

GRANULOMETRIA E MORFOMETRIA DE SEDIMENTOS SUPERFICIAIS COSTEIROS: O COMPLEXO DE LAGOAS INTERDUNARES DA APA JENIPABU, RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL

C. P. A. SILVA¹, R. F. AMARAL², P. V. N. ARAÚJO³

Universidade Estadual de Campinas¹, Universidade Federal do Rio Grande do Norte², Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte³
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6427-1956>¹
claupbrito@gmail.com¹

Submetido 14/03/2020 - Aceito 01/11/2020

DOI: 10.15628/holos.2020.9890

RESUMO

No litoral oriental do Estado do Rio Grande do Norte, há a presença de campos de dunas transgressivas, surgidos a partir do transporte e deposição de sedimentos pela ação eólica. Nas áreas mais baixas há o afloramento da superfície freática, o que dá origem às lagoas interdunares. A Área de Proteção Ambiental de Jenipabu (APAJ) comporta um desses campos de dunas transgressivas, onde ocorrem algumas destas lagoas. Estes depósitos são relevantes, seja no contexto ecossistêmico, por abrigar grande diversidade de organismos e corpos d'água potável (as lagoas interdunares), seja por sua atribuição paisagística e

turística. Por isso, foi feito um estudo desses sedimentos, que consistiu em uma análise granulométrica e morfométrica, além de uma análise de correspondência múltipla, integrando todos os resultados. Foi possível conferir a composição mineralógica predominantemente quartzosa variando de cascalho à fração silte/argila. O ambiente possui grãos que estão principalmente na fração areia fina a média; moderadamente a bem selecionados, com esfericidade média dominante, característicos de ambientes de alta energia dinâmica. Estudos como esse oferecem subsídios para diagnósticos ambientais que, por sua vez, auxiliam a gestão da área.

PALAVRAS-CHAVE: dunas holocênicas, análise granulométrica, lagoas costeiras, dunas transgressivas, estatística ambiental

GRANULOMETRY AND MORPHOMETRY OF COASTAL SURFACE SEDIMENTS: THE APA JENIPABU INTER DUNES LAGOON COMPLEX, RIO GRANDE DO NORTE, BRAZIL

ABSTRACT

On the East coast of Rio Grande do Norte state, there are transgressive dune fields, which occurred due to the transport and the deposition of sediments caused by wind action. In the lower areas, there is the outcrop of the groundwater, which gives rise to the interdunar lagoons. The Jenipabu Environmental Protection Area (APAJ) encompasses one of these transgressive dune fields where some of these lagoons occur. Such deposits are not only relevant for the ecosystem context, since they house a great diversity of organisms and drinking water bodies (the interdunar lagoons), but also for their landscape and tourist attribution. For these reasons, a

study of the given sediments was carried out. It consisted of a granulometric and morphometric analysis as well as a multiple correspondence analysis, followed by an integration of all the results. It was possible to check the predominantly quartz mineralogical composition ranging from gravel to silt/clay fraction. The environment has grains that are mainly in the fine to medium sand fraction; moderately to well-selected, with broadly dominant average sphericity, which are characteristic from high dynamic energy environments. Studies like this offer subsidies for environmental diagnoses that, in turn, help the management of the area.

KEYWORDS: holocenic dunes, granulometric analysis, coastal lagoons, transgressive dunes, environmental statistics

1 INTRODUÇÃO

O litoral brasileiro abrange mais de 8000 km de extensão, dos quais cerca de 410 km pertencem ao estado do Rio Grande do Norte (RN). O litoral do RN é, geologicamente, constituído por rochas sedimentares cretáceas das bacias sedimentares Potiguar e Pernambuco-Paraíba e por depósitos terrígenos miocênicos a pliocênicos da Formação Barreiras. Recobrimo estas unidades, ocorrem os depósitos marinhos, praias, eólicos e aluviais do Quaternário.

Um exemplo de depósitos eólicos são os campos de dunas eólicas transgressivas, definidas por Hesp & Thom (1990) como “dunas costeiras não vegetadas que, alimentadas por areias praias, migram para o interior da costa, recobrimo terrenos mais antigos”. Neste ambiente comumente são encontradas lagoas, definidas por Guerra (2008) como “depressões de formas variadas, principalmente tendendo a circulares, de profundidades pequenas e cheias de água doce ou salgada”. As lagoas afloram nos trechos mais baixos e extensos das áreas interdunares, próximas ao nível freático, nas planícies de deflação, que são essencialmente arenosas. As lagoas podem ser temporárias, também denominadas de efêmeras e intermitentes, ou permanentes, também chamadas de perenes. Quando temporárias, existem apenas na estação das águas e, quando secas, são habitadas por vegetação rasteira. Quando perenes, ocorrem durante o ano inteiro, mesmo em épocas secas.

Nesse contexto, enquadra-se o campo de dunas transgressivas de Jenipabu, localizado no litoral do Rio Grande do Norte, importante atrativo turístico da região devido às suas feições paisagísticas que lhe conferem beleza cênica. Por serem esses campos constituídos por sedimentos, o estudo das propriedades físicas destes é fundamental para entender os depósitos sedimentares e a dinâmica sedimentar que os originou (Dias, 2004). Dentre os parâmetros determinantes destacam-se o tamanho e a forma da superfície das partículas dos sedimentos.

As análises granulométricas e morfométrica permite supor sobre a proveniência, transporte e ambientes deposicionais das partículas. Embora haja na literatura uma visão geral sobre as características dos sedimentos dunares (Silva, Aragão & Magalhães, 2008; Suguio, 1973), estudar especificamente o sedimento de uma determinada área é um importante artifício para caracterização detalhada da dinâmica ambiental local. Entretanto, nem sempre é fácil realizar uma ligação científica entre as análises granulométrica e morfométrica e o meio ambiente, principalmente, se o local em estudo possuir uma variabilidade de dados que dificulte o diagnóstico de um padrão ambiental.

Nesse sentido, técnicas exploratórias da Estatística Multivariada são aplicadas em situações nas quais várias variáveis são analisadas simultaneamente em cada elemento amostral. Tais técnicas visam simplificar a estrutura da variabilidade dos dados que, em geral, são correlacionados entre si, sem, no entanto, perder a informação original dos mesmos (Abdi & Valentin, 2007). Para a realização deste trabalho foi utilizada a Análise de Correspondência Múltipla, uma técnica da Estatística Multivariada, que trata de variáveis categóricas, visando representar os conjuntos de dados através de um modelo gráfico que facilita a interpretação da relação entre tais conjuntos. Deste modo, o trabalho tem por objetivo realizar uma descrição granulométrica e morfométrica dos

sedimentos superficiais costeiros do depósito eólico da APA Jenipabu, Rio Grande do Norte, Brasil, bem como realizar uma integração dos resultados em uma análise multivariada, com o intuito de entender a dinâmica de transporte e sedimentação local.

A justificativa de se realizar pesquisas pautadas nestes objetivos constitui-se no fato de que o conhecimento das características sedimentológicas da APAJ oferece subsídios para compreensão da dinâmica local, podendo ser utilizadas em relatórios ambientais para gestão da área, culminando nos aspectos relacionados à conservação da mesma.

2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está situada na Área de Proteção Ambiental de Jenipabu - APAJ, localizada entre os municípios de Natal e Extremoz. A APAJ foi criada com o objetivo de ordenar o uso, proteger e preservar os ecossistemas de praias mata atlântica e manguezal, lagoas, rios e demais recursos hídricos, dunas e espécies vegetais e animais presente nesses municípios. Possui uma área de 1.881 hectares e busca assegurar a preservação ambiental de uma área de tabuleiros, dunas, bem como o importante Complexo Dunar de Jenipabu, região com intensa atividade turística. Nesta área de proteção ambiental, destacam-se economicamente, os passeios de buggy e nos dromedários, além de todo o mercado informal que vive dos turistas que vão em busca de lazer e diversão (Silva, 2017).

Há na APAJ um complexo lagunar formado por lagoas costeiras, dentre elas quatro lagoas são mais expressivas. São denominadas, de norte para sul, de Lagoa 1, Lagoa 2, Lagoa 3 e Lagoa 4. Destas, as Lagoas 1 e 2 são o objeto de estudo deste trabalho, por serem classificadas como perenes e apresentarem maior área de espelho d'água (Figura 1).

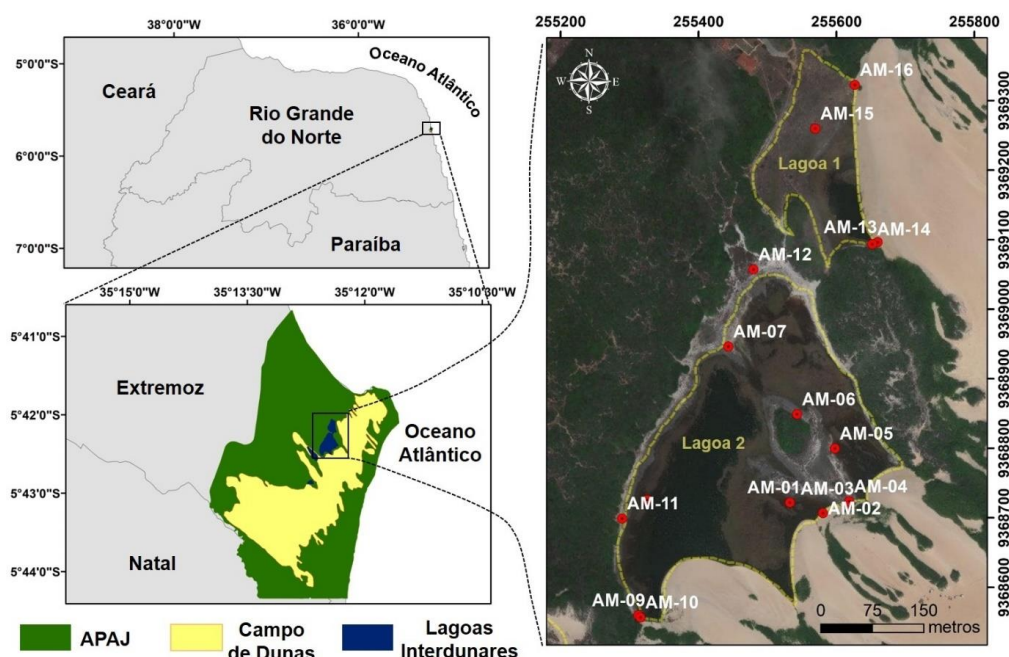


Figura 1 Mapa de localização das amostras coletadas na Área de Proteção Ambiental de Jenipabu (APAJ). Em destaque circulado em traços amarelos, estão as lagoas 1 e 2. Os pontos vermelhos representam a localização das 16 amostras coletadas. Fonte de imagem base: ArcGIS Online (© ESRI).

3 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho consistiu nas etapas de coleta (aquisição, armazenamento/transporte e processamento laboratorial), análises granulométrica e morfométrica dos grãos, e integração dos dados em uma análise de correspondência múltipla (ACM).

3.1 Coleta de Dados

Foram coletadas 16 amostras de sedimentos distribuídas de forma aleatória entre as lagoas 1 e 2 e as dunas adjacentes a estas, de modo que se pudesse obter informações sobre as características dos sedimentos. Para o posicionamento das amostras utilizou-se um receptor GPS de navegação. A coleta ocorreu em dezembro de 2016, período no qual as lagoas apresentavam grandes áreas emersas, sendo possível a coleta de sedimentos do fundo das lagoas sem o auxílio de barcos. As posições destas amostras são apresentadas na Tabela 1.

As amostras coletadas foram submetidas à análise granulométrica e, em seguida, foi conduzido o tratamento estatístico dos dados obtidos. Para estudar esta distribuição granulométrica, foi utilizada a escala milimétrica de Wentworth (1922).

Neste trabalho optou-se por se utilizar 100g de cada amostra para determinação da fração granulométrica. Após a pesagem, os 100g são colocados num conjunto de 12 peneiras vibratórias com diâmetros variando de 2,00mm a uma fração menor que 0,062mm. Essas peneiras são postas em um vibrador durante 15 minutos. Logo após são retiradas para pesagem individual do sedimento retido em cada uma das peneiras. A descrição detalhada da metodologia pode ser consultada em Dias (2004).

3.2 Análise Granulométrica dos Sedimentos

Na análise granulométrica foram obtidas as variáveis classificação granulométrica, assimetria, curtose e grau de seleção das amostras segundo os parâmetros de Folk & Ward (1957). Estes foram calculados utilizando-se os pacotes 'G2Sd' (Gallon & Fournier, 2015) e 'rysgran' (Gilbert, Camargo & Sandrini-Neto, 2015) do Software R (R Core Team, 2019). Ambos os pacotes, foram desenvolvidos sob robustos algoritmos que contém funções para a análise de amostras granulométricas, em escala logarítmica phi (Φ) e geométrica (micrômetros).

3.3 Análise Morfométrica dos Sedimentos

A análise morfométrica classificou os sedimentos com base em seu grau de esfericidade e arredondamento. Para tanto foi utilizado o método de comparação visual, proposto por Powers (1953). Para o arredondamento esta comparação se baseia na medida do grau de "agudez" de cantos e arestas dos grãos arenosos, já para a esfericidade essa comparação visa analisar o quanto o grão aproxima-se de uma esfera. Como guia para a descrição, foi utilizada a ilustração abaixo (Figura 2) para classificação das partículas.

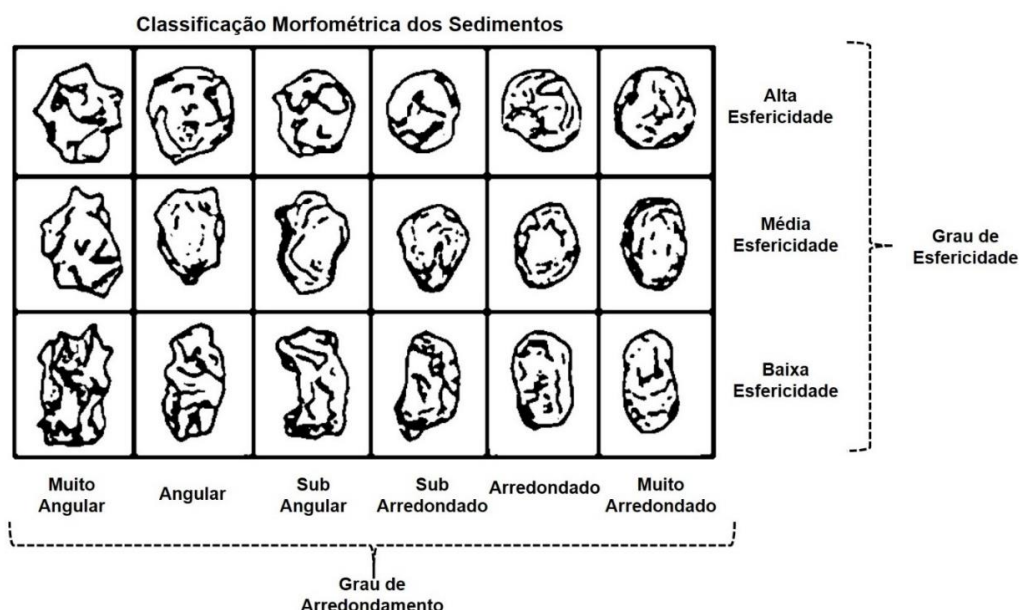


Figura 2: Escala de esfericidade e arredondamento dos sedimentos. *Adaptada de Powers (1953).*

A análise morfométrica foi feita a partir de fotografias que foram obtidas no Dino-Lite® modelo AM3113T, um microscópio digital de alta resolução, com possibilidade de ajuste de ampliação (20 a 230x). Para facilitar a obtenção das fotos, foi usada uma base fixa. Neste trabalho a ampliação máxima utilizada foi de 150 vezes.

3.4 Análise de Correspondência Múltipla

A Análise de Correspondência Múltipla (ACM) é uma análise estatística multivariada que permite analisar o padrão de relações de várias variáveis dependentes categóricas (Abdi & Valentin, 2007). Dessa forma, é possível compreender as relações entre os elementos (linha e coluna) em que a proximidade representa uma forte associação enquanto que o distanciamento representa o contrário (Ribeiro, Bastos & Hermeto, 2017). Assim, são construídos gráficos com as componentes principais das linhas e das colunas permitindo a visualização da relação entre os conjuntos, onde a proximidade dos pontos referentes à linha e a coluna indicam associação e o distanciamento uma repulsão. Uma das grandes vantagens desta ferramenta estatística, é que esta análise permite revelar relações que não teriam sido percebidas se a análise fosse feita aos pares de variáveis. Além disso, é flexível no tratamento dos dados, por não ser necessária a adoção de modelo teórico de distribuição de probabilidade, bastando uma matriz retangular com dados não negativos (Ribeiro, 2017).

A tabela de contingência é a forma de organização dos dados, em que cada elemento n_{ij} representa um elemento pertencente à categoria i da variável A e à categoria j da variável B . Para se verificar as associações existentes entre as variáveis A e B , representadas pelas categorias i e j , extrai-se uma matriz que transforma cada frequência observada em uma proporção ou probabilidade (P_{ij}), conforme Equação (1):

$$P_{i \times j} = n_{ij} / n \quad (1)$$

em que P_{ij} representa uma proporção de explicação da frequência n_{ij} em relação ao total n .

Neste trabalho, foi elaborado uma matriz de contingência com 7 variáveis (ambiente, classificação granulométrica, assimetria, curtose, grau de seleção, esfericidade e arredondamento) obtidas nas análises anteriores. Por fim, a ACM foi realizada com a utilização do pacote 'FactoMineR' (Husson, Josse & Mazet, 2019) do Software R (R Core Team, 2019). O respectivo pacote foi construído sob robustos algoritmos que contém funções para executar Análise de Correspondências Múltiplas (ACM) com indivíduos suplementares, variáveis quantitativas suplementares e variáveis categóricas complementares. Executa também Análise de Correspondência Múltipla específica com categorias suplementares e variáveis categóricas suplementares.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, os resultados obtidos das análises granulométrica, morfométrica e análise de correspondência múltipla são apresentados e discutidos.

4.1 Análise Granulométrica

As frações granulométricas variam desde cascalho à fração silte/argila, conforme pode ser visto na Tabela 1 e na Figura 3. A fração cascalho foi encontrada apenas em três amostras que, juntas, não chegam a somar uma ocorrência superior a 1%. A fração areia muito grossa pode ser encontrada em todas as amostras, exceto na AM-02, somando um total de 4,72g dos sedimentos analisados. As frações compreendidas entre areia grossa e a fração silte/argila estão presentes em todas as amostras, mesmo que em quantidades pequenas, a exemplo da AM-02, AM-03, AM-10 e AM-13 nas quais a fração silte/argila juntas não chegam a somar 1g.

De modo geral, os sedimentos concentram-se entre areia média e areia fina somando, juntos, um total de 73%. Os outros 27% distribuem-se nas demais classes granulométricas.

Com base na média dos resultados, a fração que obteve o maior percentual foi areia média, totalizando 48% dos sedimentos analisados. A fração areia fina correspondeu a 25% do que foi analisado, enquanto que a fração areia grossa obteve o percentual aproximado de 19% do total de sedimento analisado. Para a fração areia muito fina, o percentual aproximado foi de 6%, enquanto que na fração correspondente à silte/argila, obteve-se aproximadamente 1,3%.

Silva (2002), nas dunas de Natal-RN, logo ao sul da área de estudo, salientou a predominância é de areia fina a média (Silva, 2002). Paiva (2011), estudando as dunas de Maracajaú-RN, a cerca de 35km ao norte da área de estudo, verificou sedimentos principalmente entre areia grossa e areia média. Malta & Amaral (2013), ao analisarem 27 amostras na zona de barlavento da duna que está na fronteira leste da lagoa, ressaltam que a maior parte das frações sedimentares observadas está entre areia fina e areia média. Estes autores mostram que as frações variam entre Areia Muito Grossa a Areia Muito Fina, mas ressaltam que "a fração areia muito grossa representa menos de 1% do total de sedimentos analisados." Nas frações Areia Grossa obtiveram o percentual aproximado de 10% do total de sedimentos analisados. As frações com os maiores percentuais foram Areia Média com cerca de 41% e Areia Fina com pouco mais de 53%. Enquanto que na fração de Areia Muito Fina obteve-se o percentual de aproximadamente 5% (Malta & Amaral, 2013).

Tabela 1: Classificação das amostras estudadas quanto a granulometria e grau de seleção, segundo Folk e Ward (1957) e morfometria. Legenda: L1 = Lagoa 1; L2 = Lagoa 2; DA = Duna Adjacente; AF = Areia Fina; AM = Areia

Média; AG = Areia Grossa; PI = Platicúrtica; Me = Mesocúrtica; Le = Leptocúrtica; MS = Moderadamente Seleccionado; BS = Bem Seleccionado; MBS = Moderadamente Bem Seleccionado; PS = Pobrememente Seleccionado; Arr = Arredondado; SArr = Sub-arredondado; SAng = Sub-angulosa; Ang = Angulosa. UTM = Sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator, SIRGAS2000, zona 25S.

Amostra	Y (UTM)	X (UTM)	Ambiente	Granulometria			Grau de Seleção	Morfometria	
				Classificação	Assimetria	Curto		Esfericidade	Arredondamento
AM-01	9368721m S	255535m E	L2	AF	Positiva	PI	MS	Média	Arr
AM-02	9368706m S	255583m E	L2	AM	Simétrica	Me	BS	Baixa	SArr
AM-03	9368720m S	255622m E	DA	AM	Negativa	Le	BS	Baixa	SArr
AM-04	9368723m S	255621 m E	L2	AF	Positiva	Le	MS	Baixa	SAng
AM-05	9368799m S	255600 m E	L2	AM	Simétrica	Me	MBS	Alta	Arr
AM-06	9368848m S	255545 m E	L2	AM	Positiva	Me	MS	Média	Arr
AM-07	9368945m S	255445 m E	L2	AM	Simétrica	Me	MBS	Média	SArr
AM-08	9368724m S	255328m E	L2	AF	Simétrica	Me	BS	Média	SArr
AM-09	9368558m S	255316m E	L2	AM	Positiva	Le	MS	Média	SArr
AM-10	9368555m S	255319 m E	DA	AM	Simétrica	Le	BS	Média	SArr
AM-11	9368697m S	255292 m E	L2	AF	Simétrica	Le	MS	Média	SAng
AM-12	9369056m S	255481 m E	L2	AM	Positiva	Me	MBS	Média	SArr
AM-13	9369096m S	255661 m E	DA	AG	Simétrica	Le	BS	Média	SArr
AM-14	9369093m S	255653m E	L1	AM	Simétrica	Me	MBS	Baixa	SArr
AM-15	9369259m S	255570 m E	L1	AF	Grande assimetria negativa	Me	PS	Média	SAng
AM-16	9369322m S	255627 m E	L1	AM	Simétrica	PI	BS	Alta	Arr

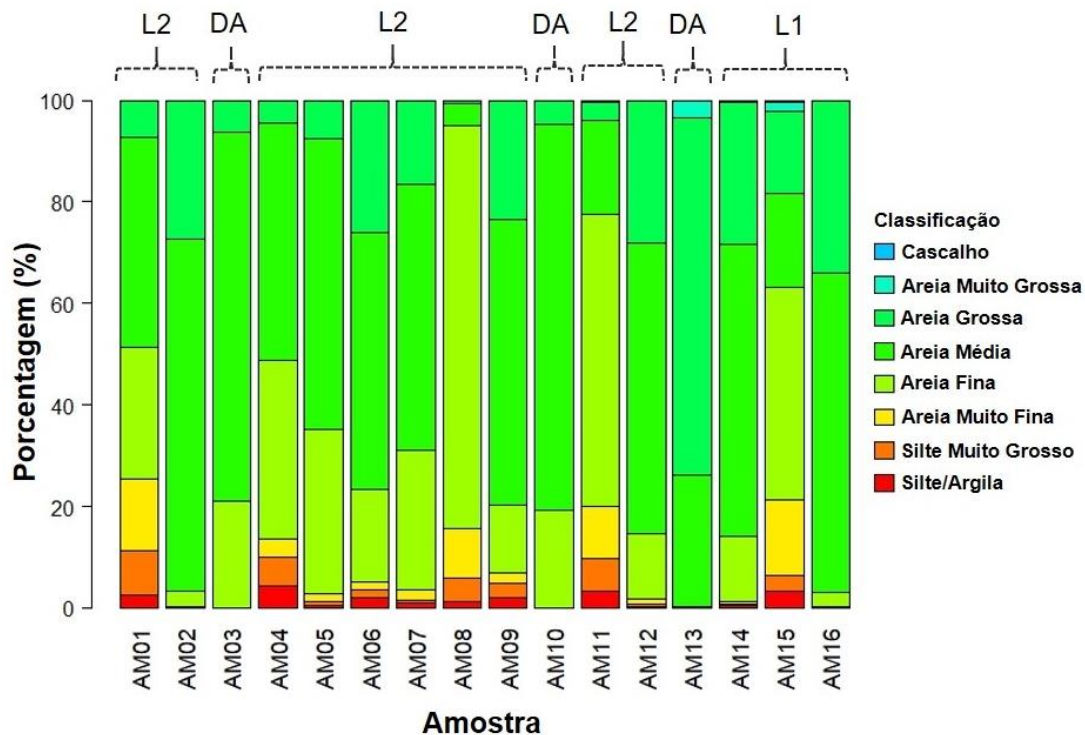


Figura 3 Porcentagem da classificação granulométrica dos sedimentos das amostras coletadas. Ambientes: L1 = Lagoa 1; L2 = Lagoa 2; e DA = Dunas adjacentes.

Se comparado esses resultados com o obtido por Silva, Abreu & Silvestre (2012) ao analisar os sedimentos dunares da APA de Maricá - RJ, vemos que ele encontrou um predomínio de sedimentos na fração areia grossa e areia média, somando juntos 97% das areias analisadas.

Estes resultados divergem principalmente com relação à fração areia fina, enquanto este trabalho encontrou que apenas 25% do total de sedimentos analisados correspondiam à fração areia fina, Malta & Amaral (2013) encontraram que 53% do total de sedimentos analisados pertenciam à esta fração.

Essa diferença nos resultados nas análises pode ser avaliada como função dos distintos ambientes estudados (rampa de barlavento e lagoa interdunar), das variações na metodologia da coleta, das distintas características nas áreas fonte de sedimentos, da morfologia litorânea e dos aspectos dinâmicos e climáticos. Esta percepção é importante para evidenciar as diferentes peculiaridades granulométricas que existem ao longo do litoral brasileiro mesmo em um mesmo ecossistema, como é o caso do ecossistema dunar. Chama a atenção para a necessidade de se aprofundar as análises a partir de coletas sistemáticas, com a determinação mais precisa dos ambientes dentro do ecossistema e sua evolução dinâmica.

O gráfico na figura 3 mostra as frações analisadas em cada uma das 16 amostras. A amostra AM – 2 apresenta pico granulométrico na fração areia média e foi retirado de um local que, nos períodos em que a lagoa estava cheia, apresentava-se submerso. A amostra AM – 13 apresenta uma granulometria mais grossa que as demais, tendo apresentado sua maior representação granulométrica na fração areia grossa. Ela foi retirada na base da duna, um ambiente que não entra em contato com a lagoa. A presença de areia grossa nesse ambiente dinâmico é esperada uma vez

que os sedimentos foram coletados numa área interdunas e os grãos mais grossos tendem a rolar, por gravidade, para a base da duna, enquanto as partículas mais finas são transportadas por saltação ou suspensão.

A amostra AM-08 apresentou uma maior concentração de sedimentos finos se comparadas demais. A amostra AM-08 foi coletada na margem da Lagoa 2, em um ambiente úmido que, nas épocas mais cheias da lagoa, apresenta-se submerso. Quanto à AM-10, apresentou maior concentração de sedimentos na fração areia média, quanto ao ambiente de onde foi coletada, corresponde a uma porção da duna próxima ao nível da lagoa.

Na análise foi possível notar também que as amostras AM-02, AM-06, AM-12, AM-14, e AM-16 (Figura 3) apresentam curvas granulométricas predominantes na fração areia média. Todas essas amostras foram coletadas no soalho emerso da lagoa, pois a mesma se apresentava no momento mais seco observado nos últimos 16 anos.

Foi observado também que as amostras coletadas nas dunas adjacentes às lagoas (AM-03, AM-10 e AM-13) foram as que menos apresentaram sedimentos na fração silte/argila. Isto se deve, possivelmente, ao fato de que, nas lagoas, os grãos sedimentares nestas frações mais finas têm seu transporte interrompido pela lâmina d'água, quando se depositam passam a compor os depósitos no fundo.

Concomitantemente à análise granulométrica, é interessante a observação dos parâmetros curtose e assimetria, isso porque, segundo Suguio (2003), mesmo sedimentos que possuem a mesma granulometria média e o mesmo grau de dispersão, podem ter graus de assimetria diferentes e mesmo os sedimentos com mesmo grau de assimetria, podem apresentar agudez de picos (curtose) distintos. A assimetria reflete a média geral de tamanho dos sedimentos, sendo afetada pela fonte de suprimento do material, pelo processo de deposição e pela velocidade da corrente. Já a curtose é à medida que trata o grau de agudez dos picos nas curvas de distribuição de frequência. Juntas, a curtose e a assimetria são consideradas os melhores parâmetros para diferenciação de ambientes sedimentares.

Os dados de assimetria mostraram forte tendência de assimetria mais positiva (AM-01, AM-04, AM-06, AM-09, AM-12) e simétrica (AM-02, AM-05, AM-07, AM-08, AM-10, AM-11, AM-13, AM-14 e AM-A6), enquanto apenas duas amostras mostraram assimetrias negativas, a AM-03 e a AM-15, tendo esta última apresentado uma grande assimetria negativa. Esses dados coincidem com o esperado para ambientes dunares, sendo esperado para esses assimetria mais positiva que as areias de praia (Suguio, 2003). Tais resultados apresentam correspondência com os dados obtidos por Lima (2011) que, ao analisar a região de pós praia de Jenipabu, encontrou amostras variando de aproximadamente simétrica a assimetria positiva.

No que diz respeito à curtose, esta não apresentou valores muito altos, variando de platicúrtica a leptocúrtica (ou seja, com K variando entre 0,67 a 1,50), sendo mais frequente a curva mesocúrtica. Duas amostras apresentaram curvas platicúrticas (AM-01 e AM-16), oito amostras mesocúrticas (AM-02, AM-05, AM-06, AM-07, AM-08, AM-12, AM-14 e AM-15) e seis amostras leptocúrticas (AM-03, AM-04, AM-09, AM-10, AM-11, AM-13).

A variação nos valores de curtose é um reflexo do fluxo característico do meio de depósito (Baruah, Kotoky & Sarma, 1997; Ray, Tripathy, Patra, & Sarma, 2006), e a dominância de tamanhos

mais finos da natureza platicúrtica dos sedimentos reflete a maturidade da areia. Isso pode ser devido à agregação do tamanho das partículas de sedimentos por compactação, e a variação nos valores de classificação provavelmente é devida à adição contínua de materiais mais finos / mais grossos em proporções variáveis (Ramanathan *et al.*, 2009).

Os pacotes estatísticos em estudo, permitiram calcular o grau de seleção dos sedimentos com base em seus dados granulométricos. Como resposta, mostrou que o grau de seleção dos sedimentos variou de bem selecionado a pobremente selecionado. Porém, apenas uma amostra mostrou-se pobremente selecionada (AM-15), seis amostras apresentaram-se bem selecionadas (AM-02, AM-03, AM-08, AM-10, AM-13 e AM-16), quatro amostras são moderadamente bem selecionadas (AM-05, AM-07, AM-12 e AM-14) e cinco amostras moderadamente selecionadas (AM-01, AM-04, AM-06, AM-09 e AM-11).

4.2 Análise Morfométrica

A morfometria compreende a medida da forma (ou esfericidade) e arredondamento das partículas sedimentares detríticas que fornecem informação sobre os agentes e/ou sistemas deposicionais. Os parâmetros morfométricos dependem muito do meio (ou agente) de transporte e do modo de transporte. Entretanto, fatores de controle importantes são também as composições químicas e/ou mineralógicas, além da estrutura interna e forma original do fragmento.

A análise morfométrica foi realizada a partir da interpretação de fotografias ampliadas com o auxílio de um microscópio digital com um aumento de até 150x. Essas fotografias auxiliaram na melhor descrição das características dos sedimentos, sendo possível distinguir a cor, grau de arredondamento e esfericidade.

O grau de arredondamento dos grãos foi classificado em arredondado, sub-arredondado e sub-anguloso. Das 16 amostras analisadas, três apresentaram grãos sub-angulosos, a exemplo da AM-11 (Figura 4A), quatro amostras apresentaram grãos arredondados (AM-01, AM-05, AM-06 e AM-16) (Figura 4B e 4C) e as demais amostras, totalizando nove amostras, apresentaram grãos sub-arredondados, como exemplo a amostra AM-09 (Figura 4D).

A esfericidade dos grãos variou de baixa a alta. Duas amostras mostraram grãos com alta esfericidade (AM-05 e AM-16), como exemplo, a amostra AM-16 (Figura 5A), quatro amostras apresentaram grãos com baixa esfericidade (AM-02, AM-03, AM-04 e AM-14) (Figura 5B). As demais amostras apresentaram média esfericidade.

A composição mineralógica é predominantemente quartzosa, algumas amostras apresentaram também minerais pesados (AM-01, AM-04, AM-06, AM-08, AM-11, AM-12, AM-14 e AM-15). Os grãos de quartzo variaram sua coloração de esbranquiçada, passando por amarelada, até acinzentada, atribuindo um aspecto “sujo” à amostra, a exemplo do que acontece na amostra AM-13 (Figura 6D). A cor amarelada dos grãos de quartzo deve-se à presença de uma cutícula de óxidos/hidróxidos de ferro que pode ter sido herdada da área fonte (Barreto *et al.*, 2015). As amostras AM-05 e AM-08 apresentaram agregado mineral na fração silte/argila o que dá à amostra a impressão de grãos maiores e de coloração amarronzada, conforme pode ser visto na Figura 6.

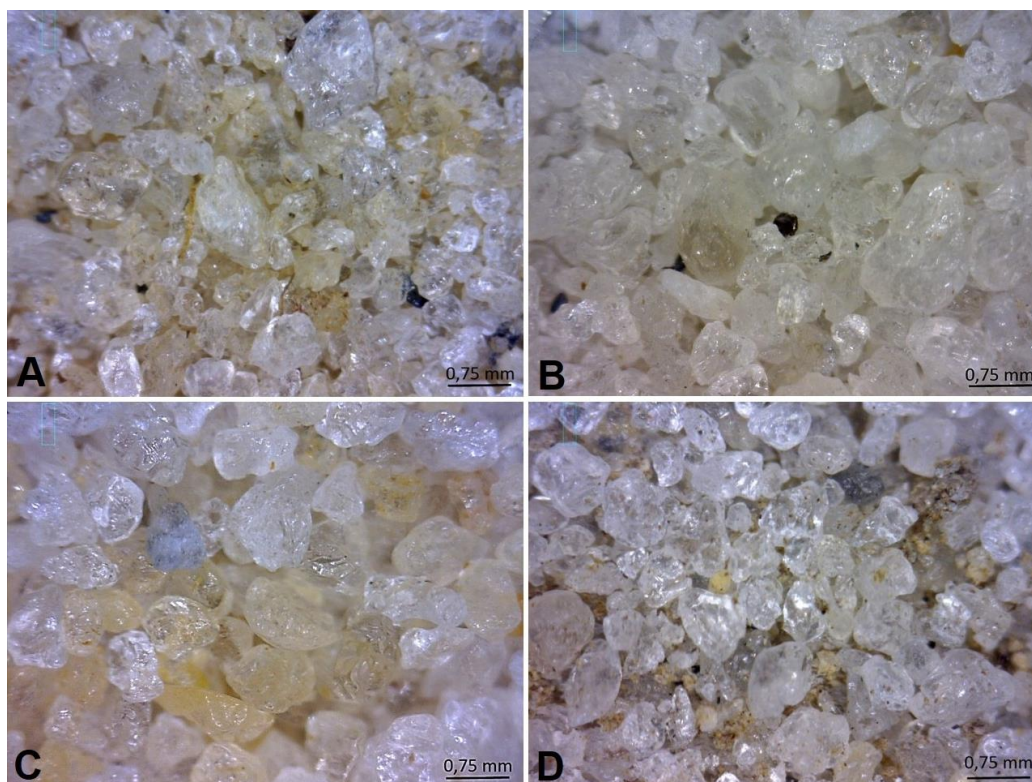


Figura 4 (A) Observa-se a amostra AM 11 com grãos sub-angulosos. (B) Amostra AM -06 exibindo grãos arredondados. (C) Amostra AM-16 com grãos arredondados. (D) Amostra AM-09 com grãos sub-arredondados. De acordo com a escala de Powers (1953), ver na figura 2.

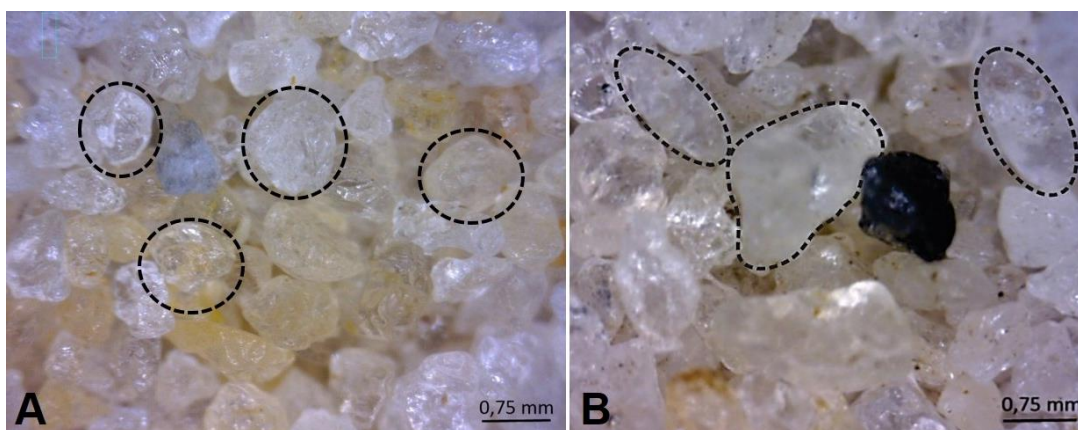


Figura 5: (A) Amostra AM-16 representativa de grãos com alta esfericidade, grãos com tendências circulares (tracejado). (B) Amostra AM-14 com grãos de baixa esfericidade (tracejado). De acordo com a escala de Powers (1953), ver na Figura 2.

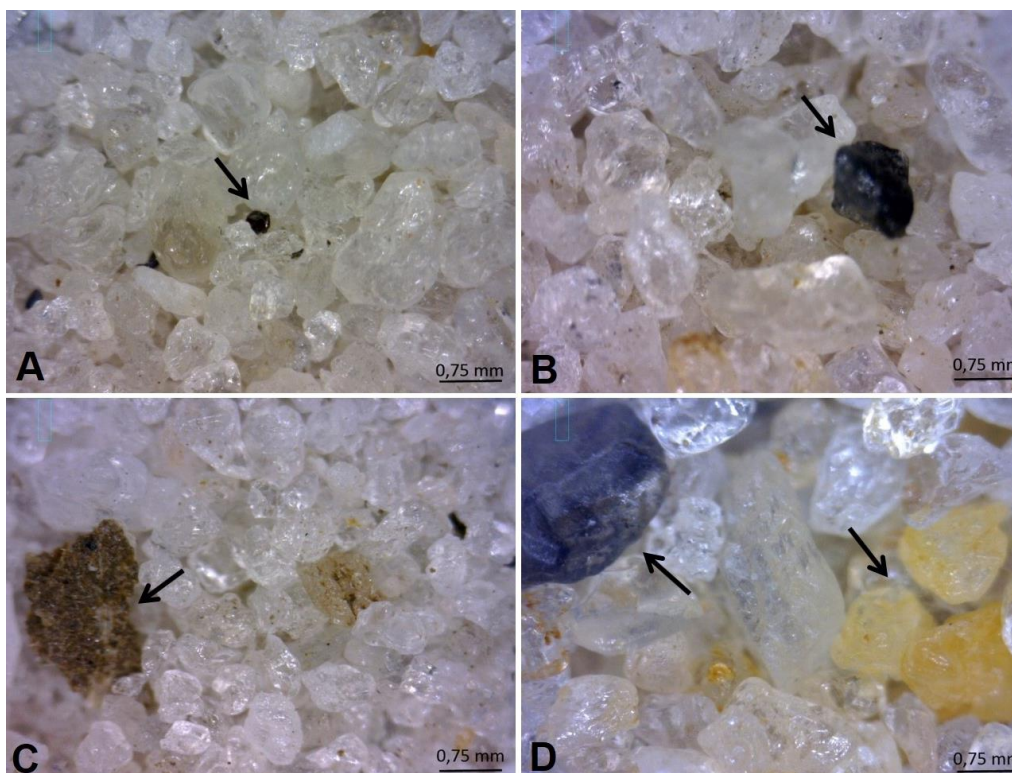


Figura 6 (A) Amostra AM-06 e em (B), amostra AM-14, ambas mostrando a composição mineralógica predominantemente quartzosa com alguns grãos de minerais pesados (indicados pela seta). (C) Amostra AM-05 com grãos de quartzo esbranquiçado e um aglomerado de grãos na classe maior que areia muito fina, possivelmente também de composição quartzosa, porém, com uma coloração mais amarronzada (indicados pela seta). (D) Amostra AM-13 mostrando grãos de quartzo com coloração variando de amarelo a cinza (indicados pela seta).

4.3 Análise de Correspondência Múltipla

A análise de correspondência múltipla foi aplicada buscando uma melhor compreensão do comportamento das variáveis em estudo. Foram obtidas 14 dimensões com a elaboração da ACM. As três primeiras dimensões explicam 55,01% da variabilidade dos dados encontradas na área de estudo (Tabela 2).

Para a primeira dimensão a variância explicada foi de 21,24%, enquanto que a segunda e terceira, foram de 17,66% e 16,10%, respectivamente. Os resumos das interações se encontram na Tabela 3.

Tabela 2: Resumo das variâncias de cada dimensão obtida na ACM.

Dimensão	Autovalor	% Variância	% Acumulada da Variância
Dim 1	0.4856	21.2430	21.24
Dim 2	0.4038	17.6661	38.91
Dim 3	0.3681	16.1025	55.01
Dim 4	0.2769	12.1132	67.12
Dim 5	0.2135	9.3419	76.47
Dim 6	0.1409	6.1629	82.63

Dim 7	0.1029	4.5015	87.13
Dim 8	0.0922	4.0345	91.17
Dim 9	0.0687	3.0039	94.17
Dim 10	0.0569	2.4902	96.66
Dim 11	0.0312	1.3636	98.02
Dim 12	0.0210	0.9195	98.94
Dim 13	0.0145	0.6357	99.58
Dim 14	0.0096	0.4215	100.00

Tabela 3: Resumo das interações entre as 3 primeiras dimensões obtidas na ACM.

Dimensão 1	Variável	R ²	Valor <i>p</i>
	gs	0.7817	0.0003
	assimetria	0.7217	0.0012
	arred	0.6000	0.0026
	ambiente	0.5450	0.0060
	class	0.5256	0.0079
	Categoria	Estimado	Valor <i>p</i>
	AF	0.8903	0.0043
	PS	1.3819	0.0062
	GASimetrica	1.6066	0.0062
	SAng	0.6806	0.0066
	BS	-0.9633	0.0062
	DA	-0.9114	0.0022
	SArr	-0.6953	0.0021
Dimensão 2	Variável	R ²	Valor <i>p</i>
	arred	0.6435	0.0012
	curtose	0.4730	0.0155
	esferi	0.4124	0.0315
	Categoria	Estimado	Valor <i>p</i>
	Le	0.6622	0.0092
	SAng	0.7084	0.0284
	DA	0.5251	0.0469
	MBS	-0.7393	0.0499
	AM	-0.5526	0.0393
	Alta	-0.8328	0.0078
Arr	-0.8025	0.0018	
Dimensão 3	Variável	R ²	Valor <i>p</i>
	gs	0.8619	0.0000
	assimetria	0.6974	0.0019
	ambiente	0.5730	0.0040
	Categoria	Estimado	Valor <i>p</i>
	L1	0.6704	0.0018

PS	0.9865	0.0358
GASimetrica	1.0084	0.0358
L2	-0.5328	0.0079
Positiva	-0.8863	0.0014
MS	-1.0101	0.0000

Legenda: gs = Grau de Seleção; arred = arredondamento; class = Classificação granulométrica; AF = Areia Fina; PS = Pobrememente Selecionado; GASimetrica = Grande Assimetria Negativa; SAng = Sub-angulosa; BS = Bem Selecionado; DA = Duna Adjacente; SArr = Sub-arredondado; esferi = esfericidade; Le = Leptocúrtica; MBS = Moderadamente Bem Selecionado; AM = Areia Média; Arr = Arredondado; L1 = Lagoa 1; L2 = Lagoa 2; MS = Moderadamente Selecionado.

Ao verificar o biplot da ACM entre as duas primeiras dimensões (Figura 7), foi possível observar com melhor clareza, o padrão encontrado na variabilidade dos dados entre as dimensões mencionadas. No sedimento encontrado na área de estudo, há uma presença de dois fortes grupos. Um grupo dominado pela diferenciação estatística das variáveis: Grau de seleção, arredondamento, classificação, assimetria e ambiente; e um segundo grupo dominado pela esfericidade, curtose e arredondamento. Embora não se tenha encontrado na literatura o uso da ACM na busca de correlações em estudos de sedimentos, fica evidente que esta ferramenta estatística se desponta como uma grande aliada na interpretação dos dados.

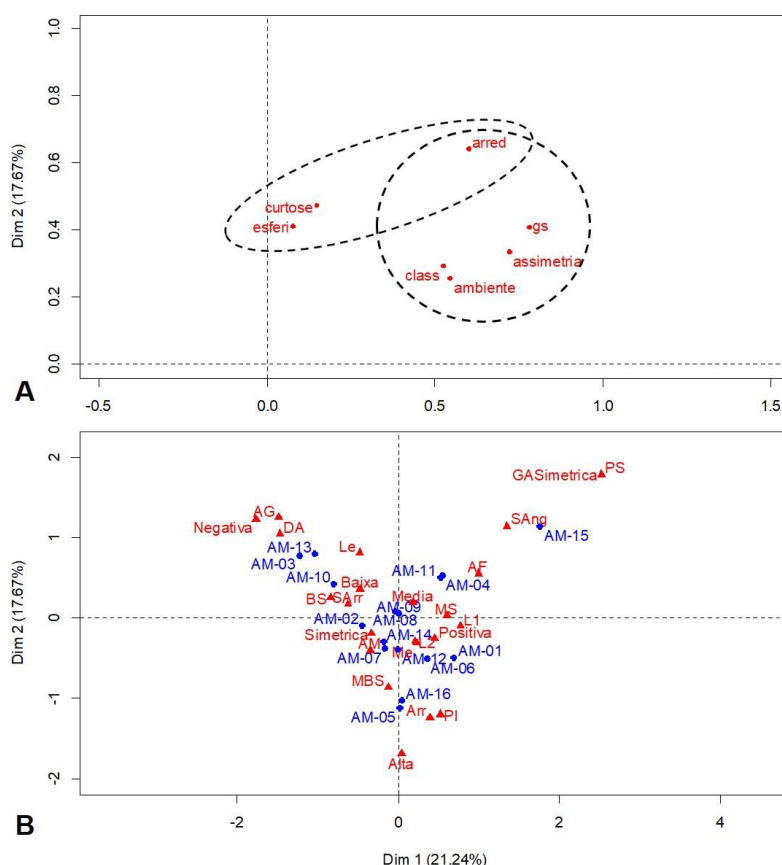


Figura 7: (A) Mapa de correspondência nas dimensões 1 e 2, e em destaque os grupos significantes. (B) Mapa por fator nas dimensões 1 e 2. **Legenda:** gs = Grau de Seleção; arred = arredondamento; class = Classificação granulométrica; AF = Areia Fina; PS = Pobrememente Selecionado; GASimetrica = Grande Assimetria Negativa; SAng = Sub-angulosa; BS = Bem Selecionado; DA = Duna Adjacente; SArr = Sub-arredondado; esferi = esfericidade; Le = Leptocúrtica; MBS = Moderadamente Bem Selecionado; AM = Areia Média; Arr = Arredondado; L1 = Lagoa 1; L2 = Lagoa 2; MS = Moderadamente Selecionado.

5 CONCLUSÕES

A análise granulométrica dos sedimentos mostrou que as lagoas interdunares e dunas a elas adjacentes encontradas na Área de Proteção Ambiental de Jenipabu (APAJ) são compostas por sedimentos que vão desde cascalho até a fração silte/argila, embora tenha-se observado que estas frações juntas somam menos de 2% dos sedimentos analisados. O estudo demonstrou que há um predomínio de sedimentos com partículas na fração areia média (48% dos sedimentos analisados) e fração areia fina (25 %).

De modo geral, observou-se que os sedimentos retirados do fundo da lagoa ou de áreas emersas da lagoa no momento da coleta, pertenciam a fração areia média, e os sedimentos coletados nas dunas adjacentes às lagoas apresentaram mínima quantidade de sedimentos na fração silte/argila. No mais, a maior diferença entre os sedimentos desses dois ambientes foi observada apenas no momento da coleta em relação à sua coloração e na quantidade de matéria orgânica contida nos mesmos, uma vez que os sedimentos próximos à lagoa apresentavam matéria orgânica enquanto que o sedimento das dunas não. Entretanto, após a lavagem dos mesmos e a eliminação da matéria orgânica, os sedimentos de ambos os ambientes se mostraram similares, arenosos de composição mineralógica quartzosa, predominantemente bem selecionados a moderadamente bem selecionados, característicos de ambientes eólicos.

A metodologia utilizada se torna uma ferramenta potencialmente útil para reconhecer variações dentro de um mesmo ambiente sedimentar, como os vários sub ambientes em um campo de dunas como, por exemplo, lagoas interdunares, faces de deslizamento, rampas de barlavento. O uso das técnicas abordadas possibilita a exploração aprofundada de variáveis categóricas, que muitas vezes são subaproveitadas em uma pesquisa, através do uso de análises gráficas e estatísticas. Permitindo desta forma, a elaboração de mapas perceptuais que fornecem uma visualização de proximidade das variáveis que neste estudo auxiliaram na visualização de associações.

Constitui-se em mais uma contribuição para o conhecimento das características sedimentológicas dos campos de dunas transgressivos, além de fornecer subsídios para futuros trabalhos sobre o tema em questão. Sob o ponto de vista local, contribuirá com dados e informações para a futura revisão do plano de manejo da Área de Proteção Ambiental de Jenipabu (APAJ).

6 REFERÊNCIAS

- Abdi, H. & Valentin, D. (2007). Multiple factor analysis (MFA). In: Salkind, N. (ed.). *Encyclopedia of Measurement and Statistics*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications. p. 1-14. Disponível em: <https://www.utdallas.edu/~herve/Abdi-MFA2007-pretty.pdf> Acesso em: 16 ago. 2019.
- Barreto, E.P.; Manso, V.A.V; Gregório, M.N.; Silva, C.F.A; Ferreira, B. & Oliveira, P.F.P. (2015). Zona Costeira do Estado de Pernambuco: Caracterização Ambiental, Sedimentar, Textural e Composicional da Praia de São José da Coroa Grande, Litoral Sul do Estado. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8(5): 1303-1320.

- Baruah, J.; Kotoky, P. & Sarma, J. (1997). Textural and geochemical study on river sediments: a case study on the Jhanji River, Assam. *Journal of Indian Association of Sedimentologists*, 16(2): 195-206.
- Dias, J.A. (2004). A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos. Universidade de Algarves. Faro, Portugal. Disponível em: http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/eb_Sediment.html Acesso em: 10 jun. 2019
- Folk, R.L. & Ward W.C. (1957). Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Research*, 27(1): 3-26.
- Gallon, R.K. & Fournier, J. (2015). *Package 'G2Sd': Grain-Size Statistics and Description of Sediment*. R package version 2.1.5. Disponível em <https://cran.r-project.org/web/packages/G2Sd/G2Sd.pdf> Acesso em: 01 abr. 2019.
- Gilbert, E.R.; Camargo, M.G. & Sandrini-Neto, L. (2015). *Package 'rysgran': Grain size analysis, textural classifications and distribution of unconsolidated sediments*. R package version 2.1.0. Disponível em <https://cran.r-project.org/web/packages/rysgran/rysgran.pdf> Acesso em: 05 ago. 2019.
- Guerra, A.T. & Guerra, A.J.T. (2008). *Novo dicionário geológico-geomorfológico*. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 648p.
- Hesp, P.A. & Thom, B. G. (1990). Geomorphology and evolution of active transgressive dunefields. In: Nordstrom, K. F.; Psuty, N.P. & Carter, B. (eds). *Coastal Dunes: Form and Process*. London, John Wiley. p. 253-288.
- Husson, F.; Josse, J.; Le, S. & Mazet, J. (2019). *Package 'FactoMineR': Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining*. R package version 1.42. 97p. Disponível em <https://cran.r-project.org/web/packages/FactoMineR/FactoMineR.pdf> Acesso em 03 jul. 2019.
- Lima, J.S.D. (2011). *Análise e Monitoramento Geoambiental da praia de Genipabu/RN*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 125p.
- Malta, J.V. & Amaral, R.F. (2013). Morfologia de um campo de dunas eólicas costeiras de Jenipabu no município de Extremoz – Litoral Oriental do Rio Grande do Norte. In: XIV CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 14, 2013, Resumos, Natal.
- Paiva, H.P. (2011). *Morfodinâmica de um Campo de Dunas Eólicas Costeiras no Município de Maxaranguape*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 90p.
- Powers, M.C. (1953). A new roundness scale for sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Research*, 23(2): 117-119.
- R Core Team. (2019). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Disponível em: <https://www.R-project.org>. Acesso em: 23 fev. 2019.

- Ramanathan, A.L.; Rajikumar, K.; Majumdar, J.; Singh, G.; Behera, P.N. & Santra, S.C. & Chidambaram, S. (2009). Textural characteristics of the surface sediments of a tropical mangrove Sundarban ecosystem India. *Indian Journal of Marine Science*, 38(4): 397-403.
- Ray, A.K.; Tripathy, S.C.; Patra, S. & Sarma, V.V. (2006). Assessment of Godavari estuarine mangrove ecosystem through trace metal studies. *Environment International*, 32(2): 219-223.
- Ribeiro, H.M.; Bastos, S.Q. & Hermeto, A.M. (2017). Arranjos Institucionais e Desenvolvimento: uma Análise Multivariada e Espacial para Municípios de Minas Gerais. *Análise Econômica*, 35(68): 231-262.
- Silva, E.A.J. (2002). *As Dunas Eólicas de Natal/RN: Datação e Evolução*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 127p.
- Silva, A.J.C.L.P., Aragão, M.A.N.F. & Magalhães, A.J.C. (2008). *Ambientes de Sedimentação Siliciclástica do Brasil*. Rio de Janeiro, Editora Becca, p. 103-130.
- Silva, A.L.C.; Abreu, M.L.L. & Silvestre, C.P. (2012). Dunas costeiras na barreira arenosa holocênica da APA de Maricá no estado do rio de janeiro, Brasil. *Revista Geonorte*, 2(4): 367-376.
- Silva, J.R. (2017). Unidades de Conservação do Estado do Rio Grande do Norte: regime jurídico, problemas e soluções devida. Monografia de Especialização. Programa de Pós-Graduação em Direito Administrativo. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 55p.
- Suguio, K. (1973). *Introdução à sedimentologia*. São Paulo, Editora Edgard Blücher, 318p.
- Suguio, K. (2003). *Geologia Sedimentar*. São Paulo, Editora Edgard Blücher, 400p.
- Wentworth, C.K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *The Journal of Geology*, 30(5): 377-392.

COMO CITAR ESTE ARTIGO:

Silva, C. P. A., Amaral, R. F., Araújo, P. V. N. (2020). Granulometria e morfometria de sedimentos superficiais costeiros: o complexo de lagoas interdunares da Apa Jenipabu, Rio Grande do Norte, Brasil. *Holos*. 36(6), 1-18.

SOBRE OS AUTORES

C. P. A. SILVA

Bacharel em Geologia pela UFRN, mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela UFRN. Atualmente cursa doutorado em Ensino e História de Ciências da Terra (UNICAMP). E-mail: claupbrito@gmail.com
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6427-1956>

R. F. AMARAL

Professor Titular da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, lotado no Departamento de Geologia. Formado em Geologia (UFPE). Pós-doutorado pela Universidade de Algarve, Portugal. Doutorado em Geociências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. E-mail: projeto_corais@yahoo.com.br
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3725-5616>

P. V. N. ARAÚJO

Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tevnologia. Bacharel em Engenharia de Pesca. Mestre e Doutor em Geodinâmica e Geofísica (UFRN). E-mail: paulo.araujo@ifrn.edu.br

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-0625-0946>

Editor(a) Responsável: Francinaide de Lima Silva Nascimento

Pareceristas *Ad Hoc*: PAMELA VILELA E MARISA MOURA DE ABREU

