

Sedimentos Relíquias, Palimpsestos e as alusões Paleambientais e Eustáticas

Mauro de Castro LIMA FILHO¹, Valéria da Silva QUARESMA¹, Alex C. BASTOS¹ & Romero M. DUARTE¹

¹ Programa de Pós-graduação em Oceanografia Ambiental, Departamento de Oceanografia e Ecologia, Universidade Federal do Espírito Santo. Av. Fernando Ferrari, 514, CEP 29075-910, Goiabeiras, Vitória, ES, Brasil (departamento.oceanografia@ufes.br)

Resumo. A costa brasileira é caracterizada por ampla diversidade geológica e geomorfológica, contando com diversos sistemas deltaicos e estuarinos. Nesse contexto, em termos de suprimento e dinâmica sedimentar, destaca-se o delta do rio Doce, situado na região norte do estado do Espírito Santo, onde está localizada a área de estudo. Ligados a essa diversidade sedimentológica e às variações eustáticas ocorridas nos últimos milhares de anos, alguns depósitos apresentam registros que destoam do que se deveria obter a partir do atual regime hidrodinâmico, apresentando granulometrias e texturas diferenciadas, sendo classificados em alguns trabalhos como sedimentos relíquias. Assim, visando identificar esses sedimentos reliquiais, o presente trabalho avaliou as principais características morfológicas e texturais dos sedimentos da área, utilizando técnicas e critérios aplicados com a lupa binocular e microscópio eletrônico de varredura (MEV). A partir das análises, sobretudo do grau de arredondamento e feições texturais, foi possível identificar os sedimentos relíquias e verificar a localização geográfica destes depósitos, interpretando se tratar de um paleossistema fluvial do Doce, com características altamente energéticas à época e suas implicações sobretudo eustáticas para a região norte do estado.

Palavras-chave: Oscilações do nível do mar, sedimentologia, morfoscopia, morfometria.

Abstract. RELIC, PALIMPSESTS SEDIMENTS AND THE PALEOENVIRONMENTAL AND EUSTATIC ALLUSIONS. The Brazilian coast is characterized by wide geological and geomorphological diversity, with several deltaic and estuarine systems. In this context, in terms of supply and sedimentary dynamics, the Doce river delta, located in the northern region of the state of Espírito Santo, where the study area is located, stands out. Linked to this sedimentological diversity and to eustatic variations that have occurred in the last thousands of years, some deposits have characteristics that differs from what should be obtained from the current hydrodynamic regime, presenting differentiated granulometries and textures, being classified in some works as relict sediments. Thus, in order to identify these relict sediments, the present work evaluated the main morphological and textural characteristics of the sediments in the area, using techniques and criteria applied with a binocular magnifying glass and a scanning electron microscope (SEM). From the analyses, especially the degree of roundness and textural features, it was possible to identify the relict sediments and verify the geographic location of these deposits, interpreting that it was a Doce river paleosystem, with highly energetic characteristics at the time and its mainly eustatic implications for the northern region of the state.

Keywords: Sea level fluctuations, Sedimentology, Morphoscopy, morphometry.

1 Introdução

As plataformas continentais guardam registros sedimentares e morfológicos da variação do nível relativo do mar (NRM) (Leeder, 1982; Harris & Macmillan-Lawler, 2018). Essas variações são desencadeadas principalmente por fatores tectônicos (tectono-eustasia) ou climáticos, como aqueles relacionados aos Ciclos Orbitais (Ciclos de Milankovitch) que por sua vez são atrelados às eras glaciais e interglaciais (glacio-eustasia) ou ainda à situações locais ligadas ao suprimento sedimentar (Mörner, 1976; Berger, 1978; 1992; Catuneanu, 2002; Silva, 2007; Paillard, 2013; 2015). Uma forma de se verificar as variações relativas do NM em ambientes de Plataforma Continental é através da sua distribuição sedimentar e características das partículas arenosas, como destacado por Shepard (1932), Emery (1968), Swift *et al.* (1971), Pettijohn *et al.* (1987). Os referidos autores também destacam que sedimentos arenosos preservados e que não foram retrabalhados pela ação das ondas seriam considerados como depósitos relíquias, sendo tratados como indicadores de variação nas condições ambientais formadoras do depósito. Swift *et al.* (1971) e Reading (1996) discutem o conceito de grãos palimpsestos, que seriam sedimentos anteriormente reliquiais que foram retrabalhados, por exemplo, em momentos de tempestade com aumento significativo da altura de onda ou de variação das condições hidrodinâmicas locais. Martins *et al.* (1978) enfatizam que a condição para que um sedimento seja interpretado como relíquia está relacionada principalmente à sua localização batimétrica, normalmente em áreas mais profundas e que não apresentariam condições energéticas para que sejam mobilizados e depositados por agentes marinhos nas condições hidrodinâmicas atuais o que também está de acordo com o discutido por Emery (1968). Além disso, o autor explica que essa desestabilização ocorre principalmente por motivos glacio-eustáticos, a exemplo das ocorrências dos últimos 19.000 anos, contudo algumas regiões podem sofrer maior influência da taxa de suprimento sedimentar (Catuneanu, 2002). Martins (1965) relata

implicações paleoambientais a partir de análises granulométricas com curtose e assimetria, já Martins *et al.* (1978) demonstraram que os sedimentos relíquias têm significativa importância para o entendimento da evolução geológica das planícies costeiras e suas relações com as glaciações Quaternárias.

Investigando os aspectos sedimentares da Plataforma Continental do Espírito Santo (PCES), Bastos *et al.* (2015), apontam a existência de três domínios morfossedimentares: a plataforma continental marcada por paleocanais, plataforma continental de Abrolhos e plataforma continental do rio Doce (PCRD). A PCRD, objeto desse estudo, apresenta um regime de suprimento marcado por significativa contribuição de sedimentos terrígenos do Rio Doce (RD), onde a feição que mais se destaca é o lobo deltaico do rio Doce (Bastos *et al.*, 2015). Bastos *et al.* (2015) e Vieira *et al.* (2019) destacam que a plataforma continental adjacente à desembocadura do rio Doce, apresenta ocorrência dominante de lama terrígena e até aproximadamente 40 m e que a partir daí o domínio sedimentar passa a ser de areias terrígena e mista. Quaresma *et al.* (2015) em estudo sedimentar na Plataforma Continental adjacente à desembocadura do RD, destacam a presença de depósitos arenosos adversos à atual dinâmica sedimentar na área de estudo, relatando a presença de pacotes sedimentares com granulometria mais grossa, situados no norte da plataforma. O entendimento de que o aporte fluvial na região ocorria até o local onde estão depositados, justifica a presença dos sedimentos de nível de mar mais baixo que o atual, classificados como areias relíquias. Quanto à hidrodinâmica, a partir de análise realizada a partir de levantamentos sonográficos, Albino (1999) aponta que a região é afetada principalmente por ondas vindas de nordeste e, quando associadas à tempestade, de sudeste.

Segundo Suguio *et al.* (1982) os efeitos das VRNM na região do RD podem ser evidenciados pela existência de diferentes grupos de terraços arenosos emersos na região do delta do Rio Doce, que estariam

ligados a níveis de mar mais elevados que o atual, sendo o último relacionado a um episódio transgressivo ocorrido há aproximadamente 7.000 anos, levando o delta a exibir seus depósitos de forma separada do terraço pleistocênico por um paleossistema de laguna onde, segundo o autor, houve retenção de sedimentos. Dominguez *et al.* (1981) também relatam que o atual input sedimentar do rio Doce não é suficiente para justificar o volume progradacional do Holoceno, implicando assim numa regressão marinha e sugere que os vales preexistentes na região foram colmatados devido à sedimentação Quaternária. Polizel & Rossetti (2014) sugerem que as lagoas da região podem estar relacionadas à paleossistemas estuarinos que foram barrados em sua desembocadura durante a progradação deltaica. Do ponto de vista tectônico Hatushika *et al.* (2005; 2007), por meio de análises sismoestratigráficas de alta resolução, apontam que a existência de falhas geológicas normais de trend NE e ENE, presentes na desembocadura das lagoas do baixo rio Doce, alegando que essas feições contribuíram de forma significativa para a colmatação de paleovales fluviais da região. Conforme Hatushika *et al.* (2005; 2007), indicam que, de forma concomitante à sedimentação do rio Doce, a neotectônica contribuiu significativamente para a formação das lagoas existentes nessa região, o que pode ter influenciado no aporte sedimentar e desequilíbrio do sistema fluvial existente.

Diversos exemplos de feições de fundo e depósitos relíquia marinhos também são encontrados ao redor do mundo, como no estudo de Barrie *et al.* (1984) referente ao retrabalhamento das feições reliquias holocênicas no Canadá, Browne (1994) sobre o afogamento e preservação das barreiras praias arenosas na costa leste da Austrália e Zecchin *et al.* (2015) que trata dessas

ocorrências na região do Mar Mediterrâneo. Na plataforma do Espírito Santo e de Abrolhos, Bastos *et al.* (2015) e Cetto *et al.* (2021) relatam a presença de vales incisos parcialmente afogados e paleolinhas de costa.

O presente trabalho propõe especificamente investigar a origem do sedimento e seu significado em termos de processos de sedimentação na região da plataforma continental do Doce na porção mais rasa (até 50 m) por meio dos métodos de análise morfoscópicas e morfométricas. Tais técnicas aliadas às análises e dados já existentes, viabilizarão identificar com maior clareza as áreas dos depósitos palimpsestos e relíquias propostos por Quaresma *et al.* (2015), possibilitando uma resposta mais conclusiva acerca da relação entre as variações mais recentes do nível do mar, afogamento e preservação desses depósitos e as possíveis alusões paleoambientais da área de estudo.

2 Área, materiais e métodos

2.1 Localização da área

A área de estudo (Figura 1) abrange aproximadamente 4500 km², está situada ao norte do estado do Espírito Santo, entre os municípios de Linhares (ao norte) e Fundão (ao sul), próximo às Unidades de Conservação (UCs) federais Área de Proteção Ambiental (APA) Costa das Algas e Refúgio de Vida Silvestre (RVS) de Santa Cruz.

Com relação ao mapa de localização, vale ressaltar que as letras iniciais dos pontos amostrais estão relacionados à posição geográfica, sendo “AB” as amostras que se referem à proximidade entre a localização da coleta e a plataforma de Abrolhos, situada na região sul do estado da Bahia, e “RD” aquelas cuja posição geográfica se encontra mais próxima à foz do rio Doce.

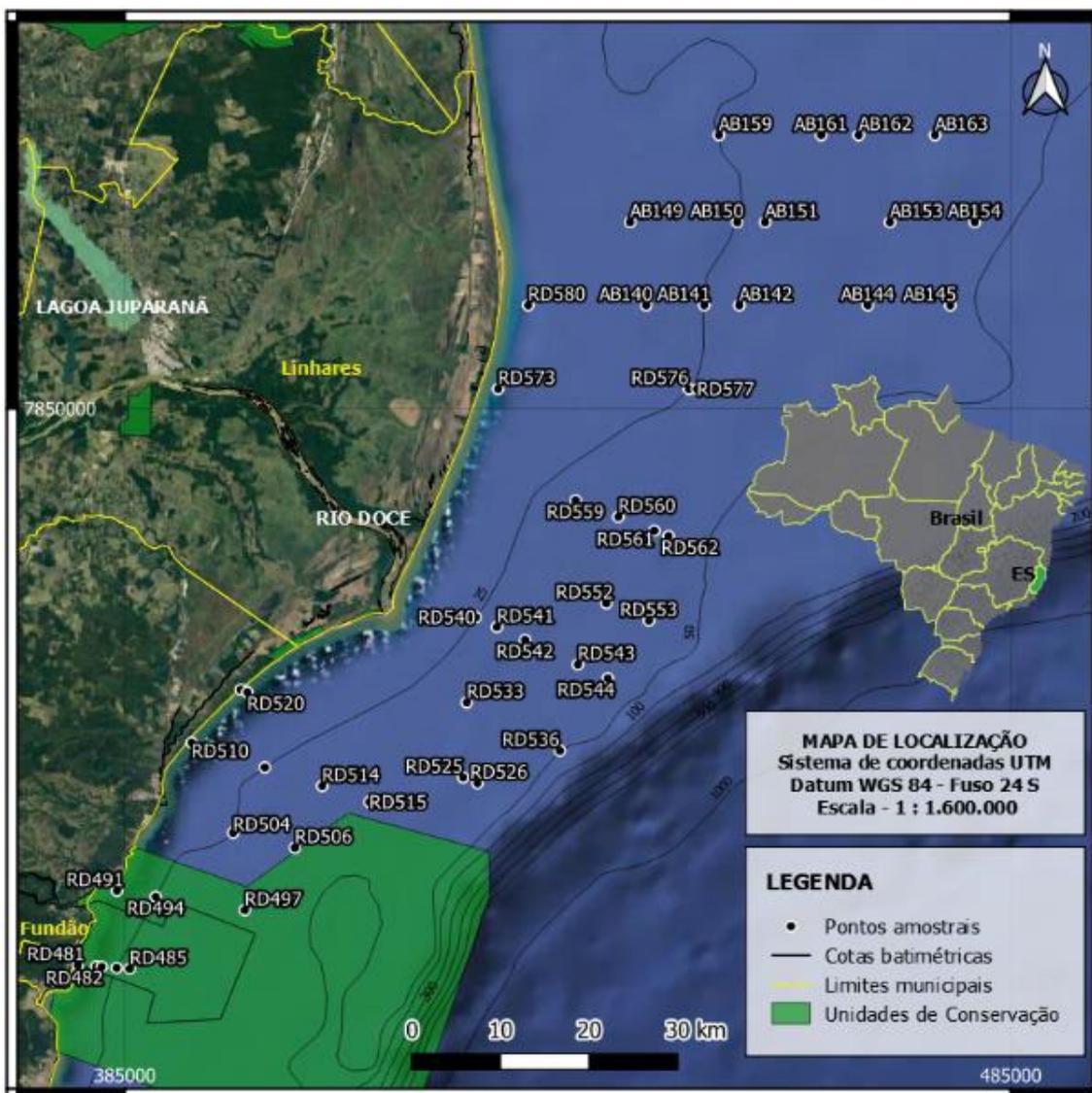


Figura 1. Mapa de localização da Plataforma Continental do Rio Doce e destaque para os 144 pontos amostrais na área de estudo.

Figure 1. Location map of Doce River Continental Shelf and highlighting the sampling points 144 in the study area.

2.2 Materiais e métodos

O presente trabalho investiga as características texturais de grãos de quartzo coletados na região da Plataforma Continental adjacente à desembocadura do rio Doce. Segundo Pettijohn *et al.* (1987) estudos envolvendo textura e forma dos grãos podem ser amplamente utilizados para interpretar paleoambientes, uma vez que os processos físicos envolvidos, atuantes no ambiente deposicional, conferem uma espécie de impressão digital aos sedimentos.

Os dados granulométricos e as amostras utilizadas neste estudo fazem parte

do trabalho de Vieira *et al.* (2019). Para obtenção dos resultados foram necessárias 4 etapas principais: avaliação dos domínios sedimentares (1), morfoscopia e morfometria (2), análise das imagens obtidas por meio do microscópio eletrônico de varredura – MEV (3) e análises da tendência de transporte sedimentar (4).

2.2.1 Análises dos domínios sedimentares

Para essa análise foi utilizada a classificação de Larssonneur (1977) adaptada por Dias (1996), visando classificar os pontos amostrais marcados por areias litoclásticas

(menos de 30% de carbonatos) médias a muito grossas, com base na distribuição amostral existente para a área e apresentada em Vieira *et al.* (2019), foram definidas as amostras classificadas como AL1c e AL1d, onde a primeira classe se refere à areia litoclástica grossa a muito grossa (0,5 a 2 mm) e a segunda à areia litoclástica média (0,25 a 0,5 mm), segundo Larsonneur (1977).

Em seguida com o software QGIS foi possível transformar os pontos em polígonos com base nas referidas classes, sendo posteriormente ajustados por meio das ferramentas de vetorização. Dessa forma foi obtida uma noção espacial acerca dos domínios sedimentares onde se encontravam as amostras a serem analisadas.

2.2.2 Análises morfoscópicas e morfométricas

Para a realização das análises morfoscópicas e morfométricas de cada ponto amostral, foram separados, aleatoriamente, 100 grãos de quartzo da fração 2 Φ (0,250 mm), conforme metodologia descrita por Dias (2004). O estudo contemplou 49 pontos amostrais para a referida análise, cujo critério adotado foi a predominância de areia média ou de granulometria superior, totalizando aproximadamente 4.900 grãos de quartzo.

Quanto à morfoscopia dos grãos, conforme adaptação da metodologia aplicada

por Machado *et al.* (2016), foram utilizados os seguintes atributos:

I. Brilho Normal (N) – se refere ao brilho típico do quartzo, sem alteração intempérica, com fraturamento conchoidal;

II. Sujo (D) – apresenta tonalidade amarronzada em sua superfície e/ou fraturas;

III. Fosco (F) – atrelado ao “jateamento” do grão por partículas mais finas, atribuindo aspecto esbranquiçado e sem brilho ao mineral;

IV. Brilhante (S) – grão com brilho superior ao brilho típico do mineral de quartzo, liso e com aspecto de polido gerado pela ação da água em sua superfície.

Com relação ao grau de arredondamento, conforme adaptação da escala de Powers (1953), o presente trabalho utilizou quatro classes: angulosa (A), sub-angulosa (Sa), sub-arredondada (Sr) e arredondada (R).

A correlação entre os parâmetros morfoscópicos e os morfométricos foi baseada na metodologia aplicada por Machado *et al.* (2016), desenvolvida através dos estudos Mycielska-Dowgiallo & Woronko (2004); Kalińska & Nartišs (2014), iniciada por Cailleux (1942).

Assim, correlacionando os parâmetros ópticos e de arredondamento, foram obtidas 16 classes de grãos (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros ópticos e graus de arredondamento, conforme Machado *et al.* (2016) adaptado de LIGUS (1958). Graus de arredondamento anguloso (A), subanguloso (Sa), subarredondado (Sr) e arredondado (R). Parâmetros ópticos normal (N), sujo (D), fosco (F) e brilhante (S).

Table 1. Optical parameters and degrees of rounding, according to Machado *et al.* (2016) adapted from LIGUS (1958). Degrees of angular rounding (A), sub-angular (Sa), sub-rounded (Sr) and rounded (R). Optical parameters normal (N), dirty (D), frosted (F) and shiny (S).

Parâmetros Ópticos x Grau de Arredondamento	N	D	F	S
A	NA	AD	AF	AS
Sa	SaN	SaD	SaF	SaS
Sr	SrN	SrD	SrF	SrS
R	RN	RD	RF	RS

A distribuição dos dados foi avaliada quanto à normalidade, sendo obtidas as quantidades de cada uma das 16 classes por ponto amostral. Assim, foi realizada uma

análise de agrupamento (*Cluster Analysis*) no intuito de identificar as semelhanças entre as amostras e suas tendências de agrupamentos com base nas características superficiais e de

graus de arredondamento observados, sendo os grupos marcados por pontos em um espaço n dimensional relacionados por meio de coeficientes de similaridade (Landim, 2000). Para isso foi utilizado o software *Past* (Hammer *et al.*, 2001) e, visando avaliar a diferença significativa (significância) entre dois grupos ou mais fornecidos pela análise Cluster, foi realizada um teste *Permutational Multivariate Analysis of Variance* Procedure (PERMANOVA), utilizando-se o índice de Jaccard (Anderson, 2001). Segundo Anderson (2001), o cálculo desta significância é realizado a partir da permutação das amostras entre grupos, com até 9999 réplicas e, para verificar se os agrupamentos apresentam diferença significativa, adota-se um nível de significância da PERMANOVA p menor que 0,05.

2.2.3 Análises de imagens

Para a etapa de Análise de Imagens com o MEV, inicialmente foram obtidos 20 pontos amostrais inclusos nos polígonos das classes de interesse (AL1c e AL1d), dos quais foram selecionados os 15 mais representativos, identificados com a lupa binocular. Essa seleção foi realizada com base nas características granulométricas e composicionais (Larsonneur), visando principalmente aqueles sedimentos com características reliquias e palimpsestas, marcados principalmente por aspecto brilhante ou sujo, posteriormente imageados no MEV. Também foram selecionados alguns grãos modernos, marcados sobretudo por brilho normal ou fosco, para fins de balizamento das análises de imagem, sendo triadas 15 amostras com um total de 225 grãos para a análise final.

A partir das imagens foram interpretadas as principais impressões e texturas observadas para, junto às demais análises (granulométrica, composicional, morfoscopia e morfometria com lupa), identificar sobretudo os grãos reliquias e interpretar os indícios paleoambientais.

2.2.4 Análises da tendência de transporte sedimentar

Os dados de desvio padrão, média, mediana, selecionamento, assimetria e curtose da granulometria foram determinados pelo software Sysgran 3.0 (Camargo, 2006). A partir dessa análise os dados estatísticos foram utilizados na análise de tendências de deposição dos grãos, conforme estudos de McLaren (1981). Segundo o autor McLaren (1981), utilizando parâmetros granulométricos (média, grau de seleção e assimetria) é possível inferir a tendência de direção de transporte dos sedimentos (*Sediment Trend Analysis* - STA), viabilizando uma noção do ponto de vista físico para comparações e interpretações quanto aos depósitos reliquias e modernos, guardadas as ressalvas quanto às limitações do método. Poizot & Mear (2010) relatam que, por meio dos estudos de Mc Laren (1981), é possível chegar aos casos mais prováveis das ocorrências dos depósitos. Para determinar essas tendências foi utilizado o plugin *GisedTrend* disponível nos complementos do software QGIS, onde foram utilizados os referidos parâmetros granulométricos, selecionados os dois tipos de tendências mencionados, coordenadas UTM dos pontos amostrais e uma distância característica de 20 km entre as amostras, para gerar o mapa de tendência dos sedimentos (McLaren, 1981; Gao & Collins, 1991; Le Roux *et al.*, 2002).

3 Resultados

3.1 Domínios sedimentares

Entre as amostras analisadas cabe destacar as áreas de domínio arenoso terrígeno, incluindo as classes AL1c e AL1d, sendo mapeadas e apresentadas no mapa da Figura 2.

A classe AL1c ocorre em maior abundância ao norte do rio Doce, até 50 m de profundidade e ao sul, pontualmente, até a profundidade aproximada de 20 m. Já a classe AL1d está mais presente na porção central do rio Doce, à jusante da foz, e ao norte do rio, entre as profundidades de 20 e 50 m.

Tabela 2. Percentuais das classes morfoscópicas-morfométricas de cada amostra. Para facilitar a visualização dos valores foi aplicada uma escala de cores que varia de verde escuro (0) a vermelho (100). Graus de arredondamento anguloso (A), subanguloso (Sa), subarredondado (Sr) e arredondado (R). Parâmetros ópticos normal (N), sujo (D), fosco (F) e brilhante (S).

Table 2. Percentages of morphoscopic-morphometric classes of each sample. To facilitate the visualization of the values, a color scale that varies from dark green (0) to red (100) was applied. Degrees of angular (A), sub-angular (Sa), sub-rounded (Sr) and rounded (R) rounding. Optical parameters normal (N), dirty (D), frosted (F) and shiny (S).

	SaF	SaN	SaB	SaD	AF	NA	AB	AD	SrF	SrN	SrB	SrD	RF	RN	RB	RD
AB140	2,00	2,00	1,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,00	4,00	27,00	33,00	4,00	0,00	5,00	4,00
AB141	0,00	1,00	9,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00	10,00	36,00	27,00	0,00	0,00	1,00	1,00
AB142	4,00	7,00	11,00	6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,00	10,00	30,00	18,00	2,00	2,00	3,00	1,00
AB144	1,00	0,00	4,00	14,00	0,00	0,00	1,00	1,00	11,00	4,00	15,00	42,00	2,00	1,00	1,00	3,00
AB145	1,00	2,00	2,00	5,00	0,00	1,00	1,00	0,00	5,00	10,00	27,00	32,00	3,00	0,00	3,00	8,00
AB149	1,00	1,00	10,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,00	3,00	23,00	32,00	2,00	0,00	2,00	0,00
AB150	0,00	0,00	1,04	11,46	0,00	0,00	0,00	0,00	10,42	16,67	20,83	32,29	0,00	1,04	2,08	4,17
AB151	2,00	4,00	6,00	17,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00	11,00	17,00	32,00	1,00	2,00	2,00	2,00
AB153	4,00	5,00	7,00	10,00	0,00	0,00	1,00	0,00	5,00	12,00	27,00	18,00	2,00	1,00	5,00	3,00
AB154	1,00	1,00	6,00	5,00	0,00	0,00	1,00	0,00	8,00	12,00	34,00	26,00	0,00	1,00	2,00	3,00
AB159	2,00	9,00	18,00	6,00	0,00	0,00	1,00	0,00	5,00	12,00	34,00	6,00	0,00	2,00	3,00	2,00
AB161	2,00	8,00	8,00	12,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	12,00	15,00	37,00	0,00	0,00	1,00	2,00
AB162	8,08	15,15	13,13	5,05	0,00	0,00	1,01	0,00	9,09	7,07	23,23	15,15	1,01	1,01	1,01	0,00
AB163	5,21	15,63	18,75	3,13	0,00	1,04	2,08	0,00	9,38	12,50	23,96	1,04	3,13	1,04	3,13	0,00
RD481	53,01	1,20	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,73	1,20	1,20	3,61	2,41	0,00	1,20	1,20
RD482	5,00	11,00	12,00	34,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00	6,00	4,00	20,00	0,00	1,00	2,00	0,00
RD483	7,00	11,00	21,00	31,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	4,00	8,00	13,00	0,00	0,00	2,00	0,00
RD484	8,00	3,00	0,00	57,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	2,00	26,00	0,00	0,00	0,00	2,00
RD485	5,15	9,28	6,19	49,48	0,00	0,00	0,00	0,00	3,09	9,28	6,19	10,31	0,00	0,00	0,00	1,03
RD491	6,06	9,09	23,23	32,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,03	13,13	11,11	0,00	1,01	0,00	1,01
RD494	5,00	6,00	12,00	36,00	0,00	0,00	1,00	0,00	2,00	3,00	6,00	25,00	1,00	1,00	1,00	1,00
RD497	8,14	13,95	11,63	17,44	0,00	0,00	2,33	0,00	2,33	12,79	10,47	20,93	0,00	0,00	0,00	0,00
RD504	3,00	16,00	19,00	31,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	7,00	4,00	16,00	0,00	0,00	0,00	1,00
RD506	5,00	33,00	12,00	10,00	0,00	0,00	1,00	0,00	4,00	10,00	11,00	10,00	1,00	1,00	1,00	1,00
RD510	5,26	18,42	14,47	5,26	0,00	6,58	11,84	1,32	0,00	6,58	14,47	7,89	0,00	1,32	3,95	2,63
RD513	4,00	19,00	16,00	34,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	6,00	6,00	7,00	1,00	1,00	2,00	1,00
RD514	2,06	25,77	15,46	22,68	0,00	0,00	0,00	2,06	4,12	7,22	5,15	12,37	0,00	1,03	2,06	0,00
RD515	5,00	16,00	14,00	16,00	0,00	4,00	1,00	3,00	2,00	6,00	14,00	12,00	1,00	0,00	4,00	2,00
RD519	5,62	13,48	17,98	8,99	0,00	1,12	0,00	0,00	5,62	6,74	30,34	7,87	1,12	0,00	1,12	0,00
RD520	10,00	5,00	12,00	20,00	0,00	0,00	1,00	1,00	17,00	3,00	13,00	13,00	2,00	1,00	2,00	0,00
RD525	9,78	10,87	26,09	11,96	1,09	0,00	2,17	0,00	9,78	4,35	13,04	4,35	3,26	0,00	2,17	1,09
RD526	16,00	15,00	22,00	3,00	0,00	1,00	0,00	0,00	15,00	10,00	13,00	1,00	2,00	0,00	2,00	0,00
RD533	6,00	14,00	26,00	21,00	1,00	3,00	1,00	0,00	3,00	5,00	4,00	11,00	0,00	0,00	5,00	0,00
RD536	4,60	33,33	2,30	11,49	0,00	2,30	0,00	0,00	10,34	17,24	2,30	14,94	0,00	1,15	0,00	0,00
RD540	4,04	15,15	15,15	25,25	0,00	1,01	2,02	2,02	2,02	8,08	11,11	9,09	2,02	1,01	2,02	0,00
RD541	1,18	17,65	28,24	7,06	0,00	1,18	2,35	1,18	7,06	7,06	20,00	4,71	0,00	1,18	1,18	0,00
RD542	2,00	40,00	26,00	9,00	0,00	1,00	2,00	1,00	1,00	7,00	9,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00
RD543	1,18	27,06	3,53	42,35	0,00	2,35	0,00	2,35	1,18	8,24	1,18	8,24	0,00	0,00	0,00	2,35
RD544	10,00	22,00	19,00	7,00	1,00	3,00	4,00	0,00	1,00	13,00	17,00	2,00	0,00	1,00	0,00	0,00
RD552	4,12	5,15	17,53	12,37	1,03	0,00	2,06	0,00	9,28	5,15	20,62	8,25	6,19	2,06	5,15	1,03
RD553	7,06	25,88	3,53	11,76	0,00	5,88	5,88	4,71	4,71	12,94	7,06	9,41	0,00	1,18	0,00	0,00
RD559	6,38	9,57	18,09	21,28	0,00	1,06	0,00	0,00	8,51	3,19	12,77	7,45	5,32	0,00	6,38	0,00
RD560	14,00	18,00	14,00	13,00	0,00	1,00	2,00	0,00	7,00	4,00	18,00	5,00	0,00	0,00	4,00	0,00
RD561	12,22	7,78	23,33	13,33	0,00	1,11	0,00	1,11	12,22	5,56	18,89	1,11	1,11	1,11	1,11	0,00
RD562	9,38	28,13	3,13	7,29	2,08	6,25	3,13	3,13	8,33	11,46	3,13	12,50	1,04	1,04	0,00	0,00
RD573	7,69	14,29	8,79	15,38	0,00	0,00	1,10	0,00	4,40	6,59	12,09	21,98	1,10	4,40	2,20	0,00
RD576	11,00	5,00	12,00	13,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,00	6,00	14,00	22,00	0,00	0,00	0,00	3,00
RD577	1,32	17,11	1,32	19,74	0,00	1,32	0,00	0,00	3,95	13,16	1,32	40,79	0,00	0,00	0,00	0,00
RD580	14,63	9,76	2,44	4,88	0,00	0,00	0,00	0,00	30,49	4,88	14,63	15,85	1,22	0,00	0,00	1,22

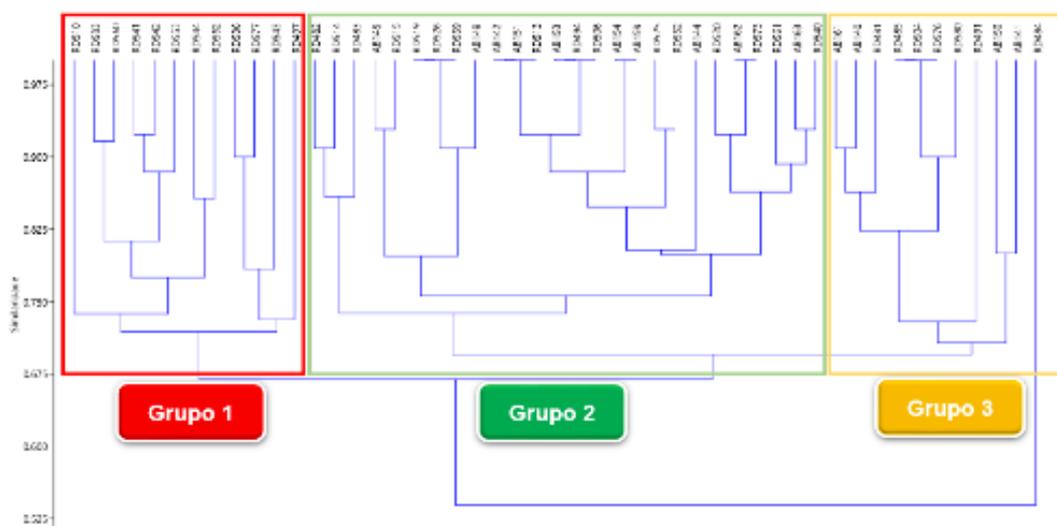


Figura 3. Dendrograma demonstrando os 3 grupos com base nos aspectos ópticos e graus de arredondamento.

Figure 3. Dendrogram demonstrating the 3 groups based on optical aspects and degrees of roundness.

Seguindo o método de verificação dos agrupamentos, foi aplicado o teste de variância multivariada permutacional para avaliar a significância estatística dos agrupamentos obtidos pela análise de cluster. O resultado do nível de significância ($p=0,0001$) indicou que a associação é significativa, uma vez que $p < 0,05$.

Assim, para melhor entender as características morfoscópias e morfométricas dos agrupamentos, foi realizada uma avaliação mais aprofundada do conteúdo de cada grupo, onde foram somadas as classes e obtidos os percentuais de cada uma (Tabela 3).

Tabela 3. Resultado percentuais obtidos com base nas características dos tipos de grão (AF a RD) por grupo (G1, G2 e G3). Para facilitar a visualização dos valores foi aplicada uma escala de cores que varia de verde escuro (0) a vermelho (100).

Table 3. Percentage results obtained based on the characteristics of the types of grain (AF to RD) by group (G1, G2 and G3). To facilitate the visualization of the values, a color scale was applied that varies from dark green (0) to red (100).

	AF	AN	AB	AD	SaF	SaN	SaB	SaD	SrF	SrN	SrB	SrD	RF	RN	RB	RD
G1	0,34	2,77	2,85	1,09	5,79	23,09	12,85	14,36	4,11	9,91	8,9	11,67	0,08	0,5	1,26	0,42
G2	0,08	0,42	0,73	0,39	5,32	10,73	13,85	15,01	7,37	7,29	17,48	15,2	1,66	0,96	2,39	1,12
G3	0	0	0	0	9,59	5,84	7,49	20,82	10,41	6,76	14,06	21,37	0,64	0,18	0,91	1,92

Assim, foi possível observar as predominâncias morfoscópias (F, N, B e D) e morfométricas (A, Sa, Sr e R) de cada grupo, sendo o Grupo 1 (G1) marcado por 63% dos grãos subangulosos (Sa) a angulosos (A) apresentando 62% entre brilho normal (N) e brilhante (B). O Grupo 2 (G2) apresenta 53% de grãos subarredondados (Sr) a arredondados (R) e 66% dos grãos apresentando aspecto brilhante (B) ou sujo (D). Já o Grupo 3 (G3) apresenta 56% dos grãos

subarredondados a arredondados, ausência de grãos angulosos e 67% dos grãos com aspecto brilhante ou sujo. Vale salientar que o G3 apresentou o maior percentual (20,64%) de grãos foscos (F) entre os três grupos.

No intuito de verificar a distinção entre esses grupos em termos de distribuição geográfica, os pontos agrupados por cores foram plotados sobre os polígonos das classes AL1c e AL1d. Desta forma, foi possível observar a presença de três setores divididos

conforme as linhas tracejadas, onde foram notadas as diferenças estatísticas e de posicionamento entre os três grupos, sendo possível visualizar que o G1 ocupou predominantemente o setor central em frente à desembocadura do Rio Doce e entre 25 e 50 m de profundidade, o G2 está mais presente nos setores sul e norte nas profundidades similares às do G1. Já o G3 está espacialmente

distribuído de maneira semelhante ao G2, porém ocupando profundidades mais rasas, próximas ou inferiores aos 25 m (Figura 4).

Ademais, ainda que os agrupamentos tenham sido realizados em função das análises morfoscópicas, foi possível notar que também há diferença significativa quanto às posições geográficas e profundidades médias dos grupos (Figura 5).

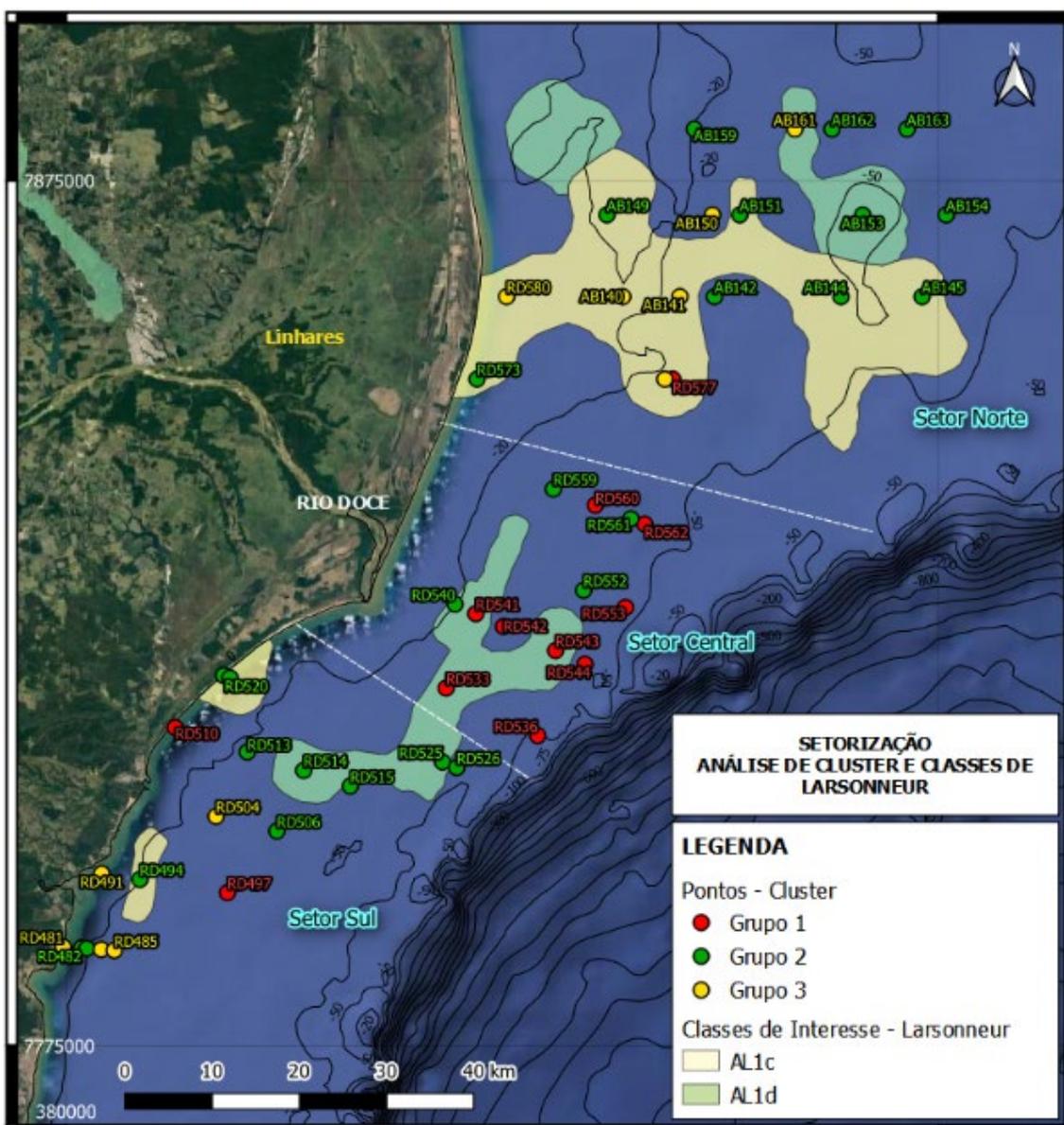


Figura 4. Mapa de setorização com os grupos obtidos na análise Cluster e polígonos das classes de interesse de Larssonur.

Figure 4. Sectorization map with the groups obtained in the Cluster analysis and polygons of the classes of interest of Larssonur.

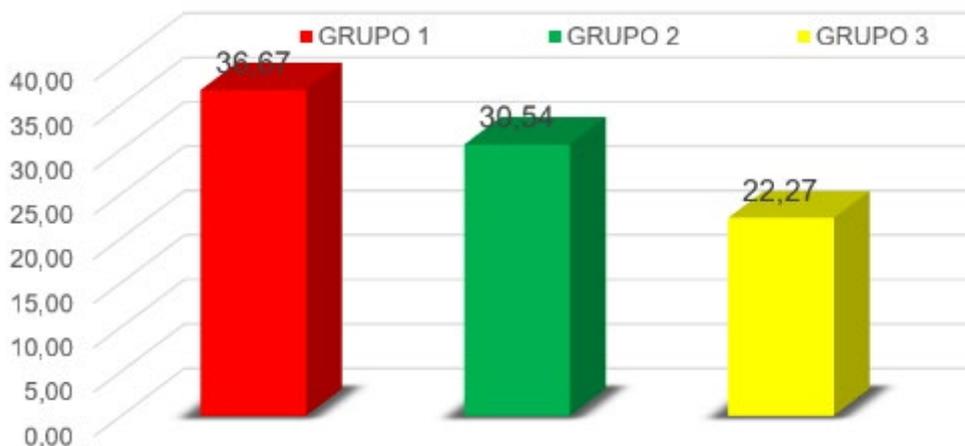


Figura 5. Profundidade média dos grupos G1, G2 e G3, obtidos por meio da análise Cluster.
 Figure 5. Average depth of groups G1, G2 and G3, obtained through Cluster analysis.

3.3 Imagens do MEV

Inicialmente, com imagens e análises dos trabalhos de Krinsley & Doornkamp (1973; 2011), Baker (1976), Helland *et al.* (1997), Narayana *et al.* (2010), Rajganapathi *et al.* (2013), Vos *et al.* (2014) e Warriar *et al.* (2016), correlacionadas com a tabela modificada de Pettijohn *et al.* (1987) que arrola feições superficiais dos grãos de quartzo aos ambientes sedimentares, foi possível confeccionar uma tabela, aqui denominada “Guia de Interpretação” (Tabela 4). O intuito desse Guia foi nortear o entendimento das feições observadas nas imagens do MEV e avaliar suas relações com os ambientes correspondentes.

A superfície dos grãos registra impressões de origem química (gerada por precipitação ou dissolução química) e/ou física (gerada por atrito devido aos mecanismos de suspensão, saltação ou rolamento). As feições predominantes observadas nas amostras apresentam caráter químico, destacando-se as películas de sílica,

pontos de dissolução. Em menor quantidade, foram observadas, fendas de dissolução e glóbulos de sílica. As feições de caráter físico são abarcadas principalmente pelos degraus retos e arranhões curvos (Figura 6).

Quanto à presença dessas feições nos grupos obtidos pela análise de Cluster, foram consideradas três ordens de quantidade:

- i. Abundante – feição predominante, muitas vezes ocupando 50% da superfície do grão;
- ii. Comum – 2ª feição que mais se repete, ocupando aproximadamente 30% da superfície do grão;
- iii. Esparsa – 3ª feição presente que mais se repete, abrangendo 20%, ou menos, da superfície do grão.

Assim, foram contados os números de vezes que as feições predominantes (abundantes, comuns e esparsas) se repetiam em cada grão e estabelecidos os percentuais e características mais marcantes de cada grupo (Tabela 5).

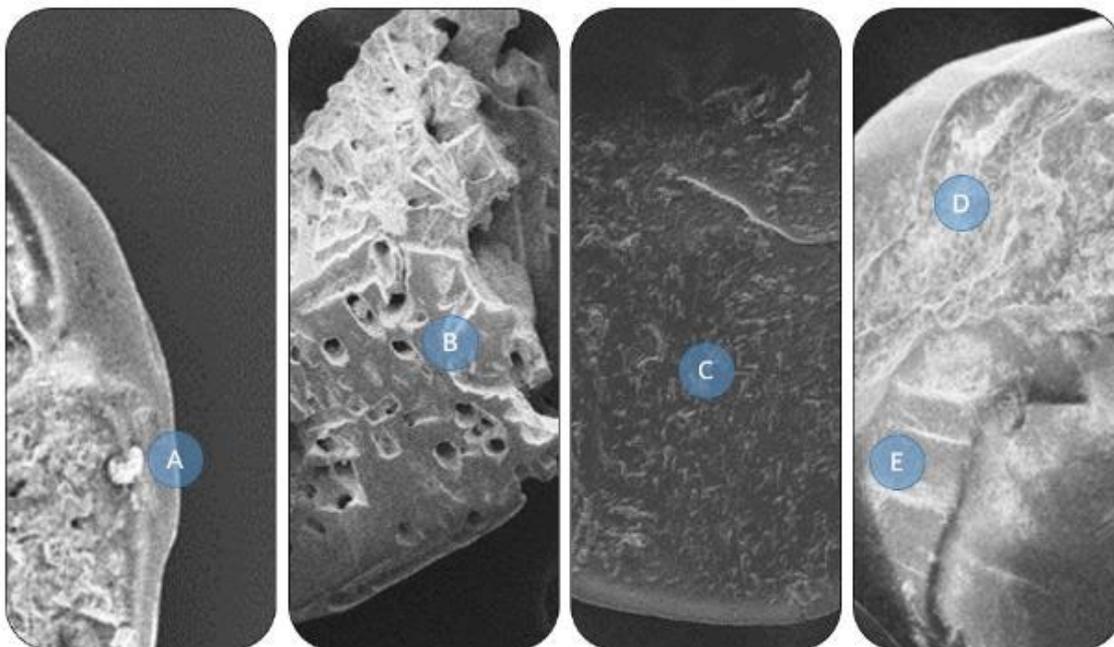


Figura 6. Exemplos de imagens (MEV) dos grãos contendo algumas das principais feições observadas no presente trabalho, entre elas as amostras AB140 com pontos de dissolução e precipitação, com destaque para o glóbulo de sílica (A), RD494 com pontos de dissolução marcantes (B), AB161 com V's de impacto (C) e RD533 apresentando películas de sílica (D) e degraus retos (E).

Figure 6. Examples of images (SEM) of grains containing some of the main features observed in the present work, among them samples AB140 with dissolution and precipitation points, with emphasis on the silica globule (A), RD494 with striking dissolution points (B), AB161 with impact V's (C) and RD533 showing silica films (D) and straight steps (E).

Pode-se observar no G1 a presença de películas de sílica (17,95%), pontos e fendas de dissolução (17,95%), além dos arranhões curvos (10,26%), totalizando 58,97% das feições abundantes do grupo. Também se destacam os pontos de dissolução (17,86%), arranhões curvos (10,71%), marcas de abrasão (10,71%) e fratura conchoidal (7,14%), totalizando 46,43% das feições comuns do grupo. Também pode-se observar a presença de partículas aderidas (20,83%), glóbulos de sílica (12,50%), pontos e fendas de dissolução (8,33%), V's de impacto (8,33%) e fratura fraturas conchoidais (8,33%), somando 66,67% das feições esparsas do G1.

O G2 foi caracterizado pela presença de dissolução e precipitação de sílica (20,69%), películas de sílica (13,79%), pontos e fendas de dissolução (13,79%) e degraus retos (13,79%), perfazendo 62,07% das feições abundantes observadas. O grupo ainda apresenta

partículas aderidas (18,18%), pontos de dissolução (13,64%), arranhões curvos (13,64%) e degraus curvos (9,09%), somando 54,55% das feições comuns, além de partículas aderidas (27,27%), pontos de dissolução (22,73%) e relevo médio (18,18%), abarcando 68,18% das feições esparsas observadas nos grãos.

No G3 se destacam as películas de sílica (20%), pontos e fendas de dissolução (20%), degraus retos (13,33%), dissolução e precipitação de sílica (13,33%) e precipitação de sílica (13,33%), somando 80% das feições abundantes, películas de sílica (16,67%), pontos e fendas de dissolução (16,67%), arranhões curvos (16,67%) e pontos de dissolução (16,67%), representando 66,67% das feições comuns e os glóbulos de sílica (53,85%) e degraus curvos (15,38%), totalizando 69,23% das feições esparsas do grupo.

Tabela 5. Percentuais das feições abundantes (A), comuns (C) e esparsas (E) observadas na superfície dos grãos a partir das imagens de MEV, separadas por grupo (G1, G2 e G3). Escala de cores variando de verde escuro (0) a vermelho (100).

Table 5. Percentages of abundant (A), common (C) and sparse (E) features observed on the grain surface based on SEM images, separated by group (G1 to G3). Color scale ranging from dark green (0) to red (100).

FEIÇÕES	G1			G2			G3		
	A	C	E	A	C	E	A	C	E
Películas de sílica	17,95	3,57	4,17	13,79	0,00	0,00	20,00	16,67	7,69
Pontos e fendas de dissolução	17,95	3,57	8,33	13,79	0,00	4,55	20,00	16,67	0,00
Películas e glóbulos de sílica	2,56	3,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Arranhões curvos e retos	5,13	3,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fratura conchoidal	5,13	7,14	8,33	6,90	4,55	4,55	6,67	0,00	0,00
Arranhões curvos	10,26	10,71	0,00	0,00	13,64	0,00	0,00	16,67	0,00
Pontos de dissolução	2,56	17,86	4,17	0,00	13,64	22,73	0,00	16,67	7,69
Partículas aderidas	5,13	3,57	20,83	6,90	18,18	27,27	0,00	0,00	0,00
Glóbulos, flor e película de sílica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Degraus retos	2,56	0,00	4,17	13,79	4,55	0,00	13,33	0,00	0,00
Degraus curvos e retos	2,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Arranhões retos	2,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fratura conchoidal/degraus curvos	2,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dissolução e precipitação de sílica	12,82	0,00	0,00	20,69	0,00	0,00	13,33	0,00	0,00
Superfície abrasiva	5,13	0,00	4,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fratura conchoidal com precipitação de sílica	0,00	0,00	0,00	6,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Microfraturas preenchidas por sílica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,67	8,33	0,00
Flores de sílica	0,00	3,57	0,00	3,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Precipitação de sílica	0,00	3,57	4,17	10,34	4,55	0,00	13,33	0,00	0,00
Fraturas conchoidais suavizadas	0,00	0,00	0,00	3,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Marcas de abrasão	0,00	10,71	0,00	0,00	0,00	0,00	6,67	0,00	0,00
Fenda de dissolução	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,33	0,00
V's de impacto	0,00	3,57	8,33	0,00	4,55	0,00	0,00	0,00	7,69
Relevo médio	0,00	0,00	0,00	0,00	4,55	18,18	0,00	0,00	0,00
Microfratura	0,00	3,57	0,00	0,00	4,55	0,00	0,00	0,00	0,00
Baixo relevo	0,00	3,57	4,17	0,00	0,00	9,09	0,00	0,00	0,00
Arranhões e degraus retos	0,00	3,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Degraus curvos	0,00	0,00	0,00	0,00	9,09	0,00	0,00	0,00	15,38
Arranhões retos	2,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
V's de impacto e glóbulos de sílica	0,00	0,00	4,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Glóbulos de sílica/partículas aderidas	0,00	0,00	8,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,69
Pontos de dissolução e precipitação	0,00	0,00	4,17	0,00	0,00	4,55	0,00	0,00	0,00
Películas e glóbulos de sílica	2,56	3,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Glóbulos de sílica	0,00	0,00	12,50	0,00	18,18	9,09	0,00	8,33	53,85
Fratura conchoidal média e fendas de dissolução	0,00	3,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dissolução de sílica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,33	0,00
Degrau curvo com precipitação química	0,00	3,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fratura concho média e fendas de dissolução	0,00	3,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SOMA	100								

3.4 Tendências de transporte sedimentar

Os dados granulométricos e estatísticos viabilizaram a confecção do mapa de tendências de transporte de sedimentos com

o plugin *GisedTrend* (QGIS), evidenciando as principais tendências de transporte na área de estudo e uma resultante para 195º sudoeste (SW), utilizados de maneira complementar às demais análises realizadas (Figura 7).

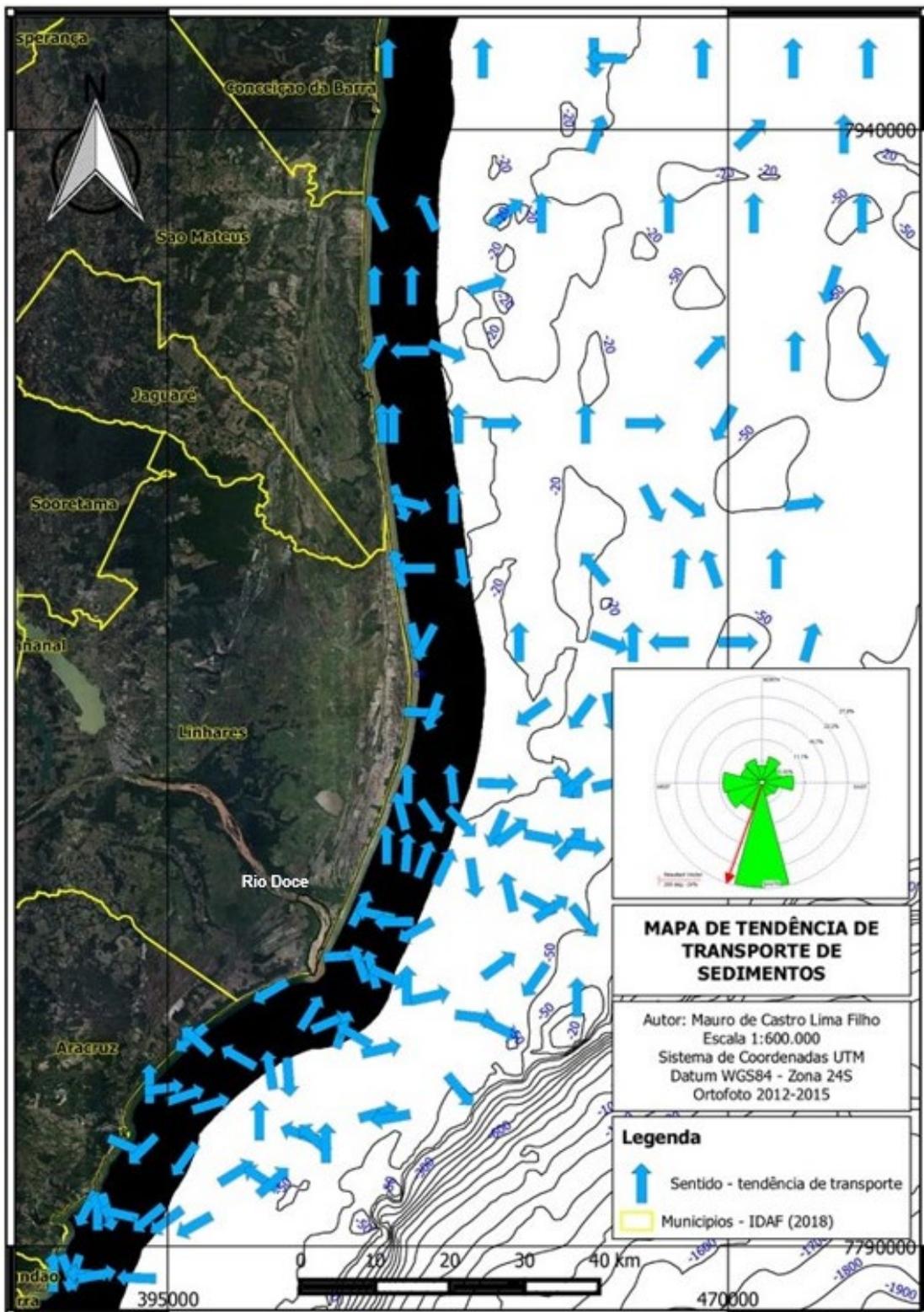


Figura 7. Mapa com os azimutes (setas azuis) das tendências de transporte de sedimentos, com destaque para a resultante (seta vermelha) 195° (SW).

Figure 7. Map with azimuths (blue arrows) of sediment transport trends, with emphasis on the resulting (red arrow) 195° (SW).

Os principais sentidos dessas tendências de transporte são verificados ao observar uma predominância de vetores de N norte da foz do rio Doce, onde é possível

e NE, condizentes com a dinâmica atual. Já ao sul nota-se a presença de alguns vetores de SE no rumo offshore da foz, tais como os sentidos dos períodos de tempestade descritos por Albino (1999) e Oliveira *et al.* (2015). Ademais, curiosamente nota-se presença marcante de vetores de SW na porção sul. Observa-se ainda algumas áreas de convergência de transporte tanto a Sul, quanto ao Norte da desembocadura. Ao final das análises foram verificadas as implicações dessas tendências, sobretudo em relação às áreas marcadas pelos depósitos relíquias, frente à dinâmica ambiental.

4 Discussão dos resultados

Diante das análises realizadas surgem algumas questões a serem esclarecidas. Entre elas, quais seriam as implicações dos referidos barramentos ocorridos nas desembocaduras de antigos tributários do rio Doce que originaram sistemas lacustres, conforme proposto por Hatushika *et al.* (2005; 2007), para a ocorrência de sedimentos reliquias na PCES?

Pela lógica esses barramentos ou colmatações implicaram em “trapeamento” de sedimentos e diminuição da competência de transporte que eram gerados por esses antigos tributários do rio Doce (Lorente *et al.*, 2018), provocando, entre outras consequências, a diminuição da taxa de suprimento para a plataforma continental a partir do Holoceno médio, ou seja, desequilíbrio do sistema, indo ao encontro do que propõe o estudo de Emery (1968) com relação aos depósitos previamente em equilíbrio com ambiente deposicional que, a partir de alguma alteração energética, passaram a estar em desequilíbrio.

A partir das análises morfoscópicas, foi possível observar que as feições existentes na superfície dos grãos e suas respectivas formas obedecem a uma relação de predominância. As primeiras análises realizadas com a lupa permitiram a identificação da presença majoritária de grãos angulosos a subangulosos com brilho normal ou brilhantes no G1. Em contrapartida no G2 e G3, a marcante presença de grãos subarredondados a

arredondados com aspecto ora brilhante, ora sujo.

De acordo com Dias (2004), a disposição de areias grossas em porções mais distais da costa e cotas batimétricas mais profundas que areias finas, são indícios relevante para reconhecimento dos depósitos reliquias, como também sugerem Emery (1968) e Nordstrom & Margolis (1972), estes discorrem também sobre sedimentos depositados com as impressões de V's de impacto como indicadores de paleoambientes litorais. Esses critérios também foram utilizados para complementar o rol de indícios empregados no presente trabalho para selecionar as prováveis amostras com sedimentos relíquias.

As análises realizadas, incluindo aquelas por meio das imagens do MEV, possibilitaram identificar as principais características dos depósitos investigados na área de estudo e classificá-los quanto ao caráter moderno, palimpsesto ou reliquiar. Assim, os atributos que permitiram classificar os depósitos reliquias se destacam nos grãos subarredondados a arredondados esféricos com presença majoritária de feições químicas (dissolução, películas de sílica, partículas aderidas, entre outras). Além disso esses grãos são isentos de feições recentes oriundas de agentes físicos (V's de impacto, fraturas conchoidais, arranhões curvos, retos, entre outras) e com possível presença de impressões físicas preservadas, normalmente situados em porções menos energéticas da plataforma continental e encontrados em cotas batimétricas iguais ou superiores a 30 m, indicando que provavelmente não estão sendo remobilizados e fisicamente retrabalhados.

As características observadas no presente trabalho como indicativas dos depósitos palimpsestos, foram encontradas em sedimentos com a presença ou sobreposição de impressões de diferentes naturezas, caráter físico (recente) e químico, guardando indícios de outros ambientes (ou momentos energéticos), isto é, a mesclagem de feições modernas e relíquias nos grãos. Em geral esses grãos são subangulosos a subarredondado com arestas incipientes, encontrados em cotas batimétricas próximas ou inferiores à 30 m.

Por fim, os depósitos modernos da área de estudo são marcados por grãos que se destacam pela presença das feições físicas recentes, geralmente angulosos a subanguloso, maior quantidade de arestas, feições químicas incipientes ou ausentes e situados em porções mais energéticas da plataforma continental, em profundidades normalmente inferiores à 30 m.

Ademais, foi possível verificar que as feições físicas dos grãos podem apresentar aspecto “recente” (com arestas ou sulcos mais pronunciados), caracterizando marcas e formas oriundas das condições atuais às quais os grãos estavam submetidos, ou ainda “preservadas” (com sulcos incipientes e menos pronunciados) remontando ocorrências pretéritas que tenham sido registradas na superfície dos grãos (Figura 8).

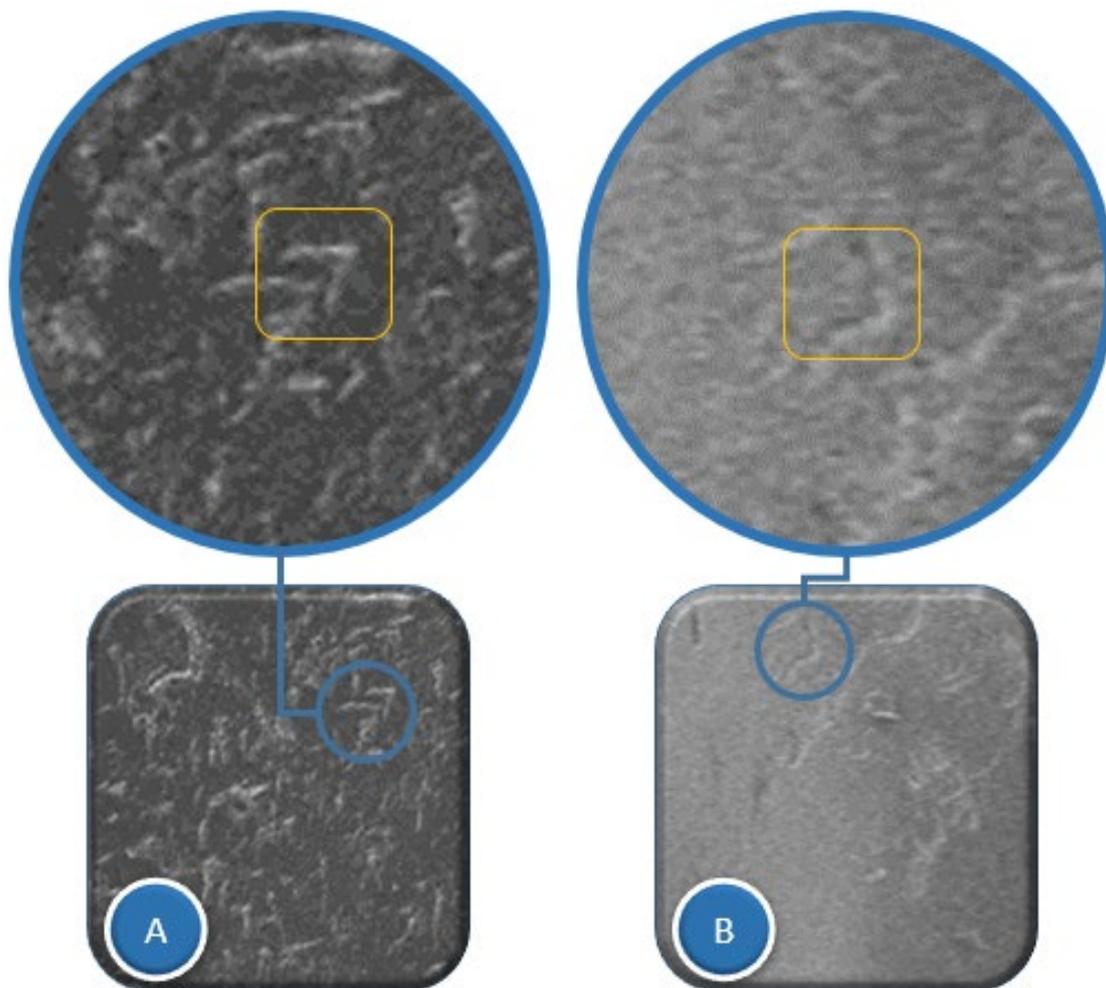


Figura 8. Exemplos de feições físicas (V's de impacto) recentes (A) e preservadas (B) observadas no presente trabalho.

Figure 8. Examples of recent (A) and preserved (B) physical features (impact V's) observed in the present work.

Apesar das feições químicas majoritariamente presentes nas amostras analisadas, quatro destas estavam situadas em profundidade significativa para o contexto do presente estudo (aproximadamente 40 m), além disso continham grãos subarredondados

(esféricos no geral) e também feições físicas preservadas, tais como arranhões curvos, degraus retos e V's de impacto, apresentando baixo a médio relevo, como pode ser observado nas amostras AB144, AB145, AB151 e AB153 (Figura 9).

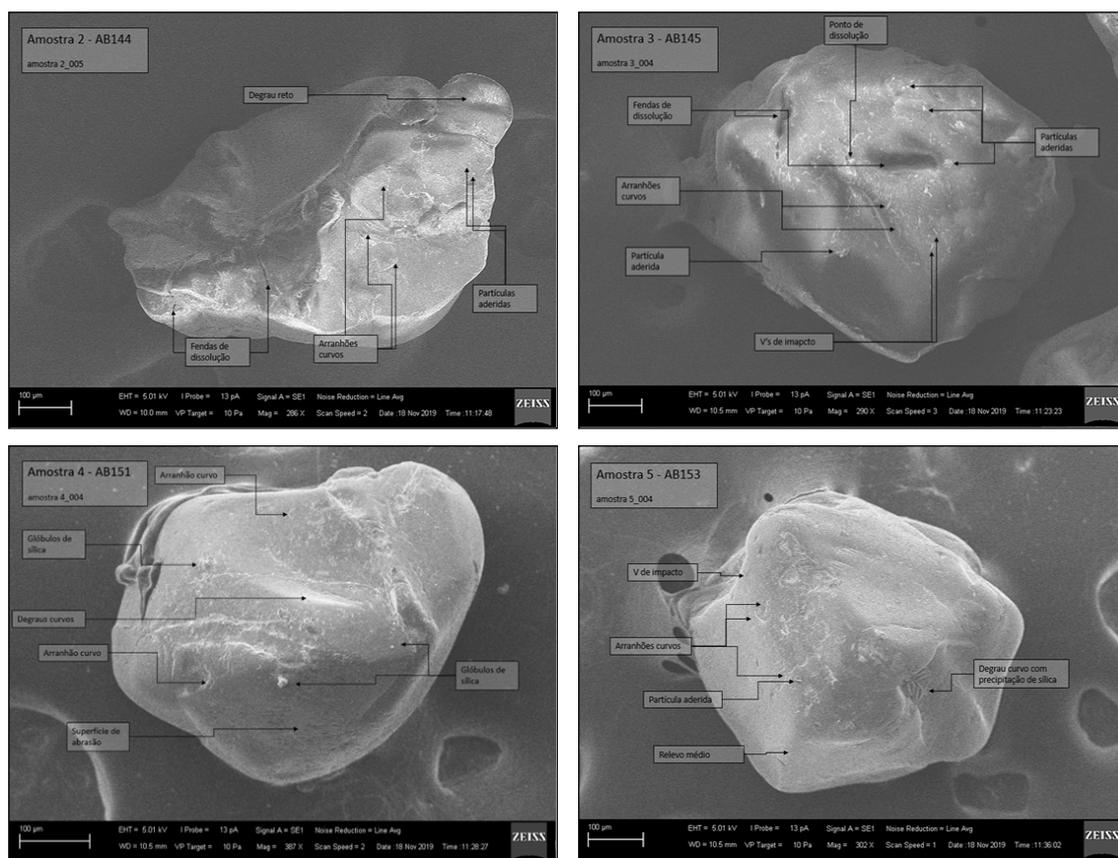


Figura 9. Imagens de MEV dos grãos das amostras AB144, AB145, AB151 e AB153, evidenciando feições químicas e físicas.

Figure 9. SEM images of grains from samples AB144, AB145, AB151 and AB153, showing chemical and physical features.

A realização dessas análises viabilizou o entendimento de que essas amostras são compostas por sedimentos que demonstram fortes indícios de caráter reliquiar, tais como arredondamento/esfericidade do grão, marcas físicas preservadas e químicas, conforme descrito nas figuras. Assim, ao realizar as correlações entre os ambientes sedimentares e impressões na superfície desses grãos, por meio do Guia de Interpretação confeccionado no presente trabalho, foi possível verificar que feições abundantes de arranhões curvos e “V’s” de impacto, presença de degraus curvos e relevo médio, se enquadram como ambientes fluviais altamente energéticos, conforme destacam Pettijohn *et al.* (1987). O resultado corrobora com a explanação de Quaresma *et al.* (2015), indicando que a deposição de sedimentos arenosos terrígenos encontrados no setor norte da área de estudo, pode apresentar relação com uma antiga foz do rio Doce que se encontrava deslocada para o norte durante o

Holoceno Tardio, como também proposto por Suguio *et al.* (1982). Considerando ainda que essas amostras foram coletadas em profundidades superiores a 30 m, sugerindo o não retrabalhamento por ondas de tempestade na região, conforme o trabalho de Bittencourt *et al.* (2007), entende-se que para a instalação de um sistema fluvial nessa região (em distâncias superiores a 25 km da costa), necessariamente o nível relativo do mar deveria se encontrar em níveis significativamente mais baixos do que o atual.

Quanto à natureza dos grãos avaliados no MEV, 67 (sessenta e sete) foram interpretados como palimpsestos, 27 como relíquias e sete como modernos. Também foram selecionados os grãos mais representativos por ponto amostral e plotados em mapa para relacionar seus aspectos visuais e respectivos posicionamentos na área de estudo (Figura 10).

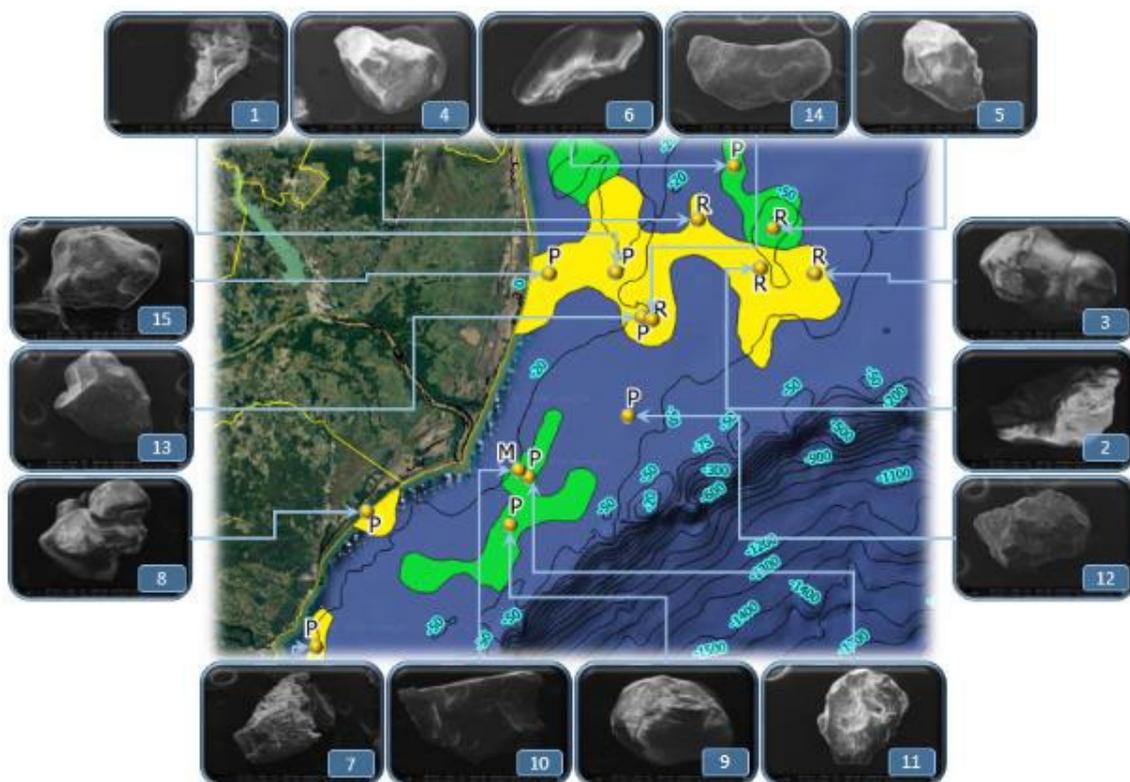


Figura 10. Grãos relíquias (R), palimpsestos (P) e modernos (M) e imagens de MEV mais representativas por ponto amostral, classes AL1c (amarelo) e AL1C (verde) e seus respectivos posicionamentos na área de estudo.

Figure 10. Relic grains (R), palimpsests (P) and modern (M) and SEM images more representative by sample point, classes AL1c (yellow) and AL1C (green) and their respective positions in the study area.

Ao analisarmos as amostras de maneira integrada com os principais vetores (da tendência de transporte dos sedimentos - STA) que influenciaram esses pontos amostrais, foi possível verificar que há uma divergência entre os azimutes dos depósitos relíquias e os demais (Figura 11), como pode ser observado também em relação à resultante de 195° (SW) já mencionada nos resultados das análises granulométricas.

A resultante (SE) vetorial, encontrada na região do depósito relíquia, indicou um azimute condizente com o que se espera do sentido de um fluxo fluvial responsável pela deposição desses sedimentos no passado, entretanto cabe ressaltar a necessidade de estudos mais específicos com dados geofísicos que permitam a visualização de um paleocanal ou outros indicativos de paleocorrentes, por exemplo. A posição geográfica desse sistema

fluvial pretérito poderia, assim, ser relacionado à dinâmica evolutiva do delta do rio Doce e a configuração da sua foz mais ao norte, que posteriormente migrou para o sul, durante estágios holocênicos como foi destacado por Rossetti *et al.* (2015). Oliveira *et al.* (2015) apontam que o transporte de sedimentos no sentido sul estão mormente presentes ao sul da foz, todavia o transporte líquido segue para norte e as ocorrências de sul são apenas inversões sazonais.

Ademais, Costa Júnior (2018) sugere que a presença de depósitos distais contendo minerais pesados na fração areia, associados aos paleocanais (registros de sedimentação fluvial) e encontrados no setor norte da área de estudo, estaria relacionada aos sedimentos reliquias depositados em nível relativo de mar baixo, esta afirmação vai ao encontro do estudo de Shepard (1932).

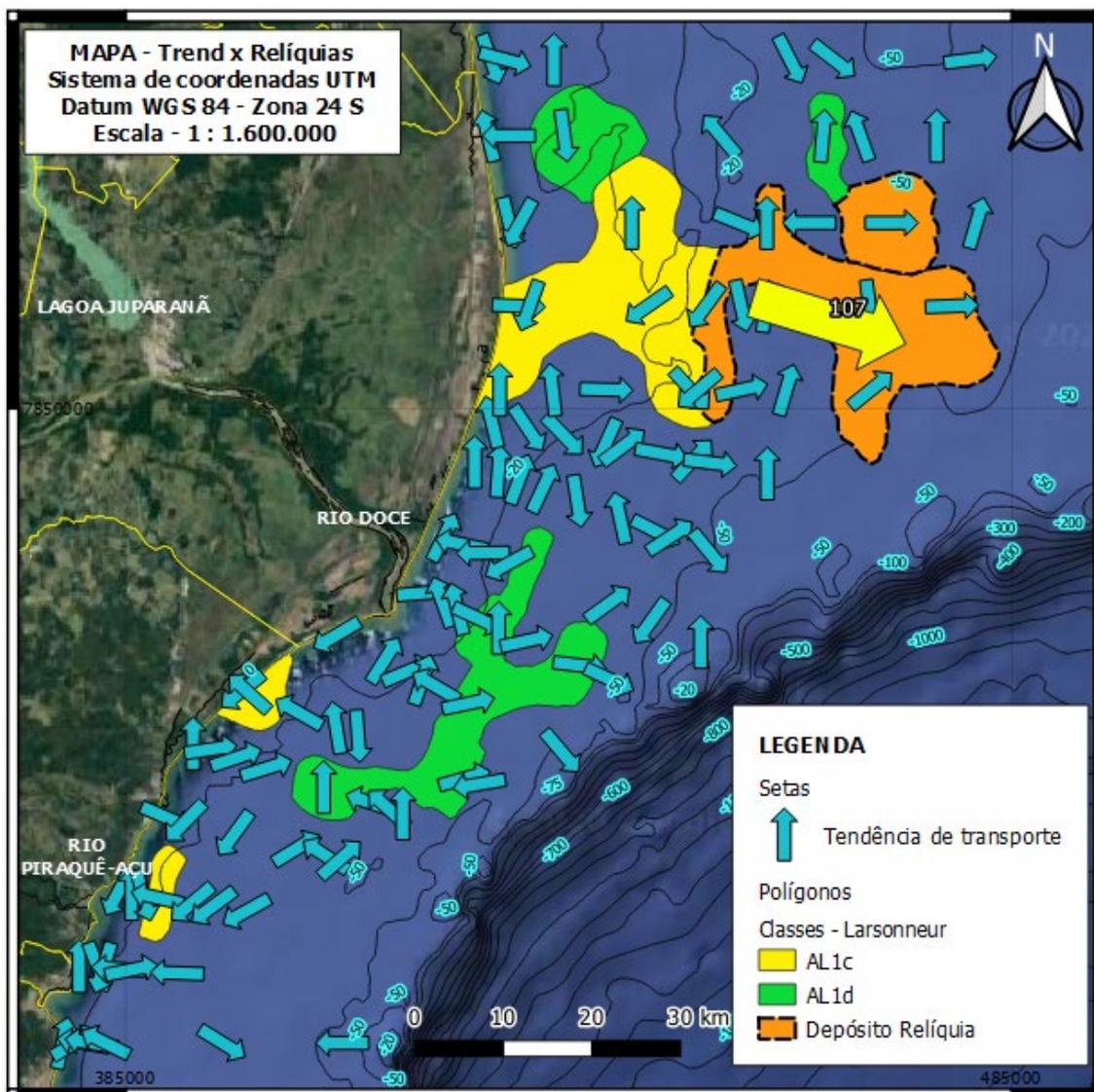


Figura 11. Mapa com os vetores de tendência de transporte de sedimentos, destaque para os depósitos relíquias (polígono laranja) e sua resultante (seta amarela) de 107° (SE).

Figure 11. Map with the sediment transport trend vectors, highlighting the relic deposits (orange polygon) and its resulting (yellow arrow) of 107° (SE).

5 Conclusões

As avaliações das características composicionais da área auxiliaram na restrição das áreas de interesse do presente trabalho e as análises iniciais com a lupa binocular, junto às análises de agrupamento, permitiram guiar a pesquisa quanto à compartimentação da área de estudo em função das características morfoscópicas e morfométricas das amostras, denotando diferenças significativas entre as cotas batimétricas e posições geográficas dos grupos. Todavia, as análises alcançadas

somente com a lupa binocular, incluindo as granulométricas e composicionais, não garantem elevada assertividade quanto à natureza reliquiar, palimpsesta ou moderna dos grãos, sendo o MEV um excelente recurso nesse sentido.

Apesar das amostras terem sido coletadas na plataforma continental, os atributos dos grãos interpretados como relíquias estão relacionados aos ambientes deposicionais fluviais energéticos. Os resultados possibilitaram o entendimento de que a atual plataforma continental do Espírito Santo foi cortada por rios no passado e em

diferentes posições geográficas, quando a linha de costa se encontrava recuada a mais de 25 km (ao leste) em relação à atual conformação. Nesse interim, os rios, dunas, vegetação e a fauna costeiras ocupavam a área onde atualmente se encontra a PCES e essa migração ora gradativa, ora episódica da linha de costa, conseqüentemente desses ambientes, confere “impressões digitais” aos sedimentos, ou ainda sobreposição de feições, como observado na superfície dos grãos palimpsestos.

Ademais, o mapa de tendências de transporte sedimentar complementou as discussões finais do trabalho, permitindo uma noção razoável para a análise dos sedimentos coletados, uma vez que se reporta às características vinculadas aos materiais e não à situação atual de transporte dos sedimentos na área que se modifica constantemente.

Diante do exposto é notável a necessidade de atenção aos processos cíclicos e episódicos de variação eustática, acarretados tanto pelos processos de glaciais/interglaciais e atividades antrópicas (como queima de combustíveis fósseis, queimadas, metano advindo da pecuária, entre outros), como pelos processos tectônicos. O presente trabalho também evidencia a importância dos estudos oceanográficos na gestão das regiões costeiras, amplamente habitadas.

Para trabalhos futuros é importante contemplar a fundo as análises morfométricas, uma estratégia relevante é avaliar a acurácia visual no que tange a utilização da escala de arredondamento de Powers comparada ao uso de softwares de análise de imagem tais como o *Image J*, por exemplo, que fornecem índices de arredondamento, esfericidade, entre outros, minimizando o caráter subjetivo das análises visuais. Ademais, ressalta-se a necessidade de mapeamentos dos vales incisivos, canais fluviais através de sísmica de reflexão, entre outros.

Agradecimentos. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e Projeto Habitats ou “Mapeamento de habitats marinhos da plataforma continental

do Espírito Santo” (processo nº: 65945336/2014) (FAPES, 2014).

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001 and Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES).

Os autores gostariam de agradecer à FAPES pelos recursos destinados à ciência e aos colegas Marcelle Nogueira e Leonardo T. Salgado pela contribuição para o sucesso do presente trabalho.

Referências

- Albino, J. 1999. *Processos de sedimentação atual e morfodinâmica das praias de Bicanga a Povoação, ES*. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação Geologia Sedimentar. São Paulo: USP, p. 182.
- Anderson, M.J. 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, 26(1): 32-46.
- Baker, H.W. 1976. Environmental sensitivity of submicroscopic surface textures on quartz sand grains; a statistical evaluation. *Journal of Sedimentary Research*, 46(4): 871-880.
- Barrie, J.V., Lewis, C.F.M., Fader, G.B. & King, L.H. 1984. Seabed processes on the northeastern Grand Banks of Newfoundland; Modern reworking of relict sediments. *Marine Geology*, 57: 209-227.
- Bastos, A.C., Quaresma, V.S., Marangoni, M.B.; D'Agostini, D.P.; Bourguignon, S. N.; Cetto, P.H. & Collins, M. 2015. Shelf morphology as an indicator of sedimentary regimes: A synthesis from a mixed siliciclastic-carbonate shelf on the eastern Brazilian margin. *Journal of South American Earth Sciences*, 63: 125-136.
- Berger, A.L. 1978. Long-term variations of daily insolation and Quaternary climatic changes. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 35(12): 2362-2367.
- Berger, A.L. 1992. Astronomical theory of paleoclimates and the last glacial-interglacial cycle. *Quaternary Science Reviews*, 11(5): 571-581.

- Bittencourt, A.C.S.P., Dominguez, J.M.L., Martin, L., Silva I.R. & Medeiros, K.O.P. 2007. Past and current sediment dispersion pattern estimates through numerical modeling of wave climate: an example of the Holocene delta of the Doce River, Espírito Santo, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 79(2): 333-341.
- Browne, I. 1994. Seismic stratigraphy and relict coastal sediments off the east coast of Australia. *Marine Geology*, 122(1-2): 81-107.
- Camargo, M.G. 2006. SysGran: um sistema de código aberto para análises granulométricas do sedimento. *Revista Brasileira de Geociências*, 36(2): 371-378.
- Catuneanu, O. 2002. Sequence stratigraphy of clastic systems: concepts, merits, and pitfalls. *Journal African Earth Science*, 35(1): 1-43.
- Cetto, P.H., Bastos, A.C., & Ianniruberto, M. 2021. Morphological evidences of eustatic events in the last 14,000 years in a far-field site, East-Southeast Brazilian continental shelf. *Marine Geology*, 442: 106659.
- Costa Júnior, A.A. 2018. *Caracterização e distribuição dos minerais pesados ao longo da plataforma continental do Espírito Santo*. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo. 50 p.
- Dias, G.T.M. 1996. Classificação de sedimentos marinhos: proposta de representação em cartas sedimentológicas. In: *Anais do XXXIX Congr. Brás. Geol.*, 3, p. 423-426.
- Dias, J.A. 2004. *A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos*. Universidade do Algarve. E-Books.
- Dominguez, J.M.L., Bittencourt, A.C.S.P. & Martin, L. 1981. Esquema evolutivo da sedimentação quaternária nas feições deltaicas dos rios São Francisco (SE/AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). *Revista Brasileira de Geociências*, 11(4): 227-237.
- Emery, K.O. 1968. Relict sediments on continental shelves of world. *AAPG Bulletin*, 52(3): 445-464.
- Gao, S. & Collins, M., 1991. A critique of the McLaren method for defining sediment transport paths-discussion. *Journal of Sedimentary Petrology*, 61: 143-146.
- Hammer, Ø., Harpista, D.A.T. & Ryan, P.D. 2001. Past: Pacote de software de estatísticas paleontológicas para educação e análise de dados. *Paleontologia Electronica*, 4: 1-9.
- Harris, P.T. & Macmillan-Lawler, M. 2018. Origin and geomorphic characteristics of ocean basins. In: *Submarine Geomorphology*. Springer, Cham, p. 111-134.
- Hatushika, R.S., Mello, C.L., & Silva, C.G. 2005. Evidências de atuação neotectônica na formação do lago Juparanã-Linhares (ES). In: *Anais... Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (Vol. 10)*.
- Hatushika, R.S., Mello, C.L., & Silva, C.G. 2007. Sismoestratigrafia de alta resolução no lago Juparanã, Linhares (ES-Brasil) como base para estudos sobre a sedimentação e tectônica quaternária. *Revista Brasileira de Geofísica*, 25(4): 433-442.
- Helland, P.E., Huang, P. & Diffendal, R.F. 1997. SEM analysis of quartz sand grain surface textures indicates alluvial/colluvial origin of the Quaternary "glacial" boulder clays at Huangshan (Yellow Mountain), East-Central China. *Quaternary Research*, 48(2): 177-186.
- Kalińska E. & Nartišs, M. 2014. Pleistocene and Holocene aeolian sediments of different location and geological history: A new insight from rounding and frosting of quartz grains. *Quaternary International*, 328–329: 311-322.
- Krinsley, D.H. & Doornkamp, J.C. 1973. *Atlas of sand grain surface textures*. Univ. Press Cambridge, Cambridge, 91 p.
- Krinsley, D.H. & Doornkamp, J.C. 2011. *Atlas de texturas de superfície de areia de quartzo*. Cambridge University Press.
- Landim, P.M.B. 2000. *Análise estatística de dados geológicos multivariados*. Laboratório de Geomatematica, DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Texto Didático 03, 128p.

- Larsonneur, C. 1977. La cartographie de's dépôts meubles sur le plateau continental français: méthode mise du points et utilisée em Manche. *J. Rech. Océanographique*, 2: 34-39.
- Leeder, M.R. 1982. *Clastic shelves*. In: *Sedimentology*. Springer, Dordrecht. p. 202-210.
- Le Roux, J.P., O'Brien, R.D., Rios, F. & Cisternas, M., 2002. Analysis of sediment transport paths using grain-size parameters. *Computers & Geosciences*, 28: 717-721
- LIGUS (Laboratoire de l'Institut de Géographie de l'Université de Strasbourg). 1958. Methodé améliorée pour l'étude des sables. *Rev. Géom. Dyn*, IV: 43-53.
- Lorente, F.L., Pessenda, L.C.R., Oboh-Ikuenobe, F., Junior, A.A.B., Rossetti, D.F., Giannini, P.C.F., Cohen, M.C.L., Oliveira, P.E., Mayle, F.E., Francisquini, M.I., França, M.C., Bendassolli, J.A. & Macario, K. 2018. An 11,000-year record of depositional environmental change based upon particulate organic matter and stable isotopes (C and N) in a lake sediment in southeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 84: 373-384.
- Machado, G.M.V., Albino, J., Leal, A.P. & Bastos, A.C. 2016. Quartz grain assessment for reconstructing the coastal palaeoenvironment. *Journal of South American Earth Sciences*, 70: 353-367.
- Martins, I.R., Martins, L.R. & Urien, C.M. 1978. Sedimentos relíquias na plataforma continental brasileira. *Pesquisas*, 9(9): 76-91.
- Martins, L.R. 1965. Significance of skewness and kurtosis in environmental interpretation. *Journal of Sedimentary Research*, 35(3): 768-770.
- McLaren, P. 1981. An interpretation of trends in grain size measure. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51(2): 611-624.
- Mörner, N.A. 1976. Eustasy and Geoid Changes. *The Journal of Geology*, 84(2): 123-151.
- Mycielska-Dowgiallo, E. & Woronko, B. 2004. The degree of aeolization of Quaternary deposits in Poland as a tool for stratigraphic interpretation. *Sedimentary Geology*, 168(3-4): 149-163.
- Narayana, A.C., Mohan, R. & Mishra, R. 2010. Morphology and surface textures of quartz grains from freshwater lakes of McLeod Island, Larsemann Hills, East Antarctica. *Current Science (Bangalore)*, 99(10): 1420-1424.
- Nordstrom, C.E. & Margolis, S.V. 1972. Sedimentary history of central California shelf sands as revealed by scanning electron microscopy. *Journal of Sedimentary Research*, 42(3): 527-536.
- Oliveira, T., Albino, J., & Venancio, I. 2015. Transporte longitudinal de sedimentos no litoral da planície deltaica do Rio Doce. *Quaternary and Environmental Geosciences*, 6(1): 20-25.
- Paillard, D. 2013. Quaternary glaciations: from observations to theories (Milankovic Medal Lecture). In: EGU General Assembly Conference Abstracts. p. 14249.
- Paillard, D. 2015. Quaternary glaciations: from observations to theories. *Quaternary Science Reviews*, 107: 11-24.
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E. & Siever, R. 1987. *Sand and Sandstone*, 2nd, 533 p.
- Poizot, E. & Méar, Y. 2010. Using a GIS to enhance grain size trend analysis. *Environmental Modelling & Software*, 25(4): 513-525.
- Polizel, S.P. & Rossetti, D.F. 2014. Caracterização morfológica do delta do rio Doce (ES) com base em análise multissensor. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 15(2): 311-326.
- Powers, M.C. 1953. A new roundness scale for sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Research*, 23(2): 117-119.
- Quaresma, V.D.S., Catabriga, G., Bourguignon, S.N., Godinho, E. & Bastos, A.C. 2015. Modern sedimentary processes along the Doce river adjacent continental shelf. *Brazilian Journal of Geology*, 45(4): 635-644.
- Rajganapathi, V.C., Jitheshkumar, N., Sundararajan, M., Bhat, K.H. & Velusamy, S. 2013. Grain size analysis and characterization of sedimentary environment along Thiruchendur coast, Tamilnadu, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(12): 4717-4728.

- Reading, H.G. 1996. *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*. 3rd. Edition. Blackwell Science. Oxford.
- Rossetti, D.F., Polizel, S.P., Cohen, M.C.L. & Pessenda, L.C.R. 2015. Late Pleistocene–Holocene evolution of the Doce River delta, southeastern Brazil: implications for the understanding of wave-influenced deltas. *Marine Geology*, 367: 171-190.
- Shepard, F.P. 1932. Sediments of the continental shelves. *Bulletin of the Geological Society of America*, 43(4): 1017-1040.
- Silva, J.G.R. 2007. *Ciclos orbitais ou ciclos de Milankovitch*. Textos de Glossário Geológico Ilustrado.
- Swift, D., Stanley, D., & Curray, J. 1971. Relict Sediments on Continental Shelves: A Reconsideration. *The Journal of Geology*, 79(3): 322-346.
- Suguo, K., Martin, L. & Dominguez, J.M.L. 1982. Evolução da planície costeira do Rio Doce (ES) durante o Quaternário: influência das flutuações do nível do mar. In: *Simpósio do Quaternário no Brasil*, 4. Rio de Janeiro.
- Tudor, F.M. 2017. *Critérios de reconhecimento dos depósitos de inundação tsunamigénica no contexto do Ordenamento do Território*. Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território, IGOT/ULisboa – Universidade de Lisboa.
- Vieira, F.V., Bastos, A.C., Quaresma, V.S., Leite, M.D., Costa Jr., A., Oliveira, K.S., Dalvi, F.D., Bahia, R.G., Holz., V.L., Moura, R.L., & Amado Filho, G.M. 2019. Along-shelf changes in mixed carbonate-siliciclastic sedimentation patterns. *Continental Shelf Research*, 187: 103964.
- Vos, K., Vandenberghe, N. & Elsen, J. 2014. Surface textural analysis of quartz grains by scanning electron microscopy (SEM): From sample preparation to environmental interpretation. *Earth-Science Reviews*, 128: 93-104.
- Warrier, A. K., Pednekar, H., Mahesh, B.S., Mohan, R. & Gazi, S. 2016. Sediment grain size and surface textural observations of quartz grains in late quaternary lacustrine sediments from Schirmacher Oasis, East Antarctica: Paleoenvironmental significance. *Polar Science*, 10(1): 89-100.
- Zecchin, M., Ceramicola, S., Lodolo, E., Casalbore, D., & Chiocci, F.L. 2015. Episodic, rapid sea-level rises on the central Mediterranean shelves after the last glacial maximum: a review. *Marine Geology*, 369: 212-223.