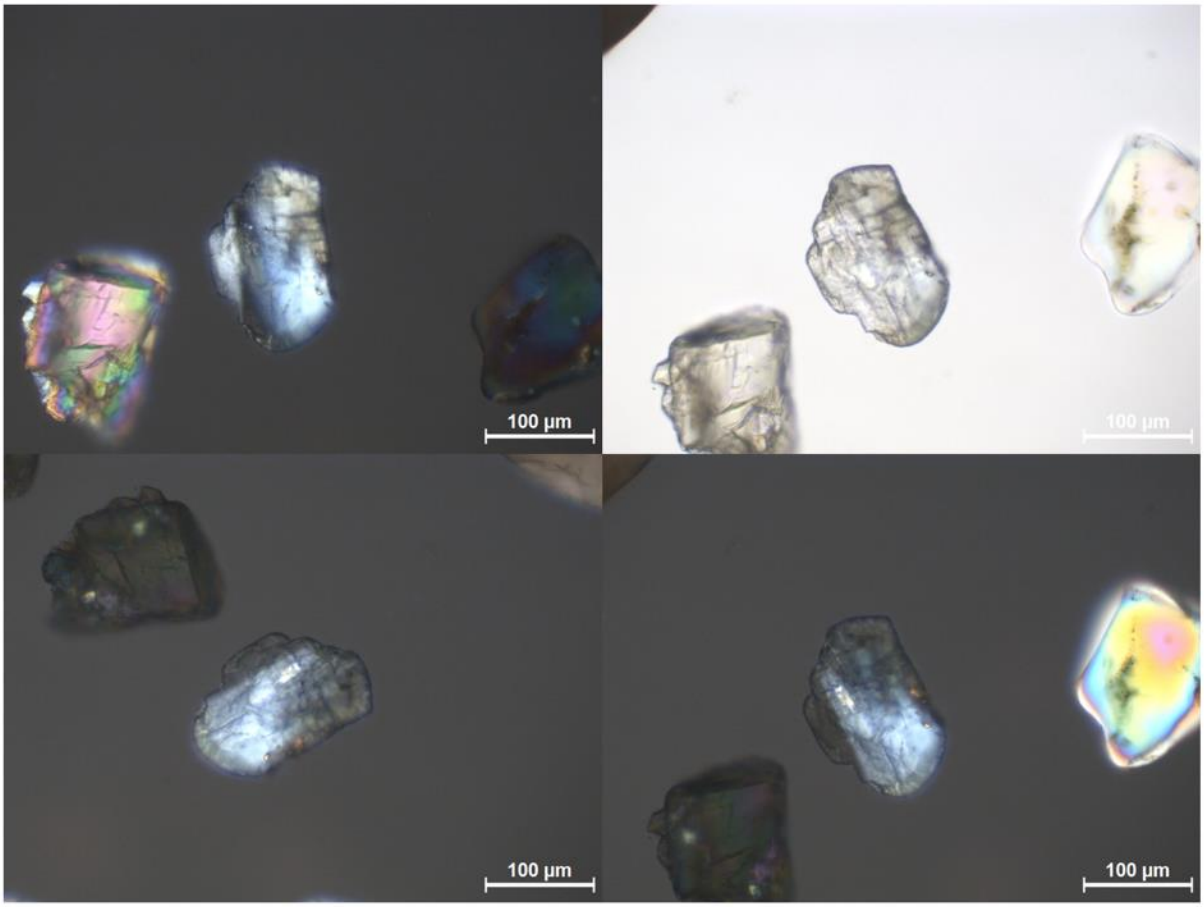

100 µm
100 µm
100 µm
100 µm

TABELA 2- CARACTERÍSTICAS TEXTURAIS E ÓTICAS QUE SÃO USADAS COMO REFERENCIAL BÁSICO PARA
MINERALÓGICAS.

Mineral/ Fórmula	**Cor**	**Densidade (g/cm^3)**	**Pleocroísmo**	**Relevo**	**Extinção**	**Birrefringência**	**Caráter ótico**	
Apatita/ $Ca_5(PO_4)_3$	Incolor, amarelo, cinza e marrom	3,1 - 3,2	Variedades avermelhada coloridas pálida avermelhada ou marrom amarelado.	Moderado	Paralela	Baixa, variando de 0,003 a 0,004	Uniaxial negativo	Ocorre em como min sedimentar
Epidoto/ (Ca,Na,Fe)al$_2$o.Si $_3$o$_{11}$OH	Verde, amarelo e vermelho	3,3 - 3,4	Incolor, verde claro e amarelo claro	Baixo relevo	Paralela	Alta birrefringência e cores anômalas.	Biaxial negativo	Mineral tip rochas co skarnitos; t e arenitos alteração d
Estaurolita/ $(Fe,Mg)_2Al_9O_6[SiO_4]_4(O,OH)_2$	Marrom-escuro, marrom-avermelhado e marrom-amarelado	3,7 - 3,8	Incolor, amarelo claro e amarelo ouro	Alto relevo	Paralela	Moderada.	Biaxial positivo	Mineral típ alumínio, ta resistência
Hornblenda/ $Ca_2Na(Mg,Fe)_4(Al,Fe,Ti)AlSi_8AlO_{22}(OH,O)_2$	Incolor, verde ou castanho	2,9 - 3,5	Amarelo esverdeado, marrom esverdeado e castanho avermelhado	Relevo moderado.	Paralela	Moderada	Biaxial negativa e Positiva	É um min estando t detríticos
Ilmenita/ $FeTiO_2$	Preto	4,5 - 5	-	Alto relevo	Ondulante	Muito fraca	-	Ocorre co metamórfic
Rutilo/ TiO_2	Vermelho, marrom, azul	4,1 - 4,2	Vermelho, amarelo e marrom	Alto relevo	Paralela	Extremo	Uniaxial positivo	Ocorre com granitos, frequentem titaníferas
Silimanita/ (Al_2SiO_5)	Marrom, marrom-acinzentado e branco acinzentado	3,2 -3,3	Amarelo, verde e marrom	Alto relevo	Paralela nas seções longitudinais e simétrica na seção basal	Moderada, 0,020 a 0,023	Biaxial positiva	Ocorre em metamórfic dumortierit
Turmalina/ $(NaFe_3B_3Al_3(OH)_4(Al_3Si_6O_{27})$	Verde, azul pleocróico	3,0 - 3,25	Amarelo claro, verde escuro e azul escuro	Alto relevo	Paralela	Moderada a alta, variando de 0,022 a 0,040	Uniaxial negativo	É muito associado como xisto
Zircão/ $ZrSiO_4$	Incolor, amarelo-pálido, amarelo-esverdeado	4,6 - 4,7	-	Alto relevo	Paralela	Muito alta, variando de 0,060 a 0,062	Uniaxial positivo	Mineral ac ricas em Acessório

Mineral/ Fórmula	Cor	Densidade (g/cm^3)	Pleocroísmo	Relevo	Extinção	Birrefringência	Caráter ótico	
Andalusita/ Al_2Sio_5	Branco, vermelho-róseo, violeta	3,1 - 3,2	Branco a rosado	Baixo relevo	Paralela	Fraca, variando de 0,007 a 0,011	Biaxial positivo	Encontr Oriundo argilosa
Hiperstênio $(Fe^2,Mg)_2[Si_2O_6]$	Tons de rosa, avermelhado, marrom ou verde	3,5 - 3,5	Amarelo, Verde Claro, verde	Alto relevo	Paralela	Moderada a forte	Biaxial Negativo	Comum Gabros, granitos
Granada $A_3B_2(SiO_4)_3$	Incolor, Rosado, vermelho e marrom roseado	3,5 - 4,3	-	Alto relevo	Sempre extinto	-	Uniaxial ou biaxial negativo	Comum pegmati granada
Clinozoisita $Ca_2Al_3O(SiO_4)(Si_2O_7)(OH)$	Incolor, amarelado ou esverdeado	3,35 - 3,37	Fraco	Alto relevo	Paralela, porém incompleta	Moderada a forte, cores de segunda ordem	Biaxial positivo	Junto co de mata em xist
Cianita Al_2SiO_5	Incolor, azul	3,55 – 3,66	Minerais azuis possuem leve pleocroísmo	Moderado	Inclinada	Cores de Primeira ordem	Biaxial Negativo	Encontr como u
Zoisita $Ca_2Al_2)(SiO_4)(Si_2O_7)(OH)$	Incolor, rosa	3,35	-	Alto relevo	Geralmente paralela, mas pode ser ondulatória e incompleta	Moderada	Biaxial positivo	Zoisitas grau ca rochas epidotos
Tremolita $Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$	Incolor, esverdeado, acinzentado	3,0 – 3,2	-	Moderado	Angular	Fraca a Moderada	Biaxial negativo	Mais co regional tremolit baixo gr
Diopsídio $CaMgSi_2O_6$	Incolor ou esverdeado	3,2	Esverdeado, azulado, marrom esverdeado e amarelo esverdeado	Alto relevo	Inclinado	Moderada a Forte	Biaxial Positivo	Present subalca Também
Augita $(Ca,Na)(Mg,Fe,Al)(Si,Al)_2O_6$	Tons de verde, marrom ou amarelo amarronzado	3,2 – 3,4	Azulado, verde ou amarelo esverdeado	Alto relevo	Inclinada	Moderada	Biaxial Positivo	Comum interme basaltos