



## ANÁLISE DA EVOLUÇÃO TEMPORAL E DA DINÂMICA SEDIMENTAR DA DUNA DO PÔR DO SOL, JERICOACOARA, CEARÁ – BRASIL

Analysis of the Temporary Evolution and Sedimental Dynamics of Dune do Pôr Do Sol, Jericoacoara, Ceará – Brazil

Análisis del desarrollo del tiempo y dinámica sedimentaria de Sunset Dune, Jericoacoara, Ceará - Brasil

Adely Pereira Silveira<sup>1</sup>

Fábio Perdigão Vasconcelos<sup>2</sup>

Vanda Carneiro de Claudino Sales<sup>3</sup>

### RESUMO

No presente trabalho voltamos nossa atenção para as dunas móveis que são interfaces litorâneas, áreas continuamente modeladas pelas ações dos ventos e das ondas, importantes reservatórios de sedimentos que atuam na manutenção do fluxo sedimentar da faixa praial. Partindo deste universo, concentramos nossos estudos na Praia de Jericoacoara, município de Jijoca de Jericoacoara-CE, tendo como objetivo analisar a dinâmica morfossedimentar da Duna do Pôr do Sol na Praia de Jericoacoara, a partir da análise temporal de imagens de satélites; realização de perfis de praia, cálculo do grau de declividade da face de avalanche da duna, da área e do volume sedimentar da duna; e da observação da evolução dos tipos de uso e de ocupação. Os resultados desta pesquisa possibilitaram a elaboração de diagnósticos e prognósticos evolutivos para a área estudada, fornecendo dados e informações que podem vir a subsidiar os gestores públicos na gestão adequada da zona costeira e na compreensão dos riscos ambientais.

**Palavras-chave:** Dinâmica Costeira; Duna; Jericoacoara/CE.

### ABSTRACT

In the present work we turn our attention to the mobile dunes that are coastal interfaces and represent areas continuously modeled by the action of the winds and the waves, important reservoirs of sediments for the maintenance of the sedimentary flow of the praial band. Starting from this universe, we concentrated our studies in the Beach of Jericoacoara, municipality of Jijoca of Jericoacoara-CE, aiming to analyze the morphosedimentary dynamics of the Dune of the Sunset on the Beach of Jericoacoara, based on the temporal analysis of satellite images; the realization of beach profiles, the

<sup>1</sup> Doutoranda em Geografia do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Ceará – PropGeo/UECE. Avenida Silas Munguba, 1700 – Campus do Itaperi. Telefone: (85)3101.9885. E-mail: delysilveira@gmail.com

<sup>2</sup> Doutor em Ciências da Terra pela Universidade de Nantes – França. Professor Associado da Universidade Estadual do Ceará – UECE. Avenida Silas Munguba, 1700 – Campus do Itaperi. Telefone: (85)3101.9885. E-mail: fabioperdigao@gmail.com

<sup>3</sup> Doutora em Geografia Ambiental pela Universidade Paris-Sorbonne – França. Professora Visitante do Mestrado Acadêmico em Geografia da Universidade Estadual Vale do Acaraú. Avenida Silas Munguba, 1700 – Campus do Itaperi. Telefone: (85)3101.9885. E-mail: vcs@ufc.br

calculation of the degree of slope of the slip face, the area and the sedimentary volume of the dune; and the observation of the evolution of types of use and occupation. The results of this research enabled the elaboration of diagnoses and evolutionary prognoses for the studied area, providing data and information that can subsidize the public managers in the adequate management of the coastal zone and in the understanding of the environmental risks.

**Keywords:** Coastal Dynamics; Dune; Jericoacoara / CE.

## RESUMEN

En el presente trabajo dirigimos nuestra atención a las dunas móviles que son interfaces costeras, áreas continuamente modeladas por las acciones de vientos y olas, importantes depósitos de sedimentos que actúan para mantener el flujo sedimentario de la playa. Desde este universo, enfocamos nuestros estudios en Jericoacoara Beach, Jijoca de Jericoacoara-CE, con el objetivo de analizar la dinámica morfosedimentaria de Sunset Dune en Jericoacoara Beach, a partir del análisis temporal de imágenes de satélite; haciendo perfiles de playa, calculando la pendiente de la cara de avalancha de dunas, el área y el volumen sedimentario de la duna; y observando la evolución de los tipos de uso y ocupación. Los resultados de esta investigación permitieron la elaboración de diagnósticos y pronósticos evolutivos para el área estudiada, proporcionando datos e información que pueden ayudar a los administradores públicos en el manejo adecuado de la zona costera y en la comprensión de los riesgos ambientales.

**Palabras clave:** Dinámica costera; Duna; Jericoacoara / CE.

## INTRODUÇÃO

O modelado da zona costeira apresenta constantes transformações, de forma tal que as feições variam de acordo com o espaço e com o tempo, ocorrendo assim um contínuo ajustamento morfodinâmico natural. Na atualidade, esse ajustamento tem, na maioria dos casos, uma tendência de recuo da linha de costa. Tal ajustamento é resultado das múltiplas interações entre os processos erosivos e progradantes decorrentes da ação diferenciada de inúmeros fatores naturais, tais como o clima de ondas, a ação das marés, o efeito das correntes marinhas, o regime pluviométrico, o escoamento fluvial e o fluxo eólico.

A ocupação antrópica na zona costeira é um processo característico da evolução do modo de vida desenvolvido pela humanidade. Teve seu início muito lentamente, inicialmente o litoral servindo basicamente para as atividades portuária e pesqueira. Entretanto, a partir do início do século XX, essa ocupação passa a ser acelerada, ocorrendo em larga escala, de forma tal que hoje mais de 60% da população mundial reside a menos de 50 km do mar (VASCONCELOS, 2005). Essa ocupação rápida, sem respeitar as fragilidades impostas pela dinâmica costeira, é geradora de ações que vão impactar o ambiente e a sociedade direta ou indiretamente, potencializando também, em sua maior parte negativamente, os efeitos das variações na morfologia costeira (MUEHE, 2013).

A zona costeira é produto de um sistema morfológico complexo, frágil e vulnerável. De um modo geral, ela é constantemente perturbada devido à forte pressão que sofre pelas diversas formas de uso e ocupação dos seus espaços pelo homem. Entre esses ambientes costeiros, cita-se os campos de dunas móveis. As dunas são depósitos de sedimentos que atuam no balanço sedimentar das áreas litorâneas

e na proteção destas áreas, formando barreiras de contenção contra possíveis inundações e dissipando a energia das ondas em eventos de grande potencial erosivo na costa (PASKOFF, 1998). Como elementos que compõem as paisagens litorâneas, conferindo-lhes belezas cênicas inigualáveis, de forte potencial icônico, as dunas são muito procuradas pelas atividades de turismo, lazer e recreação.

A instalação de equipamentos urbanos e turísticos como pavimentação, redes de serviços públicos, residências, restaurantes, barracas de praia, hotéis, pousadas etc. nas proximidades de dunas móveis, devem levar em consideração a instabilidade, a vulnerabilidade, os riscos nesses ambientes, bem como o deslocamentos dos sedimento e o caminhamento natural das próprias dunas, que podem ser alterados ou até mesmo bloqueados, intensificando assim os processos de erosão litorânea gerados por esta alteração do bypass costeiro (CLAUDINO-SALES et al., 2017). Esse tipo de situação ocorre no segmento costeiro conhecido como “Duna do Pôr do Sol “(DPS), situado Jericoacoara, Estado do Ceará, que representa o nosso objeto em análise, ilustrado na figura 01.

Situada a 300 km ao oeste de Fortaleza, a Praia de Jericoacoara abriga um vasto campo de dunas, depósitos de sedimentos areno-quartzosos de origem continental e idade holocênica, os quais se apresentam associados com um largo promontório, além de lagoas costeiras, manguezal, paleomangue e praia arenosa. Bordejando a linha de costa, a Duna do Pôr do Sol (DPS) tem toda a sua face de avalanche norte em contato direto com a praia e está sujeita ao ataque das ondas nas grandes marés. A área de estudo faz parte da Unidade de Conservação de Proteção Integral – Parque Nacional de Jericoacoara (PARNA), criada em 4 de fevereiro de 2002.

Atualmente a área em estudo apresenta um intenso fluxo turístico e vem sofrendo com os processos erosivos. Assim, torna-se importante observar os usos e ocupações, exemplificados na figura 02, que ocorrem na Praia de Jericoacoara, sob a ótica dos impactos sócio ambientais, considerando-se que, como afirmam Vasconcelos e Coriolano (2008) “(...) é preciso, em primeiro lugar, entender a relação do homem com a natureza ao longo do tempo e de sua evolução, pois é dessa relação que se obtêm as transformações e seus respectivos impactos socioambientais”.

**Figura 01** – Carta-Imagem de localização da área de estudo.



Fonte: Google Earth Pro (2017) Elaborado pelos autores (2018).

**Figura 02** – Usos múltiplos envolvendo a DPS. (A) DPS em dezembro de 2017; (B) (C) (D) Trilhas para passeios de quadriciclo, à cavalo, e of road 4x4, respectivamente.



## MATERIAL E MÉTODO

No presente trabalho, realizou-se um estudo geomorfológico que permitiu fazer uma análise da evolução temporal e da dinâmica sedimentar da Duna do Pôr do Sol em Jericoacoara, no município de Jijoca de Jericoacoara, Estado do Ceará, a partir de entrevistas, da análise temporal de imagens de satélites, da coleta de dados relativos aos parâmetros morfodinâmicos com a realização de perfis sobre as dunas, do cálculo do grau de declividade da escarpa da duna, da determinação da área e o do volume sedimentar da duna de fevereiro de 2017 a fevereiro de 2018, comparando os resultados com estudo de Meireles (2011), o qual faz uma evolução histórica quantificando a área e deslocamento do campo de dunas de 1975 a 2010.

Inicialmente foi realizado um levantamento da documentação disponível quanto aos aspectos técnicos e científicos relativos à área em estudo. Foram consultados livros conceituais sobre ambientes litorâneos, com ênfase nas definições que caracterizam as feições e a dinâmica das dunas e em especial os que tratam das dunas do litoral oeste do Estado do Ceará e mais precisamente aqueles que abordavam as dunas de Jericoacoara.

Em campo foram realizadas entrevistas abertas (semiestruturadas) conforme descrito por MINAYO (2007). Os entrevistados foram os moradores locais, os proprietários de empreendimentos, trabalhadores e turistas que visitam a Duna do Pôr do Sol. As entrevistas tiveram o objetivo de coletar informações sobre a percepção dos entrevistados sobre o comportamento da duna ao longo do tempo, o seu deslocamento e o seu tamanho.

O estudo da topografia e a análise de imagens de satélite em séries temporais de determinada área é de fundamental importância para se classificar o tipo de ambiente litorâneo, seja praia, falésia ou duna, levando em consideração que a inclinação do terreno em conjunto com o tipo de arrebentação das ondas, a amplitude das marés e a granulometria do sedimento vão influenciar diretamente no poder erosivo atuante.

A partir do método proposto por Borges (1977) foram realizados, em fevereiro de 2017 e em fevereiro de 2018, quinze perfis topográficos na área de estudo apresentados na figura 03, tendo como base 34 pontos georreferenciados com um GPS de precisão modelo Garmin, feitos em espaçamentos adequados para que se possa observar com clareza as variações e irregularidades na altitude do terreno.

**Figura 03 – Pontos de Coleta e Perfis Topográficos**



Fonte: Google Earth Pro (2017) Elaborado pelos autores (2018).

Para o experimento, considerou-se o nível de referência dos dados fornecidos pela DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil) de acordo com a variação da maré no local, permitindo a correção dos dados para o nível zero hidrográfico. A aferição do nível do mar pela maré foi feita a partir dos dados do marégrafo do Terminal Portuário do Pecém, localizado no município de São Gonçalo do Amarante. A correção do nível hidrográfico do mar foi feita levando em consideração a distância do Porto do Pecém até a DPS e o tempo de retardo de ocorrência da maré entre um ponto e o outro, segundo BORGES (1977). Todos os perfis têm como base o zero hidrográfico da maré, calculados pela hora em que o perfil foi realizado. Deste modo, todos os perfis têm a mesma altura topográfica no seu ponto altimétrico 0,00 m (zero hidrográfico).

A correção de maré foi feita a partir de uma equação gerada pela curva correspondente ao intervalo do levantamento. A equação polinomial (equação 1) ajusta os valores de cotas do perfil para o nível zero da maré, considerando o toque na linha de preamar daquele determinado horário.

$$\text{Equação 1: } y = x^2 + x - a \text{ ou } y = x^3 + x^2 - x + a$$

Onde:

$y$  é a altitude da cota

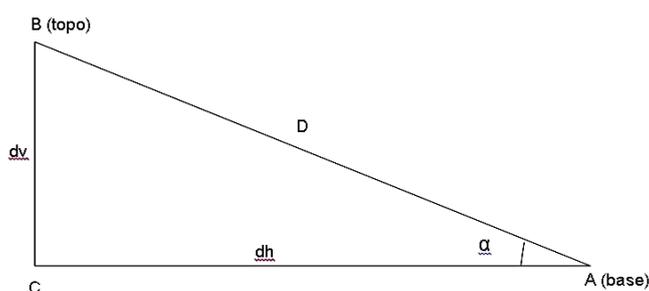
$x$  é a hora de coleta da altitude da cota

Como o objetivo de análise principal é a observação do comportamento morfológico da duna, incluindo a medição de sua altura, sua superfície e seu volume, faz-se absolutamente necessário determinar a altura da maré no momento exato em que o perfil é realizado. A altura da maré tem significado apenas para o nivelamento topográfico da duna em relação ao zero hidrográfico, mantendo a real altura da duna em relação ao nível do mar.

Após o levantamento de informações em campo ocorreu a fase de integração dos dados coletados em uma planilha eletrônica que apontou os resultados da pesquisa, sendo calculadas as cotas e suas correspondentes distâncias horizontais e verticais, para compor o perfil da duna.

Com a confecção dos perfis foi possível calcular a declividade do talude da duna, área sujeita ao recuo decorrente dos processos morfogenéticos marinhos e aéreos (causados pela chuva e pelo pisoteamento principalmente). Para realizar o cálculo da declividade foi necessário fazer a relação entre a diferença de altura entre o ponto mais elevado da linha de topo da duna (topo) e o ponto mais baixo na base e a distância horizontal entre eles, demonstrado na figura 04 a seguir.

**Figura 04** – Esquema para cálculo de declividade da encosta da duna.



Fonte: Borges (1977).

A declividade da duna ( $D$ ) pode ser calculada através da razão entre  $dv$  e  $dh$ , expressa pela fórmula:

$$D = \frac{dv}{dh}$$

Onde:

$D$  = Declividade da duna (tangente de  $\alpha$ )

$dv$  = Distância vertical BC (altura da encosta da duna)

**dh** = Distância horizontal AC (distância entre os pontos do topo e da base da duna)

A tangente de  $\alpha$  expressa o valor angular existente entre as duas distâncias, e o arco tangente de D pode revelar o valor da declividade em graus, por tanto:

$$\alpha = \arctan (D)$$

Para expressar a declividade do talude da duna em porcentagem (D%) temos a seguinte fórmula: **D% = D x 100**

O ponto de equilíbrio entre estabilidade e instabilidade do talude da duna é uma declividade de 100%, ou seja, a distância vertical é igual à distância horizontal ( $dv = dh$ ), imprimindo um valor de  $45^\circ$  ao ângulo  $\alpha$ . Quando o ângulo de declividade atinge  $45^\circ$  os sedimentos que compõem a parede do talude deslizam para a base apenas pela força da gravidade, esse é o ponto de instabilidade máxima. Quanto menor o ângulo do talude mais estável aos processos de deslizamento a duna se torna. Ângulos acima de  $30^\circ$  determinam um alto grau de instabilidade elevado, ficando a encosta da duna sujeita a deslizamentos intensos provocados pelo vento e pelo pisoteamento. Grandes volumes de sedimentos podem ser retirados da duna por esses processos.

O talude da duna é considerado instável quando apresenta altura de talude ( $dv$ ) maior que seu comprimento ( $dh$ ) e o ângulo  $\alpha$  assume valores superiores a  $45^\circ$ . Nesses casos a declividade é maior que 100%, ou seja, partindo do ponto de encontro das medidas de distâncias vertical e horizontal a duna cresce mais em altura do que em comprimento, apresentando risco de recuo por desmoronamento, acumulando areia em sua base. A areia que se acumula forma cone de dejeção, sendo os sedimentos transportados pela corrente de deriva litorânea. Na área em estudo a face de sotavento da duna está sujeita ao ataque das ondas durante as marés altas.

Por outro lado, o talude da duna é considerado estável quando apresenta altura de talude ( $dv$ ) menor que seu comprimento ( $dh$ ) e o ângulo  $\alpha$  assume valores inferiores a  $30^\circ$ . Nessa situação a declividade é muito menor que 100%, ou seja, partindo do ponto mesmo ponto C de medida das distâncias vertical e horizontal a duna cresce mais em comprimento que em altura. Nesse caso os desmoronamentos são mais suaves e a duna perde menos sedimentos para o sistema praial. Quanto menor for o ângulo  $\alpha$ , menor será a declividade, maior será a estabilidade da duna.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os entrevistados que moram no local, que trabalham ou que visitam frequentemente a Praia de Jericoacoara têm a percepção que a Duna do Pôr do Sol está diminuindo de tamanho de forma muito rápida. Todos, sem exceção, afirmam que a duna já foi muito maior do que está atualmente.

Considerando as forças atuantes na linha de costa, entre os mais importantes agentes modificadores, destacam-se as ondas, as marés, os ventos e as correntes litorâneas. Essas forças incidentes, aliadas a eventos esporádicos, podem promover a progradação ou a regressão da linha de costa.

Com isso, os resultados desta pesquisa indicam que a Duna do Pôr do Sol (DPS) está sofrendo com os processos erosivos que são provocados pela atuação das ondas na linha de base da duna, como fator principal responsável pela diminuição de seu tamanho. O solapamento produzido pelas ondas faz desmoronar a escarpa frontal da duna, fenômenos representados na figura 05. Os sedimentos que desmoronam são transportados pelas ondas e pela corrente de deriva litorânea que, na área em estudo, atua de leste para oeste.

A análise diacrônica dos dados da Duna do Pôr do Sol indica que ela apresentou forte processo de migração nos últimos anos. Segundo Meireles (2011), num período de 35 anos (de 1975 a 2010) a planície costeira de Jericoacoara apresentou forte processo de migração de dunas, entre elas a Duna do Pôr do Sol. Outra tendência geral apresentada foi de uma diminuição das áreas e modificação das formas das dunas. Ainda segundo esse autor a DPS apresentou uma área média de 198.472m<sup>2</sup> para o período de 2005 a 2010, registrando uma diminuição de aproximadamente 18.500m<sup>2</sup>, nesse período, ou seja, quase 2 ha de diminuição de área, definindo uma tendência de déficit constante de sedimentos durante seu deslocamento.

**Figura 05** – (A) DPS sendo atacada em episódios de marés de sigízia; (B) Escarpa frontal da DPS.



Autores (2017).

A partir de medições realizadas em campo de fevereiro de 2017, calculou-se a área da Duna do Pôr do Sol em 129.765,858 m<sup>2</sup>, esta área demonstra que nos últimos 7 anos (de 2010 a 2017) a Duna do Pôr do Sol apresentou uma redução em sua área de 68.706,142 m<sup>2</sup>, correspondendo a quase 7 ha (1

ha = 10.000 m<sup>2</sup>) nesse período. Caso esse ritmo de redução seja mantido essa duna poderá perder significativamente sua área em apenas 10 anos.

Quando comparadas as fotografias da Duna do Pôr do Sol realizadas em 1987 com as atuais (intervalo de 30 anos), figura 06, verifica-se que a face norte da duna, em contato com o mar, apresentava dimensões maiores, inclusive com a presença de coqueiros, os quais foram sendo soterrados pelo deslocamento da duna. A duna em 2017 apresenta claramente dimensões menores que em 1987.

**Figura 06** – (A) DPS em 1987, apresentando vegetação de coqueiros. A duna estava ainda distante do ataque das ondas e apresentava uma faixa de praia ampla em frente à feição, sendo atacada em episódios de marés de sigízia, (B) DPS em 2017 com uma estreita faixa de praia, na fase de preamar as ondas solapam a base da duna, levando sedimentos junto a corrente de deriva litorânea.



Autores (1987-2017).

A partir da determinação da área da Duna do Pôr do Sol e das medições altimétricas dos 15 perfis topográficos transversais realizados ao longo da duna foi possível calcular, pela primeira vez, o volume sedimentar da duna. Esses cálculos indicaram que a DPS tinha aproximadamente 1.053.698,767 m<sup>3</sup> de sedimentos em fevereiro de 2017.

Observamos que a DPS tem suas elevações máximas em sua parte central. Como indicado pela Tabela 01, a DPS vai ganhando altitude até atingir seus pontos máximos nos Perfis J06 com 21,75 metros, J07 com 18,66 metros e J08 com 18,59 metros de altitude em relação ao nível do mar (zero hidrográfico). Observando de uma forma mais ampla a porção central mais elevada da DPS vai do Perfil J05 com 13,96 metros até o perfil J12 com 10,58 metros. A duna diminui de altitude em direção as suas pontas de leste e de oeste.

Com os resultados dos 15 perfis realizados foi possível tração a linha do talude da duna e determinar sua altura (Dv), seu comprimento (Dh) e calcular a declividade em porcentagem e os ângulos em radiano (rad) e em grau (°). Na face de sotavento da Duna do Pôr do Sol o perfil é cônico e fortemente

inclinado para o mar. Do perfil J04 a J12 o ângulo de inclinação é sempre superior em torno de 30°. Nessa área da DPS ocorre a maior fonte de perda de sedimentos da duna por solapamento das ondas em sua base e por pisoteamento pelas pessoas que visitam o local, principalmente no final da tarde para apreciar o pôr do sol, hábito que gerou inclusive o nome popular de Duna do Pôr do Sol.

A face de barlavento da DPS apresenta perfil suave, com inclinações que caracterizam a área de alimentação da duna a partir do campo de deflação eólica, recebendo sedimentos das trilhas de caminamento de areias que ainda existem na área.

Os resultados das medições topográficas realizadas em fevereiro de 2018 mostram uma realidade bastante diferente das medições realizadas em fevereiro de 2017. A área da Duna do Pôr do Sol que em 2017 era de 129.765,858 m<sup>2</sup> foi reduzida para 120.924,040 m<sup>2</sup>, uma diminuição de 1 ha em apenas 1 ano. A comparação de imagens temporais realizada por Meireles (2010) indica que a DPS está caminhando na direção média dos ventos que é de Leste para Oeste.

Devido à inflexão da linha de costa, o caminamento da DPS migra levando parte dos seus sedimentos em direção ao mar. No contato com a frente marinha as ondas provocam fortes processos erosivos, principalmente nas marés de sizígia. Os processos erosivos são agravados pela subida do nível do mar, que proporciona a dissipação das ondas em cotas altimétricas cada vez mais elevadas.

Outro fator que também contribui para o aumento dos processos erosivos é a ocorrência cada vez mais frequente de ondas do tipo Swell no litoral brasileiro, em especial na fachada setentrional do Nordeste. As ondas do tipo Swell não são geradas pelo sistema de ventos locais (ventos Alísios geram predominantemente ondas do tipo Sea), mas por episódios de tempestades no Atlântico Norte, produzindo ondas com período (t) e altura (h) que podem ser até duas vezes maiores que as ondas do tipo Sea produzidas pelos ventos Alísios. Os episódios de tempestades no Hemisfério Norte têm ocorrido desde a década de 1990 (Melo E., Alves J.H.G.M., Jordan V., 1995) e têm sido cada vez mais frequentes nos últimos anos (VASCONCELOS,2005).

A junção desses fatores, aliados a uma diminuição significativa do aporte de sedimentos para a DPS pelo bloqueio parcial do fluxo eólico, devido o posicionamento e a expansão da Vila de Jericoacoara em direção à DPS, associados ao intenso fluxo diário de pessoas sobre a duna compactando e comprometendo a capacidade de suporte de carga tolerável pela duna, justifica plenamente uma redução de área da duna em quase 1 ha em apenas um ano. A tendência de diminuição da área da duna de 2010 para 2017 se confirma com a redução de 2017 para 2018. Entretanto, essa redução não significa que teremos a cada ano uma perda semelhante, pois os episódios de ressacas podem não se repetirem na mesma frequência de um ano para o outro, é relativo assim como os outros fatores elencados acima, todos possuem sua variação de ocorrência e intensidade.

A partir das medições altimétricas dos 15 perfis topográficos transversais realizados em fevereiro de 2018, foram determinadas as alturas máximas da DPS. Observando os resultados pode-se afirmar que em 2018, assim como em 2017, a Duna do Pôr do Sol tem suas elevações máximas em sua porção central. As altitudes da DPS vão aumentando do Perfil J01 até os perfis centrais, atingindo seu ponto máximo no Perfil J11 com 18,62 metros e depois diminuem em direção ao final da duna no perfil J15, conforme tabela 01.

As altitudes mais significativas são encontradas nos perfis J06 com 15,09 metros, J07 com 16,66 metros, J08 com 17,79 metros, J09 com 17,73 metros, J10 com 18,53 metros, J11 com 18,62 metros e J12 com 17,39 metros (tabela 1).

A comparação da evolução das elevações máximas entre os anos de 2017 e 2018 pode ser observada na tabela 01 a seguir. Nela constata-se que em 2017 os perfis são mais elevados no início da duna (considerando nesse estudo o início da duna como sendo o Perfil J01, realizado a barlavento, ou seja, no início do caminhamento dos sedimentos, e o final da duna como sendo o Perfil J15 a sotavento, apresentado na figura 03), obtendo-se a maior altitude registrada no período de levantamento no Perfil J06 com 21,75 metros em 2017. Nos perfis de 2018 observa-se que ocorreu um rebaixamento das altitudes dos perfis da primeira metade da duna, do Perfil J01 até o perfil J08, sendo a mais significativa diminuição no Perfil J06, passando de 21,75 metros em 2017 para 15,09 metros em 2018. Por outro lado, observamos um aumento da altitude entre os Perfis J09 até J15 em 2018, sem atingir a cota recorde de 21,75 metros do Perfil 06 de 2017. Podemos concluir que os sedimentos estão migrando da parte inicial da duna para sua parte final, o que é absolutamente coerente com a direção dos ventos de leste para oeste; entretanto, nesse caminhamento ocorre uma perda de sedimentos, como observaremos na análise dos cálculos do volume da duna.

A migração dos sedimentos pode justificar a diminuição da área, que pode ocorrer sem a perda de volume, apenas concentrando mais sedimentos em áreas específicas da duna, mas não é isso que ocorre como veremos a seguir.

**Tabela 01** – Comparação das elevações máximas nos perfis de 2017 e 2018 da Duna do Pôr do Sol.

<b>Elevação máxima nos perfis da Duna do Pôr do Sol</b>		
	<b>Altitude (m) 2017</b>	<b>Altitude (m) 2018</b>
PERFIL J01	3,17	3,55
PERFIL J02	4,04	3,79
PERFIL J03	6,50	6,23
PERFIL J04	9,93	8,32
PERFIL J05	13,96	12,23

PERFIL J06	21,75	15,09
PERFIL J07	18,66	16,66
PERFIL J08	18,59	17,79
PERFIL J09	14,30	17,73
PERFIL J10	18,11	18,53
PERFIL J11	16,09	18,62
PERFIL J12	10,58	17,39
PERFIL J13	8,57	12,33
PERFIL J14	6,24	8,13
PERFIL J15	3,57	6,77
Obs: Altitude a partir do zero hidrográfico da maré		

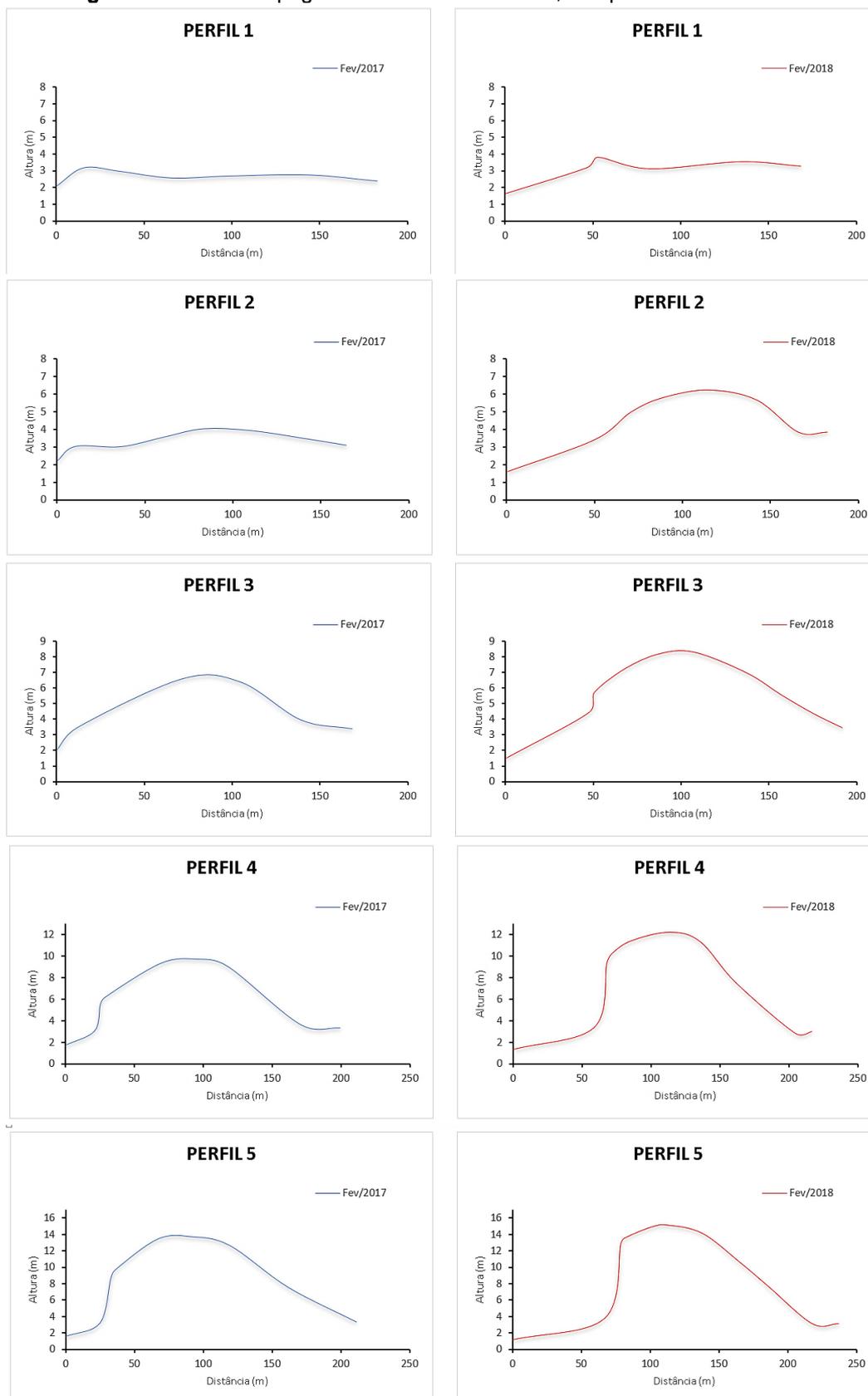
Elaborado pelos autores (2018).

Com os resultados dos 15 perfis realizados em fevereiro de 2018 também foi possível traçar a linha do talude da DPS e determinar sua altura (Dv), seu comprimento (Dh) e calcular a declividade em porcentagem e os ângulos em radiano (rad) e em grau (°). Assim como em 2017 a face de sotavento da Duna do Pôr do Sol em 2018 também apresenta um perfil cônico e fortemente inclinado para o mar. A partir do Perfil J05 até o final da duna no Perfil J15 o ângulo de inclinação é sempre superior a 30°.

Observa-se que o grau de inclinação da falésia da duna aumentou entre 2017 e 2018, tornando-se mais inclinado e mais instável. Essa tendência de aumento da inclinação da falésia da duna é resultante do aumento dos processos erosivos pelo solapamento da base da duna pelas ondas. O desmoronamento da duna em sua fachada marítima foi muito intenso entre 2017 e 2018, como foi mostrado na figura 05 apresentada anteriormente. A face de barlavento da Duna do Pôr do Sol continua apresentando um perfil suave, característico de área de alimentação em sedimentos para a duna a partir do campo de deflação eólica.

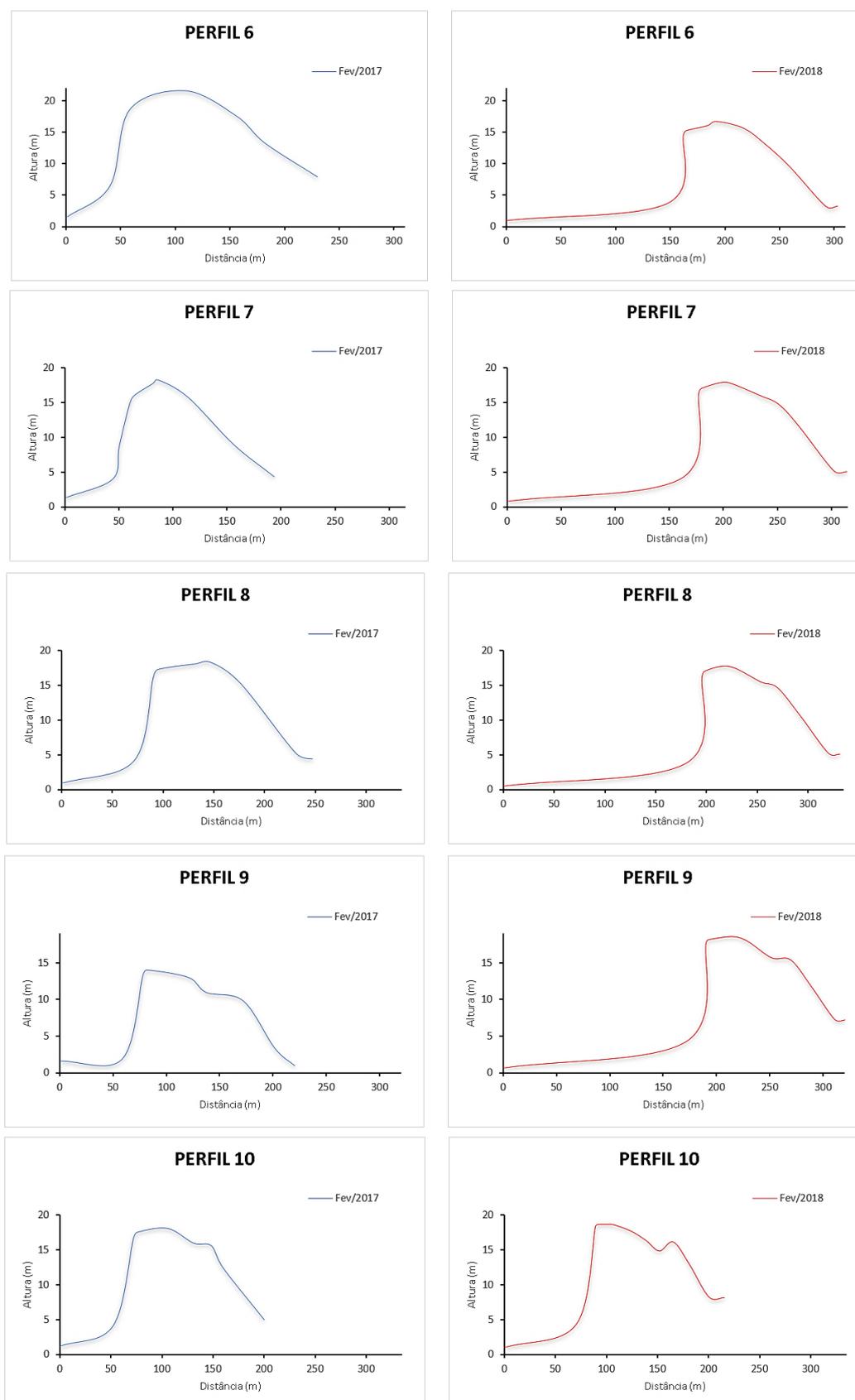
Apresentamos, a seguir nas figuras 07, 08 e 09, o comparativo entre os anos de 2017 e 2018 dos perfis J01 até J15. Observa-se nesses gráficos que a face de barlavento da duna, em contato com o mar, sofre uma redução de volume e uma acentuação em sua declividade, característico de aceleração dos processos erosivos. Observam-se ainda deslocamentos dos pontos mais elevados, que variam de um perfil para outro em função da própria erosão e do transporte de sedimento pelos ventos.

**Figura 07 – Perfis Topográficos da DPS P1 ao P5, comparativo 2017 e 2018.**



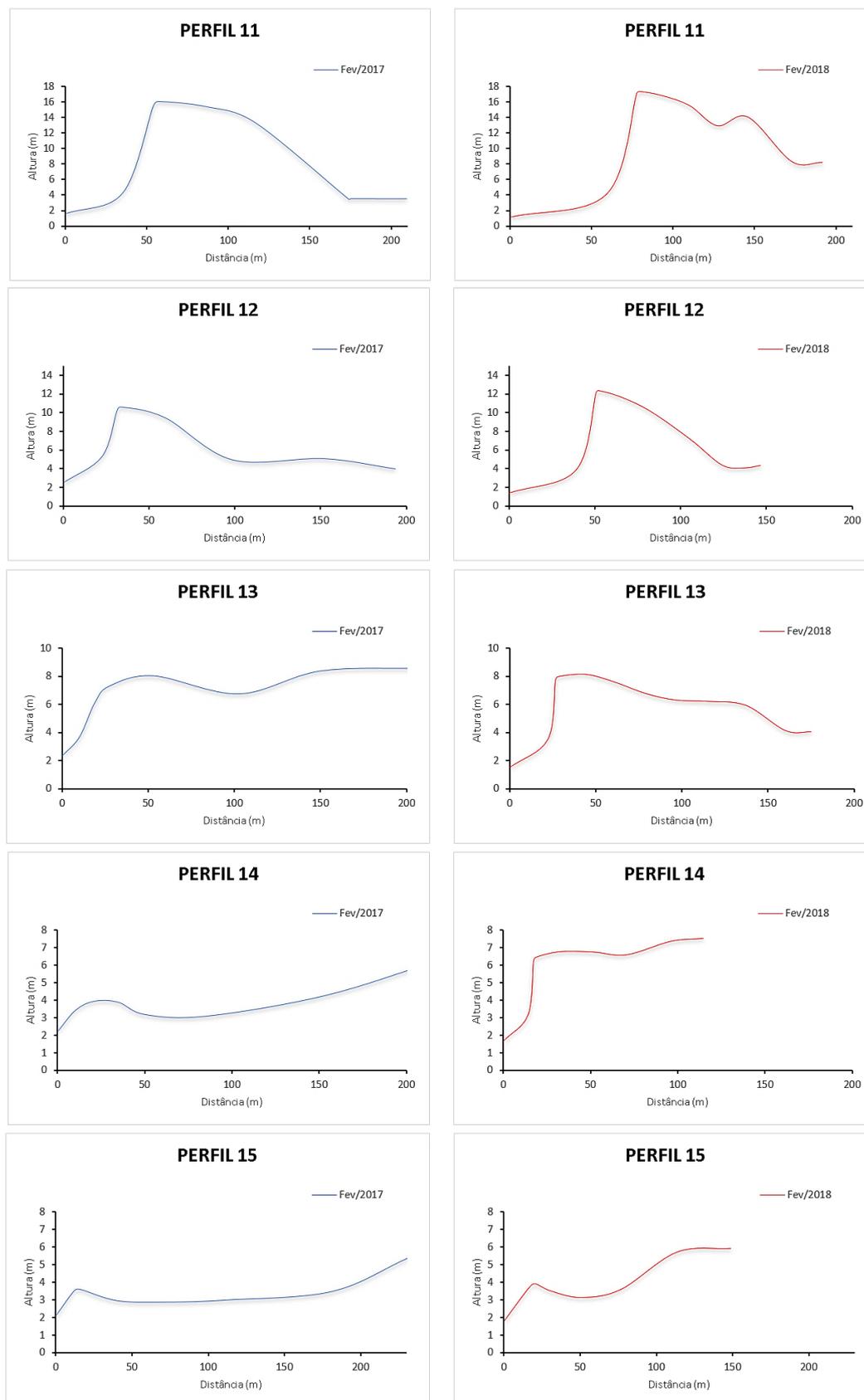
Elaborado pelos autores (2018).

**Figura 08 – Perfis Topográficos da DPS P6 ao P10, comparativo 2017 e 2018.**



Elaborado pelos autores (2018).

**Figura 09 – Perfis Topográficos da DPS P11 ao P15, comparativo 2017 e 2018.**



Elaborado pelos autores (2018).

Após um ano de medições da DPS foi possível fazer uma comparação dos volumes de sedimentos entre 2017 e 2018. No ano de 2017 o volume de sedimentos da DPS era aproximadamente 1.053.698,767 m<sup>3</sup>, passando para 983.982,629 m<sup>3</sup> em fevereiro de 2018. A redução de volume foi superior a 6,62%, fato absolutamente condizente com a diminuição da área da Duna do Pôr do Sol. Na Tabela 02 apresentamos um quadro síntese de áreas e volumes da Duna do Pôr do Sol para o período de fevereiro de 2017 a fevereiro de 2018.

**Tabela 02** – Quadro Síntese das dimensões da Duna do Pôr do Sol.

<b>Data</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>
<b>fev/17</b>	129.765,858	1.053.698,767
<b>fev/18</b>	120.924,040	983.982,629
<b>Redução</b>	8.841,818	69.716,138
<b>Redução (%)</b>	6,81	6,62

Elaborado pelos autores (2018).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados, conclui-se que a Duna do Pôr do Sol apresenta indícios de processos erosivos com perda de área em torno de 35% em 7 anos, ou seja, uma taxa média de 5% ao ano. E dentro do intervalo de tempo de um ano (fevereiro de 2017 a fevereiro de 2018) monitorados, observou-se que houve uma perda 8.841,818 m<sup>2</sup> de área, correspondente a 6,81% de redução, aproximadamente 1ha. Acreditamos que essa redução de área foi elevada e nos traz indícios que indica migração do corpo dunar, bem como também um déficit sedimentar, este último só pode ser ratificado com a quantificação volumétrica do pacote sedimentar da duna.

Para fins comparativos, infelizmente não se têm dados de estudos anteriores na nossa literatura para ser realizada a confrontação dos dados o que enaltece o caráter desta pesquisa para fins estatísticos. Examinando os quantitativos volumétricos que foram aferidos em fevereiro de 2017 e fevereiro de 2018, temos a Duna do Pôr do Sol apresentando uma carga sedimentar de 1.053.698,767m<sup>3</sup> e em 2018 esta carga passou para 983.982,629m<sup>3</sup> uma redução de 69.716,138m<sup>3</sup>, representando uma perda de 6,62% do volume total o que ratifica a nossa teoria do déficit sedimentar na análise da área pois, a duna não está sendo alimentada com uma carga sedimentar capaz de repor os sedimentos perdidos pelo transporte eólico.

Com o desenvolvimento e a expansão da Vila de Jericoacoara o fluxo eólico sedimentar está sendo parcialmente bloqueado por esse processo de urbanização. Atrélado a este desenvolvimento temos o intenso e diário fluxo de turistas que perpassam sobre a duna contribuindo para a compactação

do geótopo em análise comprometendo a sua capacidade de suporte. Estes fatores são potencializados, pois tem-se associado os eventos de magnitude global que assolam praticamente todos os litorais como a subida do nível dos oceanos e os eventos de grandes marés de sizígia que levam grande parte dos sedimentos do sistema. Com isso concluímos que existe uma tendência de diminuição do volume dunar. Para um prognóstico futuro, observamos ainda, que caso esse ritmo de redução seja mantido, no mais pessimista cenário, essa duna poderá perder significativamente sua área em apenas 10 anos.

Em conclusão podemos ainda dizer que considerando a intensa dinâmica que permeia esse ambiente litorâneo, se faz necessário um acompanhamento geomorfológico do comportamento da Duna do Pôr do Sol para que possamos ter mais dados científicos consolidados que possam subsidiar os tomadores de decisão para a realização de um planejamento adequado e uma gestão integrada da zona costeira deste sistema que é tão importante não só ambientalmente, mas socialmente falando, dada a dimensão que a duna apresenta para o turismo e o desenvolvimento econômico local.

## REFERÊNCIAS

BORGES, A.C. **Topografia Aplicada à Engenharia Civil**. São Paulo: Edgard Blucher, 1977.

CLAUDINO-SALES, V.; WANG, P.; CARVALHO, A. M. Interactions between Various Headlands, Beaches, and Dunes along the Coast of Ceara´ State, Northeast Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 34, n 2, 413 – 428, jul. 2017.

MELO E., ALVES J.H.G.M., JORDEN V. **Instrumental confirmation of the arrival of North Atlantic swell to the Ceará coast**. Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Coastal and Engineering in Developing Countries - IV COPEDEC. Rio de Janeiro, Brazil, 1995; 3 : 1984 –1996.

MEIRELES, A. J. A. Geodinâmica dos Campos de Dunas Móveis de Jericoacoara/Ce-Br. **Revista Mercator** , v. 10, n. 22, p. 169–190, ago. 2011.

MINAYO, M. C. de S. (org). **Pesquisa Social: Teoria, método e criatividade**. Petrópolis: Vozes, 2007.

MUEHE, D. Erosão costeira, mudança do clima e vulnerabilidade. In: GUERRA, A.J.T & JORGE, M.C.O.(orgs.) **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

PASKOFF, R. **Les Littoraux. L'impact des aménagements sur leur évolution**. Paris: Armand Colin, 1998.

VASCONCELOS, F. P. **Gestão Integrada da Zona Costeira: ocupação antrópica desordenada, erosão, assoreamento e poluição ambiental do litoral**. Fortaleza: Premium, 2005.

VASCONCELOS, F. P.; CORIOLANO, L. N. M. T. Impactos Sócio-Ambientais no Litoral: Um Foco no Turismo e na Gestão Integrada da Zona Costeira no Estado do Ceará/Brasil. **Gerenciamento Costeiro Integrado**, v. 8, 259-275, 2008.