

# CARACTERIZAÇÃO DAS PRAIAS DE NAVEGANTES E ITAJAÍ (SC) EM RELAÇÃO ÀS CARACTERÍSTICAS SEDIMENTOLÓGICAS E COMPOSIÇÃO DOS MINERAIS LEVES (QUARTZO E FELDSPATO)

HEIDRICH, C. & ABREU, J. G. N.\*

Laboratório de Oceanografia Geológica, Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar - CTTMar, Universidade do Vale do Itajaí - UNIVALI, Itajaí, SC, Brasil

\*Corresponding author: gabreu@univali.br

## ABSTRACT

Heidrich, C. & Abreu, J. G. N. (2012) Characterization of Navegantes and Itajaí beaches (SC) relative to sedimentology and light mineral composition (quartz and feldspar). *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.* 16(2):37-49. eISSN 1983-9057. This study collected sand samples at Navegantes and Itajaí beaches during all seasons of the year, and used the staining technique to determine the quartz/feldspar ratio (R(Q/F)). This parameter can be used to measure the maturity of sedimentary deposits. Samples were collected and the beach profile was measured at Gravatá, Meia-Praia, Navegantes Jetty; Atalaia, Cabeçudas and Praia Brava (3 profiles: Morcego, Salva-Vidas and Amores) at Itajaí. The staining technique was used to differentiate between sediments that were visually similar but with different mineralogical composition. Using this technique it is possible to distinguish both due to a colored precipitate on the feldspars when exposed to a specific reagent. The results showed that dissipative beaches (Navegantes and Atalaia) were composed by thin, better selected and well rounded sediments, with a greater value of R(Q/F). Reflective (Cabeçudas) and intermediate beaches (Brava) were composed of medium sand, moderately selected and rounded, with lower values of R(Q/F). On the shoreface zone the sediment doesn't suffer much weathering, being more coarse, not rolled, and with greater concentration of feldspars. This high concentration is due to the aquatic transport which is not predominant on the foreshore and the backshore that show aeolian transport. Higher values of R(Q/F) occurred during fall and spring, lower values during winter and summer. The staining technique proved to be an effective method for distinguishing quartz and feldspars. The amount of quartz found was much higher than feldspars, reiterating that beaches are sandy environments with mature sediments.

**Keywords:** beach mineralogy, quartz/feldspar ratio, weathering.

## INTRODUÇÃO

A maturidade mineralógica de um ambiente pode ser determinada através da relação existente entre a concentração de um ou mais minerais mais resistentes ao intemperismo com outro que seja mais suscetível a este. O quartzo e o feldspato são os minerais mais utilizados neste cálculo, definindo assim o termo razão quartzo/feldspato (R(Q/F)) (Mikesell *et al.*, 2004). Os valores da R(Q/F) dependem de fatores como a concentração dos minerais na área fonte, do tempo e intensidade transporte que move os grãos até o local de ocorrência e dos processos de intemperismo que controlam a alteração dos feldspatos e a preservação do quartzo (Lisitzin, 1996). Em razão disso a identificação destes minerais em campo ou em laboratório, é muitas vezes dificultada pelo estado de alteração em que os minerais podem se apresentar. Em alguns casos, observações mais criteriosas podem solucionar dúvidas e em outros, são necessárias análises laboratoriais mais detalhadas, com o emprego de técnicas que possibilitem uma boa distinção entre os minerais em questão.

### Mineralogia e Análise por Coloração Diferencial

A coloração diferencial é uma técnica utilizada na identificação de duas ou mais espécies minerais em

amostras geológicas e se fundamenta numa reação química entre o mineral e uma substância corante, colorindo o mineral específico (Gabriel & Cox, 1929; Chayes, 1952; Bailey & Stevens, 1960; Berger *et al.*, 1996).

O quartzo e os feldspatos podem ser considerados minerais leves quando comparados aos demais minerais que são considerados, A fração pesada pode ser separada da leve usando-se bromofórmio (CHBr<sub>3</sub>), um líquido de densidade igual a 2,89 g/cm<sup>3</sup>, de modo que os minerais pesados submergem e os leves flutuam. O quartzo, predominante na maioria dos ambientes praias, tem dureza 7,0 e densidade 2,65 g/cm<sup>3</sup>. Possui coloração branca ou incolor, transparente à translúcido e é um composto químico de pureza quase completa e propriedades físicas constantes (Dana & Hurlbut, 1981; Suguio, 2003). Já os feldspatos apresentam dureza 6,0 e densidade relativa entre 2,55 e 2,76 g/cm<sup>3</sup> (Dana & Hurlbut, 1981). O grupo dos feldspatos ocorre com maior frequência em rochas ígneas, mas é relativamente escasso em sedimentos por sofrer alteração e decomposição, especialmente em clima quente e úmido, em ambientes turbulentos como rios jovens, dunas e praias arenosas. A série de feldspato dominante no sedimento é o feldspato potássico ou K-feldspato, seguido pela série dos plagioclásios, feldspatos sódicos (Suguio, 2003). Os K-feldspatos

são compostos principalmente pelo ortoclásio [(K, Na)AlSi<sub>2</sub>O<sub>8</sub>], sanidina [K(Al,Si)<sub>4</sub>O<sub>8</sub>], microclínio e adulária (ambos KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>). Os plagioclásios possuem a fórmula geral (Ca, Na)Al(Al,Si)<sub>2</sub>O<sub>8</sub>. A série possui como extremos a albita (NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) e a anortita (CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) onde os átomos de sódio e cálcio podem substituir-se uns pelos outros na estrutura cristalina dos minerais. Entre estes dois tipos estão o oligoclásio, a andesina, a labradorita e a bytownita (Smith & Brown, 1988).

Os sedimentos das praias arenosas em regiões de clima subtropical são constituídos, principalmente, por frações variáveis entre quartzo, feldspatos, carbonatos, minerais pesados e argilominerais (Suguio, 1980). A dinâmica das ondas incidentes na face praiial influencia diretamente no balanço sedimentar e no trânsito de partículas entre a praia e a plataforma adjacente, aspecto importante quando a pesquisa visa enfatizar a intensidade dos processos de erosão e deposição na zona costeira. Os sedimentos com maior R(Q/F) são denominados quartzosos, ricos em quartzo, classificam-se como maduros, estáveis e sem contribuição de processos sedimentares mais recentes. Os sedimentos com baixa R(Q/F), com maior presença de feldspatos, são denominados arcoseanos, classificados como imaturos, instáveis,

e com contribuição de um processo sedimentar atual (Suguio, 2003).

Este trabalho teve como objetivo determinar a razão Quartzo/Feldspato - R(Q/F) - nos sedimentos em algumas praias dos municípios de Navegantes e Itajaí, Litoral Centro-Norte de Santa Catarina, de modo a verificar a eficiência do método de coloração diferencial na definição da maturidade do depósito praiial. Assim, buscou-se encontrar relações entre a granulometria dos sedimentos e a composição mineralógica da área fonte com os sedimentos presentes das praias estudadas, e a associação dos processos dinâmicos costeiros locais com a composição mineralógica.

Os resultados da pesquisa poderão contribuir com outros estudos, cujas abordagens sejam relacionadas ao transporte e balanço sedimentar, erosão e/ou acreção praiial e alterações ambientais decorrentes das dragagens frequentemente realizadas na região para a manutenção e aprofundamento do canal de acesso e bacia de evolução do porto de Itajaí.

### Área de estudo

As praias estudadas situam-se no Litoral Centro-Norte de Santa Catarina (Figura 1), entre as coordenadas 26°57,289´S; 048°37,758´W e

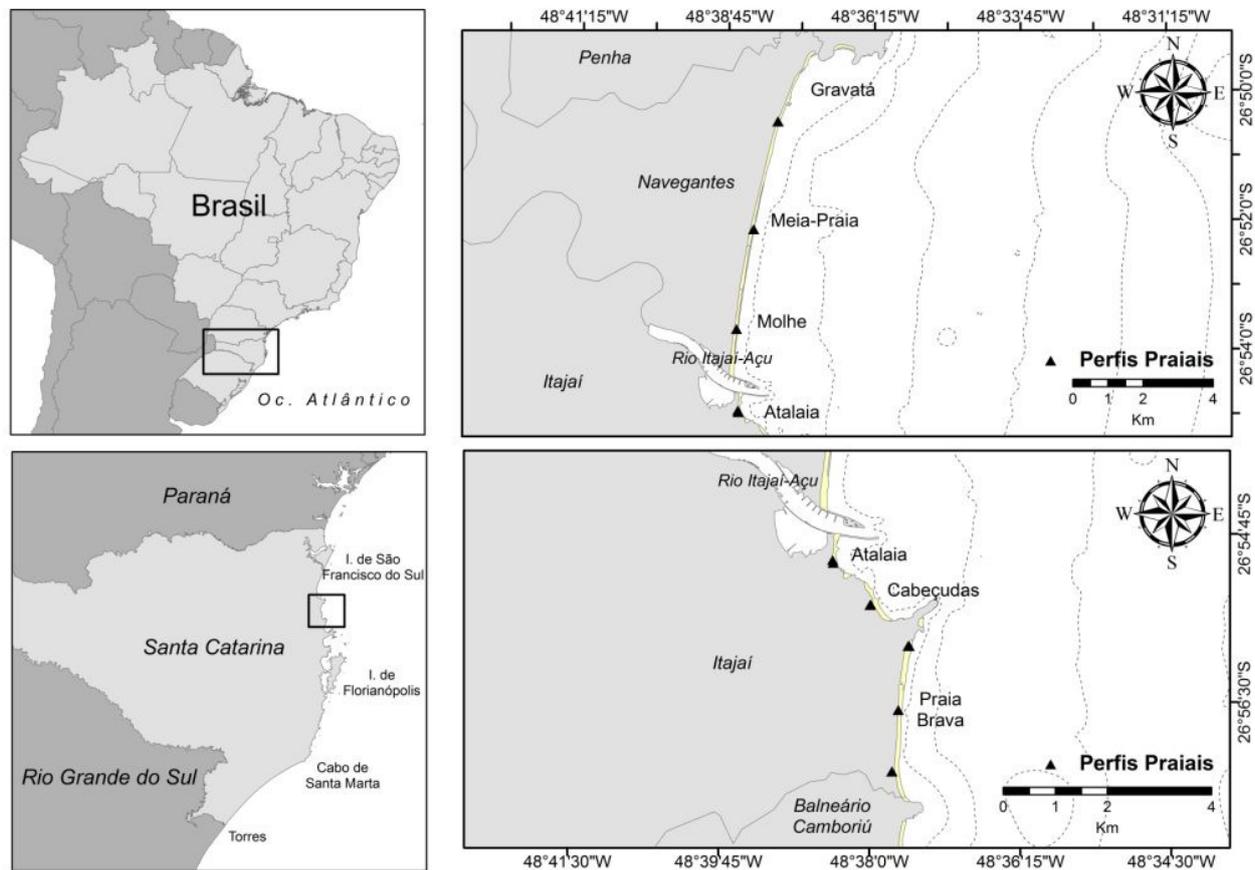


Figura1 - Localização da área de estudo.

26°50,624'S; 048°37,898'W (*Datum* WGS-84). No Município de Navegantes foram estudadas as praias do Gravatá, Meia-Praia e do Molhe, localizadas ao Norte da desembocadura do rio Itajaí-Açu. Em Itajaí, ao Sul desta desembocadura, foram amostradas as praias da Atalaia, Cabeçudas e Praia Brava sendo esta última nos seus três segmentos conhecidos como: Canto do Morcego, Salva-Vidas e Amores.

Estas praias foram caracterizadas por Klein & Menezes (2001) de acordo com a classificação sugerida por Short & Hesp (1982), como possuindo diferentes estágios morfodinâmicos. Segundo os autores mencionados, as praias em Navegantes estão orientadas no sentido N-S, classificadas no estágio morfodinâmico dissipativo, exposta às ondulações oriundas dos quadrantes Sul e Sudeste, sendo que Gravatá possui 430m de extensão e Meia-Praia e Praia do Molhe, em conjunto, 10.300m (Klein & Menezes, 2001). Segundo Abreu (1998) este sistema praias se desenvolveu com o suprimento de material sedimentar fornecido pelo rio Itajaí-Açu durante o Período Quaternário. A praia da Atalaia, considerada como dissipativa (MMA, 2007) é exposta às ondulações de Nordeste, Leste e Sudeste e orienta-se no sentido SE-NW (Araújo *et al.*, 2007). Neste trabalho os autores descrevem a praia de Cabeçudas como semiexposta, estágio reflectivo e orientada no sentido SE-NW. A praia Brava é classificada como intermediária, possui 2.645m de extensão e largura média de 34m, é orientada na direção N-S e exposta às ondulações, especialmente as de sudeste (Klein & Menezes, 2001).

De acordo com Caruso & Araújo (1999), as praias adjacentes ao rio Itajaí-Açu são compostas por areias quartzosas, esbranquiçadas, com granulometria variando de média a fina, sendo bem selecionadas, recobertas por um pacote de areias eólicas, bimodais. A origem do depósito marinho está relacionada ao evento transgressivo holocênico e o pacote eólico, ao retrabalhamento do terraço praias pelos ventos que sopram na região. Nas praias de Cabeçudas e Brava ocorrem os depósitos costeiros praias e eólicos relativos ao Pleistoceno Inferior, caracterizado por areias quartzosas de coloração amarelo acastanhado até avermelhado, com boa maturidade textural, parcialmente recobertos por sedimentos eólicos de aspecto maciço e granulometria fina.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Amostras de sedimentos foram coletadas na região do pós-praia, face da praia e antepraia nos meses de julho de 2005, fevereiro, junho e outubro de 2006. Nas praias localizadas em Navegantes foram realizados três perfis (Gravatá, Meia Praia e Molhe) e cinco

nas praias de Itajaí (Atalaia, Cabeçudas, Morcego, Salva-Vidas e Amores). No total, 96 amostras foram coletadas nas quatro campanhas amostrais que recobriram os quatro períodos sazonais. Os perfis praias e o ponto amostral para coleta de amostra sedimentar foram determinados por meio de um teodolito, marca *Leica Mod. T100*. Com os dados coletados pelo equipamento topográfico foram gerados gráficos de declividade da praia, de distância (m) pela cota (M) caracterizando, assim, o perfil praias presente na data da campanha.

Cerca de 200g de areia foram coletadas na camada superficial de cada ponto amostral a qual foi acondicionada em saco plástico e levada ao laboratório para análise e onde foram peneiradas em intervalo de 1,0Φ (Phi) para determinação da granulometria do sedimento. As areias também foram analisadas quanto aos parâmetros estatísticos estabelecidos por Folk & Ward (1957) os quais são: tamanho médio de grão, desvio-padrão, assimetria e curtose. Por fim, foi determinado o grau de arredondamento, através da contagem de 150 grãos da fração modal de cada amostra, para classificação nos cinco estágios propostos por Pettijohn (1957 *in* Suguio, 1973): angular, subangular, arredondado, subarredondado e bem arredondado.

Para a análise de coloração diferencial foram selecionadas as frações modais de cada amostra. Adotou-se a técnica de Gabriel & Cox (1929), baseado-se no fato de que o sedimento, sob o vapor do ácido fluorídrico (HF) têm suas ligações de óxido de silício (SiO<sub>4</sub>) que compõem os feldspatos, rompidas na superfície dos grãos, ocorrendo novas ligações entre O e H, Si e F. As cadeias de silicatos que cercam os cátions potássio (K<sup>+</sup>) no K-feldspato e cálcio e sódio (Ca<sup>+2</sup> e Na<sup>+2</sup>) no plagioclásio, são rompidas e na subsequente exposição ao cobaltonitrito de sódio (Na<sub>3</sub>CO(NO<sub>2</sub>)<sub>6</sub>), o elemento agora exposto atrai o ânion 6CO(NO<sub>2</sub>)<sub>3</sub><sup>-3</sup>. Forma-se então uma ligação com este elemento, resultando em um precipitado fino e amarelado na face do K-feldspato, e um outro de coloração branca opaca no plagioclásio. O quartzo não sofre alteração da sua coloração, permanecendo inalterado.

No procedimento analítico cerca de 2,0g da fração modal foi colocada em um recipiente plástico com fundo recortado, mas coberto por uma malha fina (abertura de 4,0Φ). Este recipiente foi colocado sobre outro contendo HF, de forma que a amostra permaneceu sob efeito do vapor do ácido durante 15 minutos, a uma distância de aproximadamente 2,0cm. Após este período, o sedimento foi retirado e banhado com a solução de cobaltonitrito de sódio 25%, por 5 minutos. Por fim, a amostra foi lavada com água destilada para retirar os excessos do reagente e secada em estufa a 60°C (Figura 2).

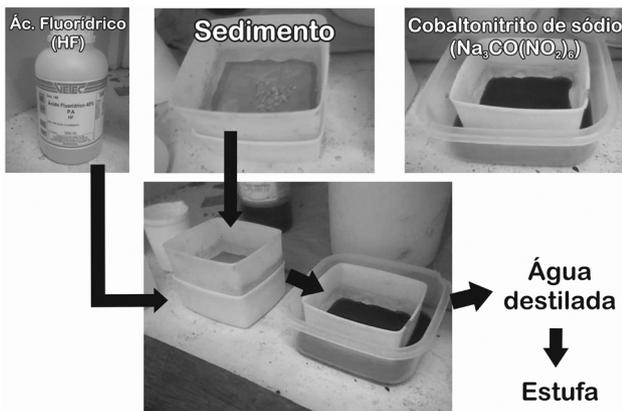


Figura 2 - Esquema de aplicação do método colorimétrico.

As amostras foram em seguida visualizadas numa lupa com câmera fotográfica acoplada, por meio da qual foram feitas fotografias de cada amostra. A partir das imagens foi efetuado o cálculo da R(Q/F), considerando-se 300 grãos por amostra como 100%. Com isto foram obtidas as porcentagens dos grãos de quartzo, de K-feldspato e de plagioclásio presentes, através da contagem dos grãos corados, não sendo computados outros minerais presentes, no caso a fração de minerais pesados da amostra. Obtidos estes valores, a razão foi calculada dividindo-se a porcentagem dos grãos de quartzo pela soma das porcentagens dos grãos de feldspatos através da fórmula:

$$R(Q/F) = \% \text{ de grãos de quartzo} / (\% \text{ de K-feldspato} + \% \text{ de plagioclásio})$$

A análise colorimétrica, através da análise química de elementos maiores presentes nos feldspatos (Na, Ca e K), foi aplicada nas frações amostrais coletadas nos períodos de outono e primavera. Esta técnica precede a eliminação de carbonato nas areias

por meio de ácido clorídrico (HCl) a 30%, e da eliminação de matéria orgânica com peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a 50%. Após estes procedimentos as amostras sofrem a extração total dos elementos maiores através da digestão ácida (mistura de ácido nítrico e fluorídrico) até a dissolução completa dos sedimentos. Finalmente, o extrato é evaporado até secar totalmente e dissolvido novamente em ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) a 1%. A determinação quantitativa dos íons nos extratos dos sedimentos que foi realizada por Espectrometria de Absorção Atômica (APHA/AWWA/WEF, 1998). Com esta análise procurou-se verificar a proporção entre os elementos supracitados e suas variações em cada praia para uma análise quali-quantitativa dos feldspatos presentes no sedimento coletado.

Os valores obtidos da R(Q/F) em cada amostra foram submetidos a análise estatística de componentes principais (ACP) com o objetivo de se encontrar correlações entre o grau de arredondamento, a localização da amostra e período amostral. A análise se baseia nos autovetores de um conjunto de matriz de semelhança representando os parâmetros supracitados, cujo comprimento varia em razão da sua contribuição à variância total dos dados (Valentin, 2000).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação à granulometria nota-se que ao longo dos perfis em todas as praias estudadas o diâmetro médio de grão permaneceu estável de acordo com a sazonalidade (Figura 3). As exceções ocorreram na coleta realizada no período de primavera, nas amostras obtidas na antepraia de Cabeçudas e na antepraia do ponto Salva-Vidas, na Praia Brava.

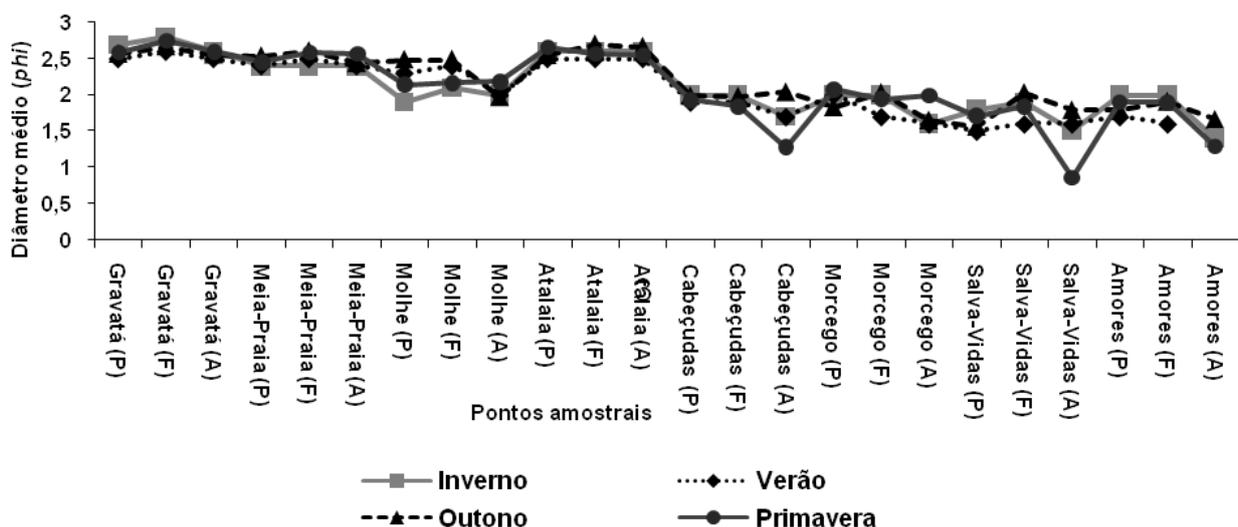


Figura 3: Distribuição do diâmetro médio de grão por pontos de coleta, nas estações de inverno, verão, outono e primavera. (P) pós-praia, (F) face praial, e (A) antepraia.

Nestes dois locais o diâmetro médio obtido é significativamente menor do que aqueles observados nos outros períodos amostrais.

O diâmetro médio de todas as amostras coletadas nas praias de Gravatá, Meia-Praia, Molhe, em Navegantes, e Atalaia de Itajaí, são compostas predominantemente por areias finas enquanto que as praias de Cabeçudas e Brava, em Itajaí, são compostas principalmente por areias médias (Tabela 1). Com relação ao desvio-padrão, o sedimento coletado nos perfis Gravatá, Meia-Praia e Atalaia apresentaram-se compostos de areias bem selecionadas enquanto que os perfis Molhe, Cabeçudas, Morcego, Salva-Vidas e Amores, moderadamente selecionadas. Os valores médios da assimetria indicaram predomínio de amostras com assimetria positiva, isso é, enriquecimento por partículas mais finas, nos perfis de Gravatá e Atalaia e amostras aproximadamente simétricas nos demais. A curtose do perfil de Gravatá apresentou-se predominantemente leptocúrtica, valores de menor desvio padrão e por isso de melhor classificação

e selecionamento, Já nos perfis de Meia-Praia, Molhe, Atalaia e Salva-Vidas, houve o predomínio de amostras mesocúrticas, e nos perfis de Cabeçudas, Morcego e Amores as amostras foram classificadas como platicúrticas. Estes dados vão de acordo com o estudo de Klein & Menezes (2001), que classificam as praias de Navegantes e Atalaia como dissipativas onde se depositam areias de granulometria mais fina, e como intermediárias e reflectivas as praias Brava e Cabeçudas que tendem a apresentar granulometria mais grossa.

O desvio padrão, relacionado à seleção, e o grau de arredondamento dos grãos analisados indicam, segundo os parâmetros de Folk (1951, *in* Suguio, 1973), que as praias estudadas enquadram-se como ambientes sedimentares maduros a supermaturos. Nas praias formadas por areia fina predominam grãos bem-selecionados e bem-arredondados, como o caso das praias de Gravatá, Meia-Praia, Molhe e Atalaia. Já as praias compostas por areia média (Cabeçudas e Brava) apresentaram predominância de sedimentos

Tabela 1 - Parâmetros de Folk & Ward (1957) determinados para cada setor em cada praia. Legenda= (P)= pós-praia, (F)= face praial, (A)= antepraia; AF= areia fina, AM= areia média; BS= bem-selecionada, MS= moderadamente selecionada; P= positiva, AS= aproximadamente simétrica, N= negativa; Lep= leptocúrtica, Me= mesocúrtica, Pla= platicúrtica.

Pontos amostrais	Diâmetro Médio ( $\phi$ )	Class.	Desvio Padrão	Class.	Assimetria	Class.	Curtose	Class.
Gravatá (P)	2,63	AF	0,43	BS	0,15	P	1,18	Lep
Gravatá (F)	2,71	AF	0,46	BS	0,21	P	1,15	Lep
Gravatá (A)	2,60	AF	0,44	BS	0,09	AS	1,17	Lep
Meia-Praia (P)	2,48	AF	0,43	BS	-0,01	AS	1,07	Me
Meia-Praia (F)	2,56	AF	0,44	BS	0,12	P	1,06	Me
Meia-Praia (A)	2,47	AF	0,50	MS	-0,02	AS	1,08	Me
Molhe (P)	2,24	AF	0,54	MS	-0,10	N	1,04	Me
Molhe (F)	2,33	AF	0,50	MS	-0,09	AS	1,03	Me
Molhe (A)	2,06	AF	0,70	MS	-0,09	AS	0,86	Pla
Atalaia (P)	2,60	AF	0,46	BS	0,14	P	1,08	Me
Atalaia (F)	2,61	AF	0,45	BS	0,14	P	1,08	Me
Atalaia (A)	2,62	AF	0,51	MS	0,08	AS	1,16	Lep
Cabeçudas (P)	1,96	AM	0,60	MS	0,01	AS	0,82	Pla
Cabeçudas (F)	1,95	AM	0,61	MS	0,01	AS	0,84	Pla
Cabeçudas (A)	1,70	AM	0,92	MS	-0,18	N	0,90	Me
Morcego (P)	2,01	AF	0,54	MS	-0,01	AS	0,80	Pla
Morcego (F)	1,95	AM	0,54	MS	0,06	AS	0,85	Pla
Morcego (A)	1,74	AM	0,62	MS	0,02	AS	1,05	Me
Salva-Vidas (P)	1,66	AM	0,50	MS	0,10	P	1,17	Lep
Salva-Vidas (F)	1,87	AM	0,57	MS	0,06	AS	0,94	Me
Salva-Vidas (A)	1,47	AM	0,67	MS	-0,04	AS	1,03	Me
Amores (P)	1,90	AM	0,54	MS	0,12	P	0,84	Pla
Amores (F)	1,88	AM	0,55	MS	0,13	P	0,88	Pla
Amores (A)	1,50	AM	0,77	MS	-0,08	AS	1,09	Me

moderadamente selecionados e arredondados. A Tabela 2 mostra os valores relativos ao grau de arredondamento observado em cada uma das amostras analisadas.

Em todos os perfis e ao longo de todo período amostrado foi observado um aumento no grau de arredondamento e de seleção da porção submersa da praia (antepraia) em direção à porção emersa, (póspraia). O fato se deve ao tipo de transporte sofrido pelo grão desde a antepraia, até alcançar o póspraia, inicialmente sendo subaquoso, depois passando para eólico com aumento da intensidade de transporte e retrabalhamento. O primeiro permite transportar partículas maiores e mais pesadas e sedimentos com menor grau de seleção, algo que não ocorre no segundo processo. Segundo Suguio (2003) durante o transporte eólico o sedimento adquire maior grau de seleção e arredondamento ocorrendo simultaneamente diminuição do tamanho de grão. Nos perfis de Cabeçudas, Molhe, Morcego e Salva-Vidas, estas diferenças são mais notáveis. Os dois pontos amostrados na primavera em Cabeçudas e Salva-Vidas, na praia Brava, são

as maiores evidências deste fato, onde a antepraia registrou diâmetro de grão significativamente menor e retratando uma maior ocorrência e persistência de ventos neste período do ano.

Em todas as praias e nos três pontos amostrais a R(Q/F) apresentou, na maioria das análises, valores superiores nos períodos de outono e primavera, e inferiores nos períodos de inverno e verão (Tabela 4). Entretanto, todos os valores mostraram-se acima de 1%, indicando que o teor de quartzo é sempre superior aos teores de feldspatos. As amostras coletadas no póspraia e na face praial apresentaram maior R(Q/F) em relação à antepraia, na maioria dos perfis. Em geral, o perfil que apresentou pontos com maior valor da R(Q/F) foi aquele realizado no Morcego, na praia Brava. Por outro lado, o perfil que apresentou o menor valor foi o da praia de Cabeçudas (Figura 4).

Assim como as características da maturidade dos grãos diferem entre os pontos de coleta, os valores da R(Q/F) também diferem entre os pontos e os períodos sazonais. Um menor valor da R(Q/F) indica maior presença de feldspatos no ambiente. Os

Tabela 2 - Valores percentuais médios do grau de arredondamento em cada ponto amostral, sendo que o intervalo com maior quantidade de grãos é indicado como predominante. Legenda: B. A.= bem arredondado, A.= arredondado, S. A.= subarredondado, S. Ang.= subangular, Ang.= angular.

Pontos amostrais	B. A. (%)	A. (%)	S. A. (%)	S. Ang. (%)	Ang. (%)	Predomínio
Gravatá (P)	46,17	41,50	11,50	0,83	0,00	B. A.
Gravatá (F)	45,00	41,67	12,67	0,67	0,00	B. A.
Gravatá (A)	36,33	46,67	14,50	2,50	0,00	A.
Meia-Praia (P)	48,67	39,67	11,00	0,67	0,00	B. A.
Meia-Praia (F)	51,17	35,83	12,33	0,67	0,00	B. A.
Meia-Praia (A)	31,50	45,33	19,00	4,17	0,00	A.
Molhe (P)	49,17	41,17	8,33	1,33	0,00	B. A.
Molhe (F)	44,50	43,00	10,83	1,67	0,00	B. A.
Molhe (A)	19,33	46,50	27,50	6,50	0,17	A.
Atalaia (P)	54,50	38,50	6,33	0,67	0,00	B. A.
Atalaia (F)	51,67	40,33	6,83	1,17	0,00	B. A.
Atalaia (A)	33,67	43,67	20,50	2,17	0,00	A.
Cabeçudas (P)	34,67	48,67	14,33	2,33	0,00	A.
Cabeçudas (F)	31,67	46,67	16,17	5,50	0,00	A.
Cabeçudas (A)	21,33	43,83	23,83	10,50	0,50	A.
Morcego (P)	53,33	38,67	7,33	0,67	0,00	A.
Morcego (F)	52,83	38,50	7,50	1,17	0,00	B. A.
Morcego (A)	37,17	45,00	15,33	2,50	0,00	A.
Salva-Vidas (P)	44,33	42,67	12,00	1,00	0,00	B. A.
Salva-Vidas (F)	39,50	51,50	7,50	1,50	0,00	A.
Salva-Vidas (A)	30,33	48,83	16,50	4,17	0,17	A.
Amores (P)	37,00	33,33	4,33	0,33	0,00	B. A.
Amores (F)	34,83	51,00	12,83	1,33	0,00	A.
Amores (A)	27,33	45,50	22,83	3,67	0,67	A.

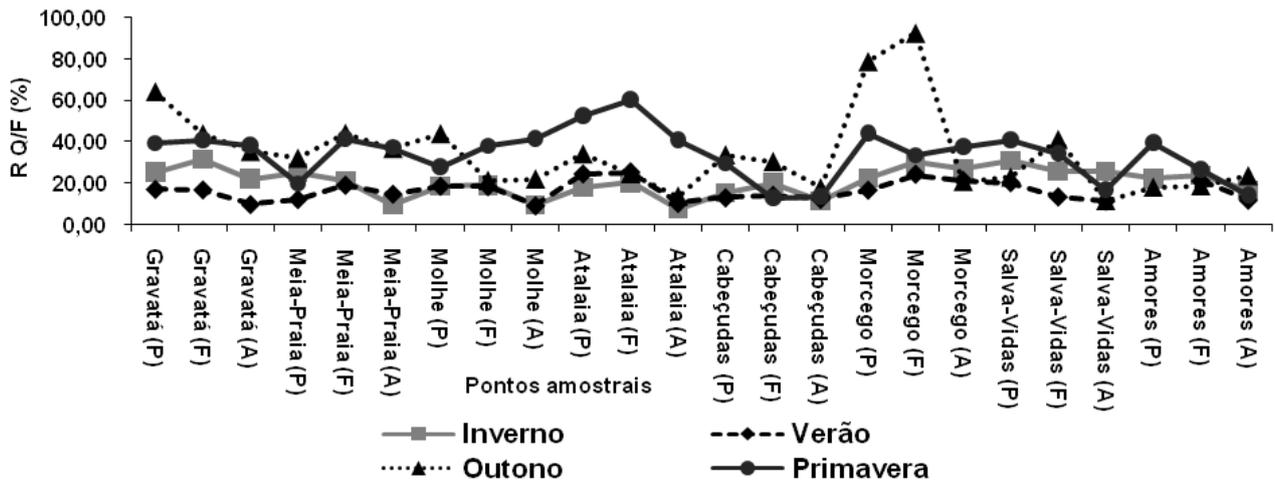


Figura 4 - Distribuição dos valores da R(Q/F) por pontos de coleta, nas estações de inverno, verão, outono e primavera. (P) pós-praia, (F) face praial, e (A) antepaia.

feldspatos sofrem alterações nos ambientes com elevada dinâmica, característica das praias arenosas. A ação eólica posterior sobre a porção emersa da praia contribui também para acentuar a redução das suas concentrações (Suguio, 1973; 2003).

Quanto maior o tamanho médio do grão, maior a concentração de feldspatos, devido ao incipiente retrabalhamento dos grãos em comparação às frações mais finas que são, então, mais ricas em quartzo (Suguio, 2003).

Tabela 3 - R(Q/F) em cada estação do ano nos três setores dos perfis monitorados. Legenda: (P)= pós-praia, (F)= face praial, (A)= antepaia. “-” representam dados não disponíveis.

Pontos amostrais	Inverno (%)	Verão (%)	Outono (%)	Primavera (%)
Gravatá (P)	25,56	17,10	64,49	39,45
Gravatá (F)	31,78	16,84	44,12	41,10
Gravatá (A)	22,33	9,86	35,54	38,57
Meia-Praia (P)	25,30	12,28	32,22	20,05
Meia-Praia (F)	21,27	19,08	44,29	41,58
Meia-Praia (A)	9,49	14,80	36,96	37,38
Molhe (P)	18,87	18,58	44,13	28,15
Molhe (F)	19,29	18,44	21,57	38,20
Molhe (A)	9,66	9,25	22,27	41,55
Atalaia (P)	18,17	24,47	34,35	52,58
Atalaia (F)	20,45	25,47	24,84	60,58
Atalaia (A)	7,82	10,37	13,9	40,89
Cabeçudas (P)	15,42	13,07	33,85	29,76
Cabeçudas (F)	20,31	14,28	30,66	13,11
Cabeçudas (A)	11,75	12,31	17,99	13,80
Morcego (P)	22,58	16,73	79,01	44,39
Morcego (F)	30,42	24,37	92,8	33,60
Morcego (A)	27,48	21,40	21,03	37,79
Salva-Vidas (P)	31,39	20,33	23,1	41,14
Salva-Vidas (F)	26,02	13,50	41,34	34,73
Salva-Vidas (A)	25,89	11,47	11,68	17,07
Amores (P)	22,53	-	18,25	39,69
Amores (F)	24,12	21,10	18,85	27,00
Amores (A)	16,95	11,90	23,79	14,71

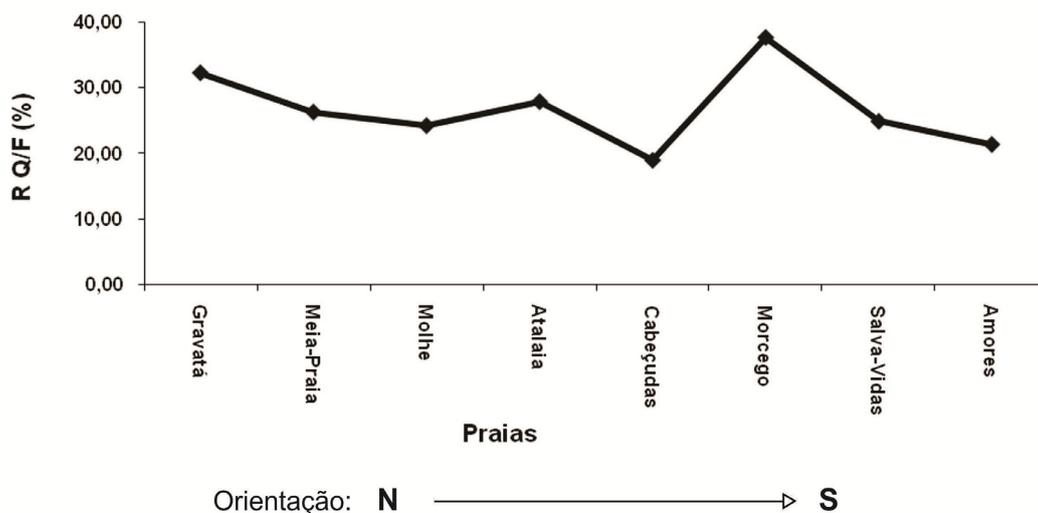


Figura 5 - Valores médios da R(Q/F) entre as quatro estações de coleta nas praias, com a inclusão da orientação geográfica da área de estudo.

Valores médios da R(Q/F) em cada praia (Figura 5) indicam uma correlação entre as praias classificadas como dissipativas, que possuem menor diâmetro médio de grão e valores mais elevados da R(Q/F). Já as praias classificadas como reflectivas e intermediárias, cujos diâmetros médios de grão são maiores em relação às dissipativas, apresentaram valores inferiores para a razão. O perfil da praia do Morcego, entretanto, não apresentou este padrão neste estudo. Neste ponto foi observado o maior valor médio da R(Q/F), possivelmente pelo fato deste perfil estar abrigado pela ponta de Cabeçudas ao norte, não recebendo, em vista disso, aporte sedimentar proveniente do rio Itajaí-Açu na mesma intensidade dos outros perfis. Outra hipótese seria relacionada à um enriquecimento na concentração do quartzo a partir dos afloramentos rochosos existentes no local.

Segundo Schettini (2002) a pluma de sedimentos transportada pelo rio Itajaí-Açu afeta significativamente a área de estudo. O autor afirma que esta pluma se desloca em direção Nordeste a partir da desembocadura, próximo às praias de Navegantes podendo afetar também as praias de Itajaí. Esta pluma composta por sedimentos fluviais, com um relativamente elevado conteúdo de material sedimentar mais fino e rico em feldspatos ainda não decompostos, tendo nas rochas do Complexo Brusque, sua principal fonte (DNPM, 1986). Sendo assim, a dispersão da pluma disponibilizaria sedimentos de origem continental para as praias próximas à desembocadura, reduzindo nestes locais o valor da R(Q/F). Esse fato, aliado a um incremento da vazão fluvial provocado pelo período de maior pluviosidade e o conseqüente aumento do volume de sedimentos transportados pelo rio, pode ter reduzido os valores da R(Q/F) nos períodos de inverno e verão. Nos perfis Atalaia, Molhe, Salva-Vidas e

Amores, os valores da R(Q/F) foram mais elevados na campanha da primavera. Nos perfis Morcego, Gravatá, Meia-Praia e Cabeçudas, os maiores valores da razão ocorreram na campanha de outono.

A Figura 6 apresenta a relação da quantidade média de grãos bem arredondados contados em cada amostra e os valores médios da R(Q/F) de todas as campanhas. Observa-se que ambos os parâmetros comportam-se de modo semelhante em todos os perfis. Quanto mais bem arredondados os sedimentos, maior a quantidade de quartzo em relação ao feldspato. Por sua vez a Figura 7 indica uma correlação inversa da R(Q/F) média com o desvio-padrão médio. Segundo Suguio (1973), quanto menor o valor do desvio-padrão, maior será o grau de seleção do sedimento, ou seja, haverá maior quantidade de grãos em um mesmo intervalo de tamanho. Logo, quanto maior o valor da razão, com maior quantidade de quartzo, mais bem selecionado o sedimento será.

O monitoramento topográfico realizado nas praias (Figura 8) indicou que os perfis das praias de Navegantes não apresentaram mudanças muito significativas entre as campanhas sazonais, sem estados visíveis de erosão ou acresção do volume de sedimentos da porção emersa. No perfil da Atalaia a campanha de verão não foi levada em consideração por não apresentar medidas confiáveis, sendo que o perfil da campanha de outono apresentou uma característica ligeiramente erosiva em comparação com as campanhas de inverno e primavera. O perfil da praia de Cabeçudas também apresentou pouca variação entre os períodos amostrais, com as campanhas de inverno e verão mostrando uma ligeira acresção do perfil em relação às demais campanhas.

A praia Brava, entretanto, apresentou variações significantes entre os seus perfis. no Canto do

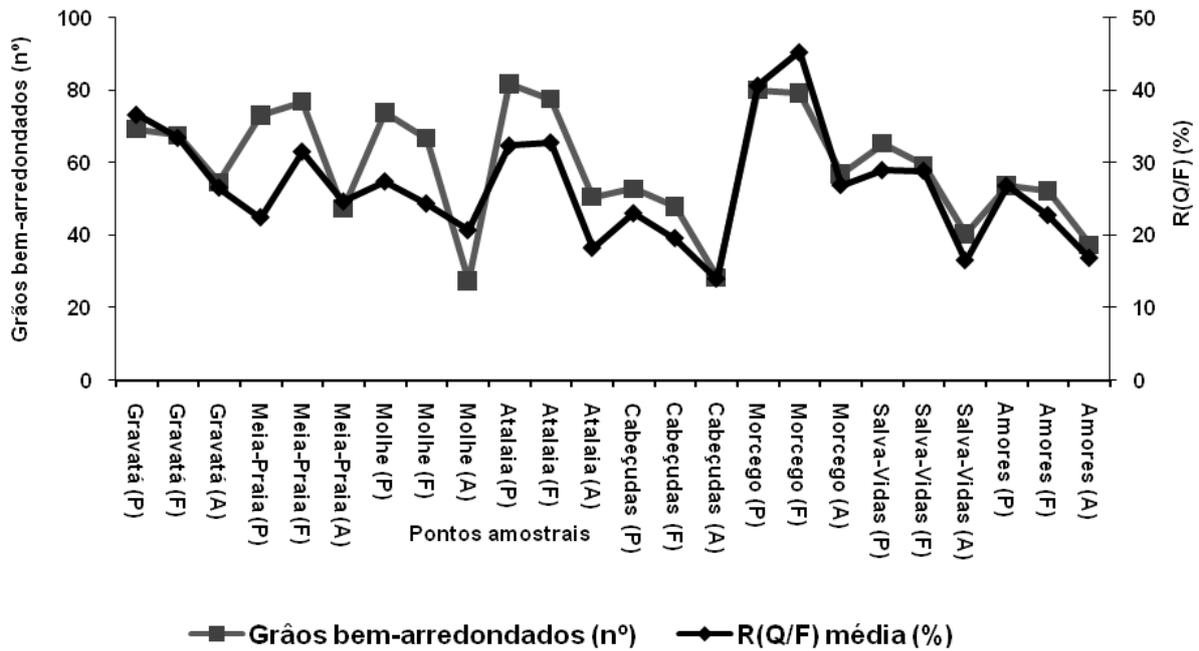


Figura 6 - Comparação entre valores médios de grãos bem-arredondados e da R(Q/F) nos perfis.

Morcego (extremo norte da Praia), o perfil medido durante o outono mostrou maior erosão em relação aos demais, e o perfil da primavera apresentou maior acresção do volume da porção subaérea. Nos pontos do Salva-Vidas (meio da praia) e Amores (sul da praia) foi observado um perfil mais erosivo na primavera, e houve maior acresção durante o inverno no Salva-Vidas e durante o verão nos Amores. Esta oscilação verificada durante o monitoramento pode indicar uma migração do volume de sedimentos, que nesta praia seria no sentido Sul-Norte.

A análise estatística multivariada de componentes principais (ACP) ilustrada no diagrama da Figura 9 demonstrou que amostras com predomínio de grãos bem arredondados associam-se mais próximos ao parâmetro R(Q/F), indicando uma correlação positiva entre estes parâmetros, e uma correlação negativa da razão com os grãos arredondados, subarredondados, subangulares e angulares. Isto corrobora os dados apresentados nas Figuras 6 e 7, ressaltando que praias que apresentam sedimentos compostos de grãos com maior retrabalhamento tendem a possuir

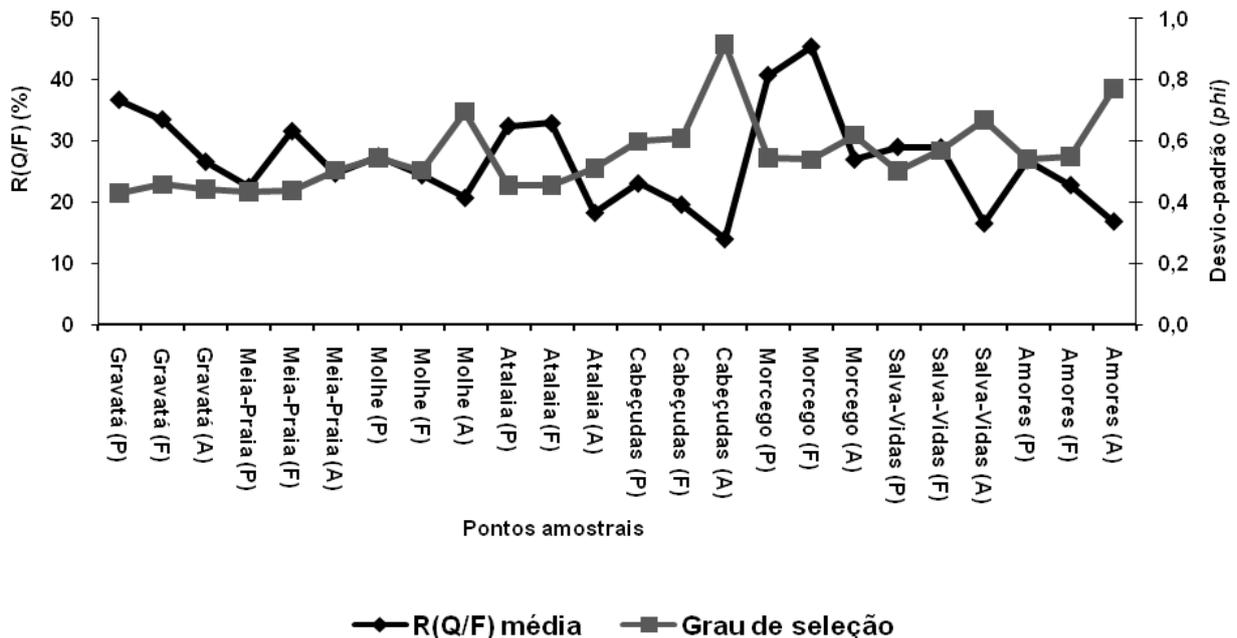


Figura 7 - Comparação entre valor médio de seleção dos grãos pela R(Q/F) média nos perfis.

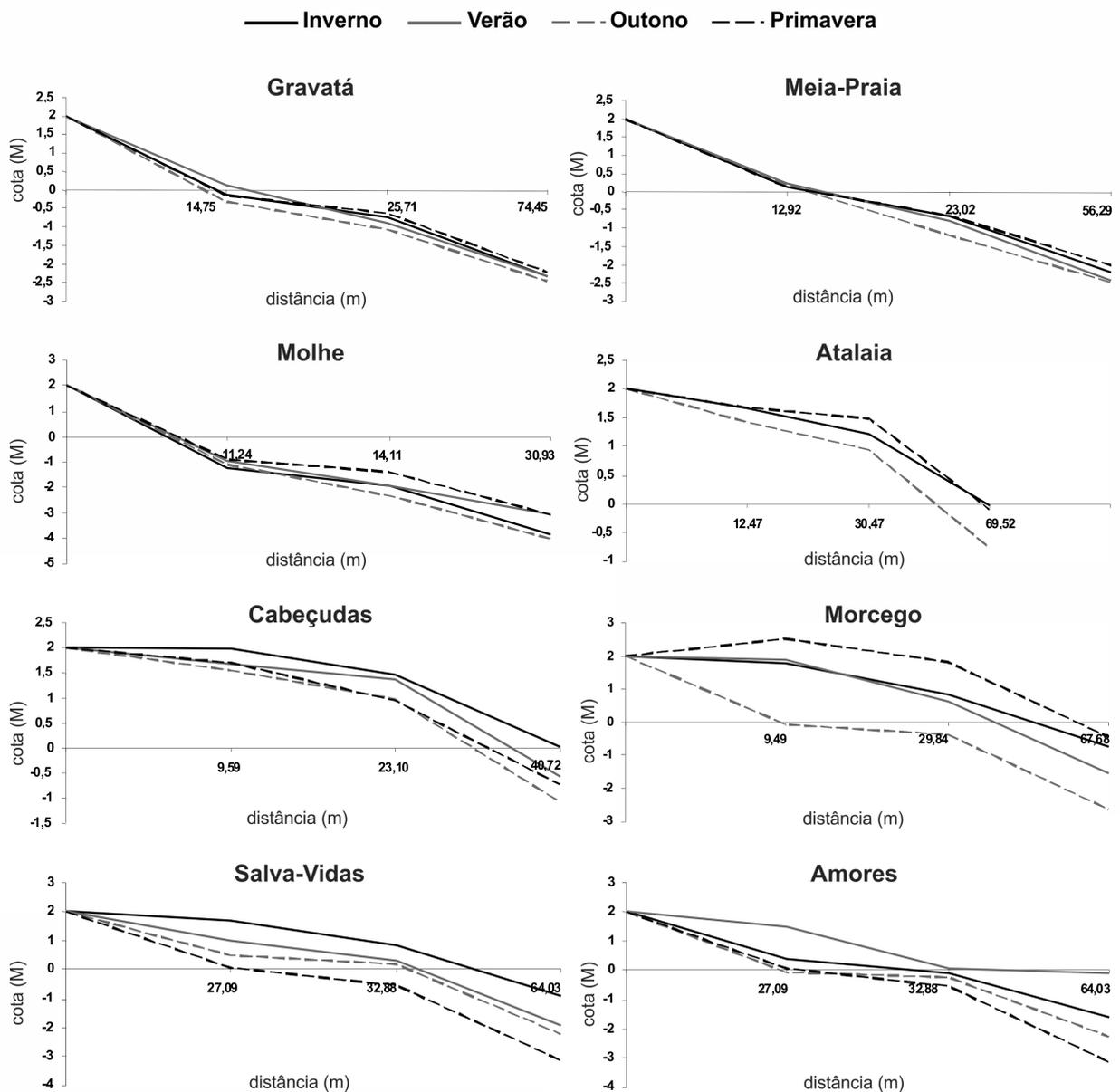


Figura 8 - Gráficos da distância pela cota demonstrando a variação dos perfis das praias monitoradas durante as quatro campanhas.

maior R(Q/F) com presença de significativamente superior de quartzo em relação ao feldspato.

A análise química de elementos maiores demonstrou que os elementos potássio (K), sódio (Na) e cálcio (Ca) são predominantes nas amostras. Dos sedimentos coletados no outono (Tabela 4), a amostra da praia do Molhe apresentou maior concentração de K. A amostra de Cabeçudas exibiu as maiores concentrações de Na, e a amostra da Atalaia indicou maior teor de Ca.

A análise das amostras coletadas na primavera (Tabela 4) mostrou que, em relação à primeira análise, ocorreu um pequeno aumento nos teores dos elementos. No âmbito geral, entretanto, as diferenças entre as concentrações apresentadas na primeira análise

permaneceram semelhantes entre si. A amostra do Gravata apresentou maior teor de K, a da Atalaia obteve a maior concentração de Ca, e a amostra de Cabeçudas, de Na.

A análise química apresentou coerência quanto à distribuição dos elementos químicos e a presença de feldspatos, determinada através do cálculo da R(Q/F). Tanto na análise de coloração diferencial como na análise química foi verificado um aumento nos teores de K-feldspato (K, Na) e plagioclásio (Ca, Na), respectivamente, entre as amostras do outono e as da primavera. A Figura 10 exhibe os valores médios das concentrações dos elementos analisados nas duas campanhas. Percebe-se o predomínio de potássio, com valores entre 2255,8mg/kg e 5482,9mg/kg,

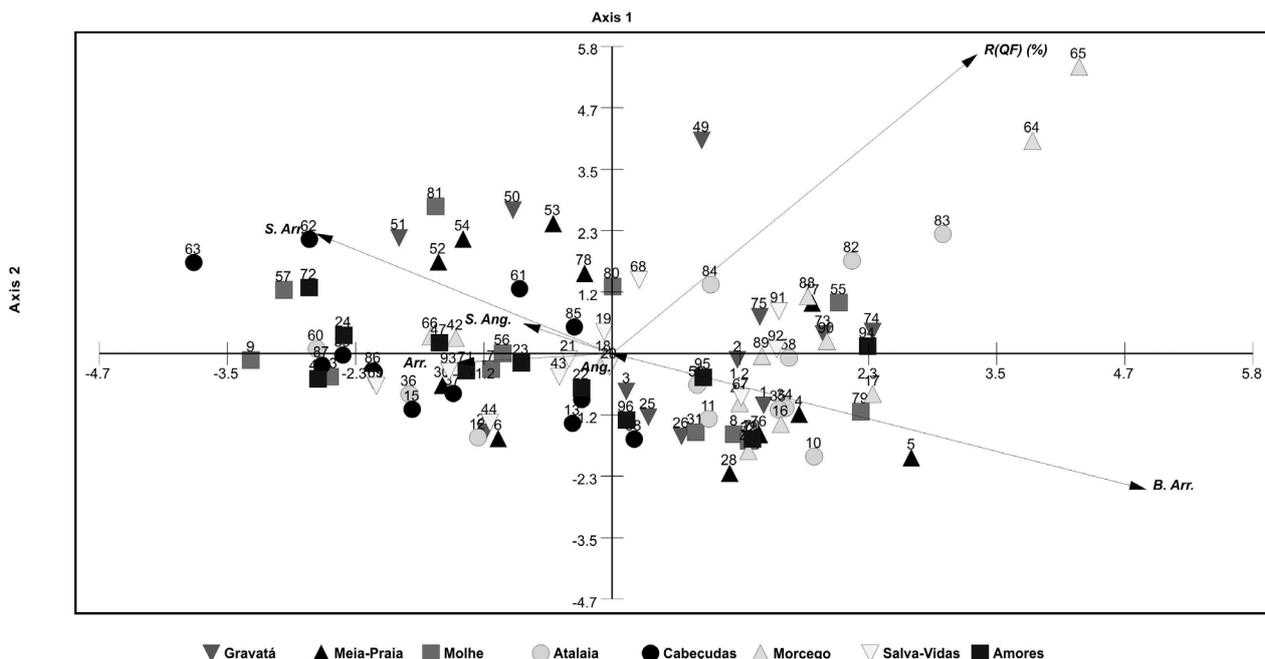


Figura 9 - Diagrama da análise multivariada de componentes principais (ACP) das amostras coletadas durante o monitoramento, em relação ao grau de arredondamento e valores da razão quartzo/feldspato. Amostras n° 1 a 24 correspondem à campanha de inverno, n° 25 a 48 à campanha de verão, n° 49 a 72 à campanha de outono, e n° 73 a 96 à campanha de primavera.

em relação ao Na, cujos valores alternaram entre 436,8mg/kg e 2279,9mg/kg, e ao Ca, com valores entre 5,5mg/kg e 375,4 mg/kg. Este dados corroboram a colorimetria, pois também sugerem que os K-feldspatos são significativamente dominantes em relação aos plagioclásios. Em comparação com a Figura 5, é notável a tendência oposta que a R(Q/F) média tem com as curvas dos elementos analisados, reiterando que pontos com maior razão possuem menores teores de K, Na e Ca.

Em relação à distribuição das concentrações entre as praias, observou-se que nas praias de Navegantes a concentração dos elementos permaneceu, em média, constantemente elevada, com exceção da praia do Molhe, onde o potássio e o sódio aumentaram seus valores e o cálcio diminuiu.

Em Itajaí, somente o perfil de Cabeçudas apresentou concentrações similares à Navegantes. Nos demais os valores médios foram inferiores, especialmente os pontos do Morcego e Salva-Vidas. Na Atalaia, enquanto que K e Na exibiram teores abaixo da média, o teor de Ca foi o máximo registrado, indicando uma relação inversa entre os elementos.

### CONCLUSÕES

A coloração diferencial foi executada com sucesso em todas as amostras, concordando com os resultados apresentados por Gabriel & Cox (1929), que através da colorimetria perceberam que o K-feldspato assume uma coloração amarela e o plagioclásio,

Tabela 4 - Concentração de Elementos Maiores das amostras de outono. As amostras possuem seus números de coleta, ao lado das concentrações de Ca, Na, K e Mg (em mg/kg). "Out.": outono; "Pri.": primavera.

Amostra	Ca (mg/kg)		Na (mg/kg)		K (mg/kg)	
	Out.	Pri.	Out.	Pri.	Out.	Pri.
Gravatá	84,4	290,2	1146,9	1921,5	3416,4	5338,6
Meia-Praia	151,1	268,3	1610,2	1591,9	4829,0	4967,7
Molhe	107,0	74,9	1893,3	1436,7	5823,4	5142,3
Atalaia	367,9	382,9	1923,2	1117,0	5008,0	4442,4
Cabeçudas	32,9	138,6	2452,2	2107,5	5439,3	4966,7
Morcego	18,6	18,6	448,0	425,6	1489,6	3464,1
Salva-Vidas	11,5	23,2	460,8	466,9	2209,8	2301,8
Amores	3,9	7,1	506,5	526,7	3446,6	4661,8

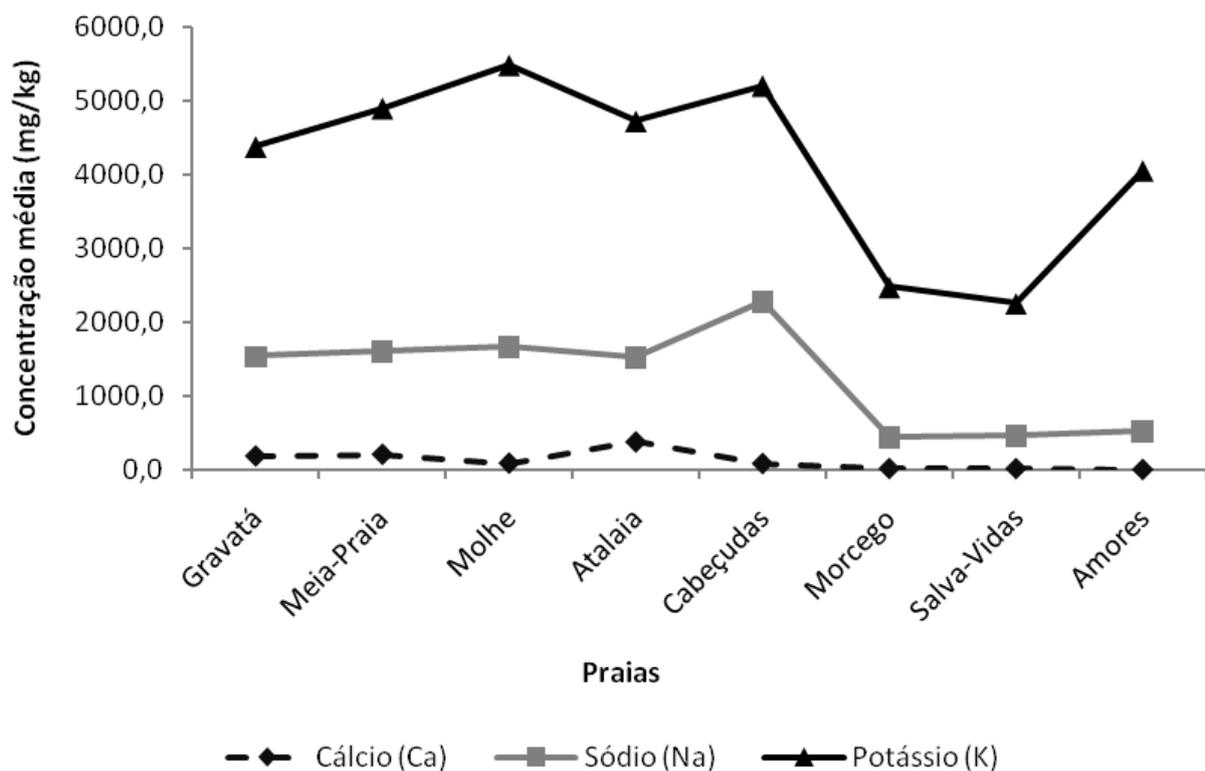


Figura 10 - Concentrações médias dos elementos cálcio, sódio e potássio, obtidas das Análises Químicas de Elementos Maiores realizadas nas amostras coletadas durante o outono e a primavera, em cada uma das praias estudadas.

branca. Desta forma foi possível se obter a relação entre quartzo e feldspatos nos sedimentos ( $R(Q/F)$ ), na avaliação dos principais minerais leves em sedimentos de praias no Litoral Centro-Norte do Estado de Santa Catarina.

Independente da época do ano, a  $R(Q/F)$  possui alto teor de quartzo em relação ao feldspato, o que classifica o ambiente estudado como praias arenosas quartzosas constituídas de sedimentos maduros (Suguio, 2003). Perfis de praias dissipativas e intermediárias, com areias finas, bem selecionadas e bem arredondadas apresentaram maiores valores da  $R(Q/F)$ , como os perfis de Gravatá, Atalaia e Morcego. A praia de Cabeçudas, a mais protegida da ação hidrodinâmica das praias estudadas, com areias mais grossas, moderadamente selecionadas e subarredondadas, possui menores valores da  $R(Q/F)$ .

A análise química de elementos maiores possibilitou identificar as proporções relativas entre a disponibilidade de K-feldspato, que possui K como elemento mais abundante, e o plagioclásio, no qual prevalecem Na e Ca. A presença constante de teores de Na nos sedimentos pode ser um indicador de que o tipo de K-feldspato predominante é o ortoclásio  $[(K, Na)AlSi_3O_8]$ , e/ou que, em alguns casos, o tipo de plagioclásio presente contém maiores concentrações de Na em relação ao Ca.

O ambiente praias sempre está sujeito aos processos intempéricos, e à ação hidrodinâmica e antrópica. A maior presença de grãos de quartzo nas praias é um indicador desta situação, pelo fato de ser um mineral estável sob as condições supracitadas, ao contrário do feldspato, que é instável (Suguio, 2003). Entretanto, a manutenção da concentração de feldspatos em níveis constantes ao longo de um ano, em diferentes períodos sazonais, indica a existência de aporte de sedimentos para as praias que se encontram em relativo equilíbrio, sem processos erosivos notáveis. Quanto à erosão das praias deve-se fazer a ressalva de que a praia de Gravatá se encontra já há algum tempo apresentando considerável redução na largura da praia, principalmente após a ocorrência de ressacas. A  $R(Q/F)$ , contudo, para este local não pode ser considerada como indicadora da variação da largura da faixa de areia.

Considerando o método estatístico empregado e a análise química, o rio Itajaí-Açu pode ser considerado como principal agente fornecedor de material sedimentar para as praias da região, já que a presença constante de feldspatos indica que o aporte e a alimentação natural são contínuos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Governo do Estado de Santa Catarina, pela bolsa de pesquisa do Artigo 170, concedida para a execução deste estudo. Também aos professores Paulo Ricardo Pezzuto, Kátia Naomi Kuroshima, João Thadeu de Menezes e Valéria Regina Belloto, e ao técnico Gentil Silvestre do Laboratório de Geologia e Sedimentologia da UNIVALI – Itajaí/SC.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, J. G. N. 1998. Contribuição a Sedimentologia da plataforma continental interna de Santa Catarina entre a foz dos rios Tijucas e Itapocu. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense - UFF. 63p.
- APHA/AWWA/WEF. 1998. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 20ª Edição. APHA, Washington, 1325p.
- ARAÚJO, R. S. PETERMANN, R. M. ; KLEIN, A. H. F ; MENEZES, J. T.; SPERB, R. M.; GHERARDI, D. F. M. 2007. Determinação do Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL) ao Derramamento de Óleo para as Regiões Norte e Centro-Norte da Costa de Santa Catarina (SC). Gravel 5: 47-73.
- BAILEY, E. & STEVENS, R. 1960. Selective staining of K-feldspar and plagioclase on rock slabs thin sections. Am. Mineral. 45: 1020-1025.
- BERGER, G. W.; SADOWSKY, T. F.; & DAVIS, D. A. 1996. A simple staining method for K-feldspar before sample preparation for IR-OSL dating. Ancient TL, 14: 9-11.
- CARUSO JR, F.; ARAÚJO, S. A. Mapa geológico da Folha Itajaí, Santa Catarina. In: VII Congresso da ABEQUA, 1999, Porto Seguro. Anais. Porto Seguro: Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. v. CD-ROM. CHAYES, F. 1952. Notes on staining of potash feldspar with sodium cobaltinitrite in thin section. Am. Mineral. 37: 337-340.
- DANA, J. D. & HURLBUT JR., C. S. 1981. Manual de Mineralogia. Livros Técnicos, São Paulo, 642 p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. 1986. Mapa Geológico de Santa Catarina. Escala 1:50000. Florianópolis.
- FOLK, R. L. & WARD, W. 1957. Brazos River Bar: a study in the significance of grain size parameters. Journal of Sedimentary Petrology 27: 3-26.
- GABRIEL, A. & COX, E. P. 1929. A staining method for the quantitative determination of certain rock minerals: Am. Mineral. 14: 290-292.
- KLEIN, A. H. F. & MENEZES, J. T. 2001. Beach morphodynamics and profile sequence for a headland bay coast. J. Coast. Res. 17(4): 812-835.
- LISITZIN, A. P. 1996. Oceanic sedimentation: lithology and geochemistry. American Geophysical Union, Washington, 400p.
- MIKESELL, L. R.; SCHAETZL, R. J. & VELBEL, M. A. 2004. Hornblende etching and quartz/feldspar ratios as weathering and soil development indicators in some Michigan soils. Quatern. Res. 62: 162-171.
- MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – MMA. 2007. Atlas de sensibilidade ambiental ao óleo da Bacia Marítima de Santos. Gherardi, D. F. M. & Cabral, A. P. (Coord.) Brasília (DF), MMA, SMCQ. 2007, 176p.
- SCHETTINI, C. A. F. 2002. Caracterização física do estuário do Rio Itajaí Açu. Rev. Bras. Recur. Híd. 7(1): 123-142.
- SHORT, A. D. & HESP, P. A. 1982. Wave, beach and dune interactions in southeastern Australia. Mar. Geol. 48: 259-284.
- SMITH J. V. & BROWN, W. L. 1988. Feldspar Minerals: Crystal structures, physical, chemical, and microstructural properties. Volume 1. Springer-Verlag, New York, 627p.
- SUGUIO, K. 1973. Introdução à Sedimentologia. Edgard Blücher, São Paulo, 317p.
- SUGUIO, K. 1980. Rocha Sedimentar, propriedades, gênese, importância econômica. Edgard Blücher, São Paulo, 500p.
- SUGUIO, K. 2003. Geologia Sedimentar. Edgar Blücher, São Paulo, 400p.
- VALENTIN, J. L. 2000. Ecologia numérica: uma introdução à análise multivariada de dados ecológicos. Editora Interciência, São Paulo, 117 p.

Submetido: Outubro/2011  
Revisado: Agosto/2012  
Aceito: Outubro/2012