

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



**Dinâmica sedimentar e morfológica do campo de dunas da  
Crismina-Guincho**

Ana Beatriz Gomes Ferreira

**Mestrado em Geologia do Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento do  
Território**

Dissertação orientada por:  
César Andrade  
Gabriela Moniz

2019





**Ciências  
ULisboa**

---

**Ana Beatriz  
Gomes Ferreira**

**Dinâmica sedimentar e morfológica do campo de  
dunas da Crismina-Guincho**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de mestre em Geologia do Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento do Território, sob orientação científica do Doutor César Andrade, professor do Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e da Arquiteta Paisagista Gabriela Moniz, da Agência Portuguesa do Ambiente, I.P.



*“Todos os fenômenos que se observam têm um sentido e  
correspondem a uma realidade.”*

Crozier & Friedberg (1977)



## Agradecimentos

A colaboração de muitas pessoas permitiu a realização deste trabalho, às quais deixo aqui o meu enorme agradecimento.

Ao César Andrade pela orientação, pela disponibilidade, pela paciência, pelo conhecimento transmitido e pelo encorajamento no decorrer do trabalho.

À Gabriela Moniz, sem a qual este trabalho não teria sido realizado, visto ter sugerido a colaboração entre a Agência Portuguesa do Ambiente e a Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e, desta forma, tomou o papel de coorientadora. Foi também sua a sugestão do tema da dissertação, a pedido do Dr. César Andrade, pelo interesse que o mesmo tem para a instituição que representa.

À Câmara Municipal de Cascais pelos ortofotomapas disponibilizados que foram uma ferramenta essencial na realização deste trabalho.

À Cascais Ambiente, por toda a disponibilidade para reunir comigo e esclarecer questões e por terem cedido informação acerca das intervenções na zona de estudo.

À diretora do mestrado em Geologia do Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento do Território, Maria Conceição Freitas, por se mostrar disponível ao longo de todo o percurso.

Ao Luís Rebêlo, que acompanhou o primeiro momento em campo, transmitindo o seu singular conhecimento acerca da área em estudo, e sempre se mostrou disponível para ajudar.

À Ana Bastos, por ter sido incansável no acompanhamento do trabalho, quer nas saídas de campos quer em questões relacionadas com os vários *softwares* utilizados e com os resultados obtidos.

À Vera Lopes, pela disponibilidade em laboratório para ensinar-me os procedimentos laboratoriais e pelos esclarecimentos em relação aos resultados.

À Cristina Lira pela sua disponibilidade em ajudar nas questões relacionadas com SIG.

Ao João Catalão e ao João Calvão, do Departamento da Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia da Universidade de Lisboa, que abraçaram a colaboração no levantamento aerofotogramétrico da área de estudo.

À Rute Fonseca e à Joana Santos que, além de serem as pessoas mais próximas no decorrer do mestrado, sempre se prontificaram a ajudar-me durante a realização desta tese, auxiliando-me nos trabalhos de campo e incentivando-me no decorrer do trabalho. Aqui se criou uma bela amizade.

Aos meus bons amigos que sempre me acompanharam e incentivaram quando mais precisava: Alpuim, André, Catarina, Cró, Francisca, Hugo, Inês, Jomi, Varela e Vitor.

Bianca e Sónia, obrigada por todas as conversas, motivação e momentos de desanúvio.

Com especial apreço ao Ruela que, além da amizade, foi uma preciosa ajuda numa etapa da tese e à Madalena, por ser a melhor pessoa que conheci no meu percurso académico.

A ti, André Henriques. Sou felizarda por poder contar com um apoio indescritível.

Por último, mas não menos importante, aos meus pais e aos meus irmãos que são os melhores do mundo. Este trabalho é para eles, por tudo o que sempre fizeram por mim, por todos os valores que me inculcaram e por todo o amor e apoio incondicional.

Muito obrigada a todos!

## Resumo

O sistema dunar Crismina-Guincho pertence a um corredor eólico que se insere no sistema de maiores dimensões designado por sistema dunar do Guincho-Oitavos. No entanto, a atividade antrópica expressa pela construção e vegetação dos campos da Quinta da Marinha tem vindo a alterar o sistema, alterando o seu processo de evolução natural e estabilizando as dunas.

Neste trabalho estudou-se a região norte deste sistema dunar que, apesar de vegetada, ainda mantém alguma mobilidade. Este estudo teve como objetivo a caracterização e quantificação daquela mobilidade e avaliar os impactos sobre estruturas contruídas perto da fronteira sul da área de trabalho.

O trabalho de campo teve como objetivo a recolha e caracterização de amostras de sedimento de praia e duna, com o objetivo de avaliar a compatibilidade textural. O estudo da dinâmica sedimentar e morfológica baseou-se em levantamento topográfico (no campo e recorrendo a levantamentos estereofotogramétricos) de diferentes zonas da área de estudo e, ainda, no estudo do coberto vegetal em diferentes momentos.

A análise dos sedimentos permitiu comprovar que existe uma ótima afinidade textural entre os sedimentos das praias e do campo dunar. O regime de ventos dominante, de norte e noroeste, potencia o transporte de areias para sul e sudeste e é responsável pela movimentação da duna da Crismina no mesmo sentido, bem como pela reativação localizada da superfície, originando a formação e expansão de estruturas de deflação. No intervalo de tempo estudado (de 1999 a 2016) os dados colhidos sugerem que a principal fonte sedimentar para este sistema dunar é a praia do Guincho e que a taxa de transporte sólido desta praia para o sistema terá sido da ordem de  $9 \times 10^3$  a  $2.7 \times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ .

Da análise da evolução da ocupação do solo, sobressaem quatro regiões, designadas por DN, D, DC e DS onde se concentram as mais importantes modificações morfológicas e do coberto vegetal ocorridas entre 1999 e 2016. Do estudo da evolução do sopé da duna da Crismina, resultou uma taxa de movimentação média de cerca de 11 m/ano, significando que o intervalo temporal para que a mesma atinja o Clube Dom Carlos seja de 20 a 30 anos.

Relativamente às intervenções de retenção de areia, materializadas pela construção de paliçadas e introdução de vegetação, conclui-se que as mesmas foram eficazes durante cerca de 2 anos, gerando acumulação de areia, mas perderam depois eficácia, não sendo claras as razões que motivaram esta alteração. Projetos de reintervenção futura deverão ser acompanhados de monitorização do estado da superfície a intervalos regulares e dimensionados em função do ritmo da resposta do sistema dunar.

A observação de fotografia aérea e as observações de campo indicam que a superfície do campo dunar se encontra sujeita a impacto antropogénico muito significativo e relacionado com o pisoteio da vegetação e das próprias dunas, que promove a sua reativação. O controlo da mobilidade deste campo dunar passa, assim também, pela educação ambiental e pelo controlo mais rigoroso do atravessamento do campo dunar por pessoas e animais.

## Palavras-chave

Sistema dunar, Crismina, Guincho, morfologia, mobilidade, vento, sedimentos, vegetação.

## **Abstract**

The Crismina-Guincho dune system belongs to a wind corridor that is part of the largest system called the Guincho-Oitavos dune system. However, the anthropogenic activity expressed by the construction and vegetation of the Marinha Villa fields has been altering the system, altering its natural evolution process and stabilizing the dunes.

In this work it was studied the northern region of this dune system that, although vegetated, still maintains some mobility. This study aimed to characterize and quantify that mobility and to evaluate the impacts on structures built near the Southern border of the work area.

The field work aimed to collect and characterize beach and dune sediment samples, in order to evaluate the textural compatibility. The study of sedimentary and morphological dynamics was based on topographic survey (in the field and using stereophotogrammetric surveys) from different areas of the study area, and also on the study of vegetation cover at different times.

The sediment analysis showed that there is a great textural affinity between the beach and dune field sediments. The prevailing north and northwest wind regime enhances the transport of sand to the south and southeast and is responsible for moving the Crismina dune along the same direction, as well as for localized surface reactivation, leading to the formation and expansion of deflation structures. Over the time period studied (from 1999 to 2016) the data collected suggest that the main sedimentary source for this dune system is Guincho beach and that the solid transport rate from this beach to the system would have been around  $9 \times 10^3$  to  $2.7 \times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{year}^{-1}$ .

From the analysis of the evolution of land occupation, four regions stand out, called DN, D, DC and DS, where the most important morphological and vegetation changes occurred between 1999 and 2016. The study of the evolution of the Crismina dune foothills resulted in a medium movement rate of 11 m/year, meaning that the time interval for reaching the Dom Carlos Club is 20 to 30 years.

Concerning the sand retention interventions, materialized by the construction of palisades and the introduction of vegetation, it can be concluded that they were effective for about 2 years, generating sand accumulation, but then lost effectiveness, and the reasons that motivated this accumulation were not clear. Future reintervention projects should be accompanied by surface condition monitoring at regular intervals and scaled to the rate of response of the dune system.

Observation of aerial photography and field observations indicate that the surface of the dune field is subject to very significant anthropogenic impact and related to the trampling of the vegetation and the dunes themselves, which promotes their reactivation. Controlling the mobility of this dune field also involves environmental education and stricter control of the crossing of the dune field by people and animals.

## **Key words**

Dune system, Crismina, Guincho, morphology, mobility, wind, sediment, vegetation.

# Índice

Agradecimentos .....	I
Resumo.....	III
Palavras-chave .....	III
Abstract .....	IV
Key words.....	IV
Índice de Figuras.....	VII
Índice de Tabelas .....	XI
Lista de Abreviaturas .....	XII
Lista de Símbolos.....	XIII
Lista de Dados.....	XIV
1.    Introdução.....	1
2.    Morfologia de Dunas Costeiras .....	3
2.1    Dunas Frontais.....	4
2.2    Dunas Parabólicas .....	5
2.3 <i>Blowouts</i> .....	6
2.4    Dunas Transgressivas .....	7
3.    Enquadramento da Área de Estudo .....	8
3.1    Enquadramento Geográfico.....	8
3.2    Enquadramento Geológico .....	10
3.3    Enquadramento Geomorfológico .....	12
4.    Trabalhos Anteriores .....	14
4.1    Dinâmica Dunar .....	14
4.2    Intervenções de Restauro e Recuperação Dunar .....	15
5.    Metodologias .....	19
5.1    Trabalho de Campo .....	19
5.1.1    Amostragem de Sedimentos .....	20
5.1.2    Levantamento de Perfis, Linhas Notáveis e Pontos de Controlo.....	22
5.1.3    Levantamento Aerofotogramétrico .....	25
5.2    Trabalho de Laboratório.....	26
5.2.1    Granulometria.....	26
5.2.2    Calcimetria e Descarboxinação .....	27
5.3    Processamento de Dados .....	28
5.3.1    Sedimentos .....	28

5.3.2	Vento .....	29
5.3.3	Cartografia de Ocupação do Solo.....	29
5.3.4	Levantamento Aerofotogramétrico, MDS, MDT e Variação Volumétrica.....	31
6.	Resultados e Discussão .....	33
6.1	Sedimentos .....	33
6.2	Vento .....	41
6.3	Coberto Vegetal, Morfologia e Morfodinâmica Dunar .....	44
6.3.1	Classificação da Superfície.....	44
6.3.2	Evolução do Coberto Vegetal.....	47
6.3.3	Evolução do Sopé da Duna da Crismina .....	65
6.4	Avaliação e validação de MDT e MDS.....	69
6.5	Balanco Volumétrico.....	74
7.	Conclusões .....	88
8.	Considerações Finais.....	90
9.	Referências Bibliográficas .....	93
10.	Anexos.....	97
	Anexo 1 - Legenda Litoestratigráfica .....	97
	Anexo 2 - Código Matlab construído para analisar o regime de ventos, total e por estações do ano. 98	
	Anexo 3 - Imagens obtidas com UAV na área de estudo .....	105
	Anexo 4 - Ortofotomapas utilizados .....	108
	Anexo 5 - Comparação entre perfis levantados no terreno e interpolados a partir de MDT .....	115
	Anexo 6 - Folheto de divulgação.....	130

## Índice de Figuras

Figura 2.1 - Diferentes tipos de dunas: a) barcanas, b) domos, c) parabólicas, d) transversais, e) lineares, f) blowouts. Adaptado de Lourenço (2012). .....	3
Figura 2.2 – Estágios morfoecológicos das dunas frontais. Adaptado de Hesp (1988, in Araújo, 2006). .....	5
Figura 2.3 - Variações morfológicas de dunas parabólicas: A) grampo, B) lobular, C) hemicíclica, D) digitada, E) nidiformes, F) cadeias transgressivas com dunas transversais secundárias, G) dunas em forma de “ancinho”. Fonte: Pye & Tsoar (1990, in Araújo, 2006). .....	6
Figura 2.4 - Diagrama esquemático sobre a formação de um blowout. Adaptado de Hesp (2004, in Silva, 2015).....	7
Figura 3.1 - Localização da área de estudo a) Portugal continental, b) no concelho de Cascais, Lisboa e o limite do Parque Natural Sintra-Cascais, c) Duna da Crismina, LMPMAVE e limite da área de estudo. Imagem de base disponibilizada pela ESRI. ....	8
Figura 3.2 - Localização do corredor dunar Guincho-Oitavos. Fonte: Rebêlo (2004).....	9
Figura 3.3 - Geologia do concelho de Cascais. Fonte: Ramalho et al. (2001). ....	10
Figura 3.4 - Geologia (simplificada) do concelho de Cascais. Fonte: Taborda et al. (2009). ....	10
Figura 3.5 - Duna da Crismina (1) e estruturas de deflação (2 e 3). Imagem de base disponibilizada pela ESRI. ....	13
Figura 5.1 - Pontos de amostragem. Imagem de base disponibilizada pela ESRI.....	21
Figura 5.2 – Linhas de sopé e de crista da duna da Crismina. Imagem de base disponibilizada pela ESRI. ....	22
Figura 5.3 - Perfis levantados na duna da Crismina. Imagem de base disponibilizada pela ESRI. ....	23
Figura 5.4 - Perfis levantados a norte e a sul da EN 247. Imagem de base disponibilizada pela ESRI. ....	23
Figura 5.5 - Pontos de controlo e perfil da EN 247. Imagem de base disponibilizada pela ESRI. ....	24
Figura 5.6 - Pontos de validação. Imagem de base disponibilizada pela ESRI.....	25
Figura 5.7 - Áreas distintas para cálculo de balanço sedimentar e área total comum ao MDT de 2008 e ao MDS de 2018. Imagem de base disponibilizada pela ESRI. ....	32
Figura 6.1 – Desvio-padrão em função do diâmetro médio. ....	35
Figura 6.2 - Assimetria em função da curtose. ....	35
Figura 6.3 - Curvas granulométricas das amostras de praia. ....	36
Figura 6.4 - Curvas granulométricas das amostras de duna. ....	37
Figura 6.5 - Curvas granulométricas do conjunto de amostras. ....	38
Figura 6.6 - Teor em carbonato de cálcio em função do diâmetro médio. ....	39
Figura 6.7 - Curvas granulométricas das amostras descarbonatadas e das respetivas iniciais. ....	40
Figura 6.8 – Distribuição direcional e da intensidade do vento obtida da série temporal 2005-2019... ..	41
Figura 6.9 - Rosas de vento para a série temporal 2005-2019 nas diferentes estações do ano. ....	42
Figura 6.10 – Mapa de tipologias de coberto vegetal utilizando classificações: a) não assistida e b) assistida. Imagem de base disponibilizada pela ESRI. ....	44
Figura 6.11 - Mapa de tipologias de coberto vegetal utilizando fotointerpretação. Imagem de base disponibilizada pela ESRI. ....	45
Figura 6.12 - Mapeamentos de a) 1999 e b) 2002. Imagem de base disponibilizada pela ESRI. ....	47
Figura 6.13 - Mapeamentos de a) 2002 e b) 2005. Imagem de base disponibilizada pela ESRI. ....	49
Figura 6.14 - Mapeamentos de a) 2005 e b) 2008. Imagem de base disponibilizada pela ESRI. ....	51
Figura 6.15 - Mapeamentos de a) 2008 e b) 2010. Imagem de base disponibilizada pela ESRI. ....	53
Figura 6.16 - Mapeamentos de a) 2010 e b) 2013. Imagem de base disponibilizada pela ESRI. ....	55
Figura 6.17 - Mapeamentos de a) 2013 e b) 2016. Imagem de base disponibilizada pela ESRI. ....	57
Figura 6.18 - Mapeamentos de a) 1999 e b) 2016. Imagem de base disponibilizada pela ESRI. ....	59

Figura 6.19 – Zona afetada pelo incêndio de outubro de 2018, a ponte da estrada das Areia; as estacas verdes são entubamentos de proteção a plantas re-introduzidas já depois do incêndio. Fotografia obtida em 28/01/2019.....	61
Figura 6.20 - Evolução da área ao longo dos anos de cada tipo de coberto. ....	62
Figura 6.21 - Evolução da área da duna da Crismina ao longo dos anos. ....	64
Figura 6.22 – Representação da linha do sopé da duna da Crismina em diferentes momentos: a negro a linha de base e o pente de perfis, numerados de 1 a 6, nos quais se efetuaram as medições. Imagem de base disponibilizada pela ESRI. ....	65
Figura 6.23 - Taxa de movimentação da duna da Crismina em função da sua área.....	67
Figura 6.24 - Pontos de validação do MDS de 2018.....	69
Figura 6.25 - Pontos Estrada. ....	70
Figura 6.26 - Pontos de Controlo. ....	70
Figura 6.27 - Balanço sedimentar para as áreas definidas. Imagem de base disponibilizada pela ESRI. ....	74
Figura 6.28 - Balanço sedimentar para a área total. Imagem de base disponibilizada pela ESRI.....	78
Figura 6.29 - Diferenças de elevação entre o MDT de 2008 e o MDS de 2018. Imagem de base disponibilizada pela ESRI. ....	79
Figura 6.30 – Localização dos perfis traçados na área DN sobre fragmento (ampliado) do mapa de diferenças de elevação. Imagem de base disponibilizada pela ESRI. ....	80
Figura 6.31 - Perfil longitudinal (W-E) da área DN.....	81
Figura 6.32 - Perfil transversal (N-S) da área DN.....	81
Figura 6.33 - Localização dos perfis traçados na área D sobre fragmento (ampliado) do mapa de diferenças de elevação. Imagem de base disponibilizada pela ESRI. ....	82
Figura 6.34 - Perfil longitudinal (W-E) da área D.....	82
Figura 6.35 - Perfil transversal (N-S) da área D.....	83
Figura 6.36 - Localização dos perfis traçados na área DC sobre fragmento (ampliado) do mapa de diferenças de elevação. Imagem de base disponibilizada pela ESRI. ....	84
Figura 6.37 - Perfil longitudinal (W-E) da área DC.....	84
Figura 6.38 - Perfil transversal (N-S) da área DC.....	85
Figura 6.39 - Localização dos perfis traçados na área DS sobre fragmento (ampliado) do mapa de diferenças de elevação. Imagem de base disponibilizada pela ESRI. ....	86
Figura 6.40 - Perfil longitudinal (W-E) da área DS. ....	86
Figura 6.41 - Perfil transversal (N-S) da área DS. ....	87
Figura 10.1 - Legenda litoestratigráfica da geologia do concelho de Cascais. Adaptado de Ramalho et al. (2001). ....	97
Figura 10.2 - Imagem RGB obtida com UAV (vôo 1a de 12 de setembro de 2018). Imagem de base disponibilizada pela ESRI. ....	105
Figura 10.3 - Imagem RGB obtida com UAV (vôo 1b de 12 de setembro de 2018). Imagem de base disponibilizada pela ESRI. ....	106
Figura 10.4 - Imagem RGB obtida com UAV (vôo de 3 de outubro de 2018). Imagem de base disponibilizada pela ESRI. ....	107
Figura 10.5 - Ortofotomapa 1999. Fonte: CMC.....	108
Figura 10.6 - Ortofotomapa 2002. Fonte: CMC.....	109
Figura 10.7 - Ortofotomapa 2005. Fonte: CMC.....	110
Figura 10.8 - Ortofotomapa 2008. Fonte: CMC.....	111
Figura 10.9 - Ortofotomapa 2010. Fonte: CMC.....	112
Figura 10.10 - Ortofotomapa 2013. Fonte: CMC.....	113
Figura 10.11 - Ortofotomapa 2016. Fonte: CMC.....	114

Figura 10.12 – Sopés e cristas da duna da Crimina. Imagem de base disponibilizada pela ESRI. ....	115
Figura 10.13 - Perfil BDuna1. GPS - dados medidos a 24 de maio de 2018; MDS de 3 de outubro de 2018.....	116
Figura 10.14 - Perfil BDuna2. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 3 de outubro de 2018.....	116
Figura 10.15 - Perfil CDuna1. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 3 de outubro de 2018.....	117
Figura 10.16 - Perfil CDuna2. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 3 de outubro de 2018.....	117
Figura 10.17 - Perfis a norte e a sul da EN 247. Imagem de base disponibilizada pela ESRI. ....	118
Figura 10.18 - Perfil PDN01. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 12 de setembro de 2018.....	119
Figura 10.19 - Perfil PDN02. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 12 de setembro de 2018.....	119
Figura 10.20 - Perfil PDN03. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 12 de setembro de 2018.....	120
Figura 10.21 - Perfil PDN04. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 12 de setembro de 2018.....	120
Figura 10.22 - Perfil PDN05. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 12 de setembro de 2018.....	121
Figura 10.23 - Perfil PDN06. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 12 de setembro de 2018.....	121
Figura 10.24 - Perfil PDN07. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 12 de setembro de 2018.....	122
Figura 10.25 - Perfil PDN08. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 12 de setembro de 2018.....	122
Figura 10.26 - Perfil PD01. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 12 de setembro de 2018.....	123
Figura 10.27 - Perfil PD02. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 12 de setembro de 2018.....	123
Figura 10.28 - Perfis na duna da Crismina. Imagem de base disponibilizada pela ESRI. ....	124
Figura 10.29 - Perfil PDS01. GPS - dados medidos a 3 de outubro de 2018; MDS de 3 de outubro de 2018.....	125
Figura 10.30 - Perfil PDS02. GPS - dados medidos a 3 de outubro de 2018; MDS de 3 de outubro de 2018.....	125
Figura 10.31 - Perfil PDS03. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 3 de outubro de 2018.....	126
Figura 10.32 - Perfil PDS04. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 3 de outubro de 2018.....	126
Figura 10.33 - Perfil PDS05. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 3 de outubro de 2018.....	127
Figura 10.34 - Perfil PDS06. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 3 de outubro de 2018.....	127
Figura 10.35 - Perfil PDS07. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 3 de outubro de 2018.....	128
Figura 10.36 - Perfil PDS08. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 3 de outubro de 2018.....	128

Figura 10.37 - Perfil PDS09. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 3 de outubro de 2018.....	129
Figura 10.38 - Perfil PDS10. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 3 de outubro de 2018.....	129

## Índice de Tabelas

Tabela 4.1 - Balanço volumétrico obtido por Rebêlo (2004).....	14
Tabela 4.2 - Balanço volumétrico obtido por Santos (2006).....	15
Tabela 4.3 - Balanço volumétrico obtido por Silva (2015).....	15
Tabela 5.1 - Datas e objetivos dos trabalhos de campo.....	19
Tabela 5.2 - Ortofotomapas utilizados e respectiva resolução.....	30
Tabela 6.1 - Parâmetros granulométricos e teor em CaCO <sub>3</sub> das areias estudadas.....	34
Tabela 6.2 – Classificação qualitativa das areias quanto à textura.....	34
Tabela 6.3 - Classificação do teor em carbonato de cálcio, segundo Baize (1988). ....	38
Tabela 6.4 – Parâmetros granulométricos da amostra integral e descarbonatada. ....	39
Tabela 6.5 - Frequências de ocorrência (em %) de vento entre 2005 e 2019, por octantes. ....	41
Tabela 6.6 - Frequências de ocorrência (em %) do vento, por octantes, para cada estação do ano (2005-2019).....	43
Tabela 6.7 - Áreas (em % da superfície total) ocupada por diferentes tipologias de coberto vegetal obtidas por diferentes métodos.....	45
Tabela 6.8 - Áreas (em % da superfície total) ocupada por cada tipologia considerada.....	47
Tabela 6.9 - Áreas (em % da superfície total) ocupada por cada tipologia considerada.....	49
Tabela 6.10 - Áreas (em % da superfície total) ocupada por cada tipologia considerada.....	51
Tabela 6.11 - Áreas (em % da superfície total) ocupada por cada tipologia considerada.....	53
Tabela 6.12 - Áreas (em % da superfície total) ocupada por cada tipologia considerada.....	55
Tabela 6.13 - Áreas (em % da superfície total) ocupada por cada tipologia considerada.....	57
Tabela 6.14 - Áreas (em % da superfície total) ocupada por cada tipologia considerada.....	59
Tabela 6.15 - Áreas (em % da superfície total) ocupada por cada tipologia considerada.....	62
Tabela 6.16 - Áreas (em ha) da duna da Crismina, em diferentes momentos.....	63
Tabela 6.17 - Distâncias entre a linha de base e a linha do sopé da duna da Crismina.....	66
Tabela 6.18 - Taxas de movimentação da duna da Crismina.....	66
Tabela 6.19 - Área da duna da Crismina nos diferentes anos e respectivas taxas de movimentação em relação a 1999.....	67
Tabela 6.20 - Erro e viés associado ao MDS de 2018, considerando pontos de validação medidos ao longo da zona de estudo.....	69
Tabela 6.21 – Erro e viés associado aos MDT de 2018 e MDS de 2018, considerando pontos de referência medidos na EN 247.....	71
Tabela 6.22 – Resultados da comparação de pontos e perfis medidos no campo com elementos homólogos interpolados do MDS de 2018. As estatísticas indicadas referem-se a valores de cota (m). ....	72
Tabela 6.23 - Balanço sedimentar 2008-2018 por áreas indicadas na Figura 6.26.....	75
Tabela 6.24 - Balanço sedimentar 2008-2018 para a área total indicada na Figura 6.27.....	78

## Lista de Abreviaturas

APA, I.P. – Agência Portuguesa do Ambiente;

CMC – Câmara Municipal de Cascais;

DEGGE – Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia da FCUL;

DGT – Direção Geral do Território;

DSAS – *Digital Shoreline Analysis System*;

EN 247 – Estrada Nacional 247;

ERSI – *Environmental Systems Research Institute*;

ETRS89/ PT-TM06 – *European Terrestrial Reference System 1989/ Portuguese Transverse Mercator Projection 2006*;

FCUL – Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

GNSS – *Global Navigation Satellite System*;

GPS-RTK – *Global Positioning System - Real Time Kinematic*;

LMPMAVE – Linha de Máxima de Praia Mar de Águas Vivas Equinociais;

MDS – Modelo Digital de Superfície;

MDT – Modelo Digital de Terreno;

NMM – Nível Médio do Mar;

NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration*;

PNSC – Parque Natural Sintra-Cascais;

RMS - Raiz da média dos quadrados;

SIG – Sistemas de Informação Geográfica.

## Lista de Símbolos

$M_Z$  – Diâmetro médio das partículas;

$\sigma_i$  – Desvio-padrão gráfico inclusivo;

$S_{Ki}$  – Assimetria gráfica inclusiva;

$K_Z$  – Curtose gráfica.

## Lista de Dados

<i>Dados</i>	<b>Fonte</b>
<i>Mapa de Base (Basemap)</i>	ESRI - DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community
<i>Ortofotomapas (1999, 2002, 2005, 2008, 2010, 2013 e 2016)</i>	Câmara Municipal de Cascais
<i>Dados de Vento</i>	National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)
<i>Levantamento aerofotogramétrico 2008</i>	Direção Geral do Território (DGT)
<i>Linha de Máxima de Praia Mar de Águas Vivas Equinociais (LMPMAVE)</i>	Agência Portuguesa do Ambiente (APA, I.P.)

# 1. Introdução

As dunas costeiras são corpos arenosos, construídos pelo vento, que se instalam na interface entre os ambientes litoral e terrestre, desempenhando funções importantes no sistema costeiro: comportam-se como barreiras naturais ao galgamento oceânico e à ação de vento do mar, funcionam como reserva sedimentar da praia durante episódios de tempestade e constituem aquíferos costeiros (Davis, 1978, Davis & Fitzgerald, 2004, Rato, 2017). Os ambientes dunares oferecem ainda uma grande diversidade ecológica ao nível das comunidades de plantas e animais capazes de colonizar e sobreviver neste ambiente particular.

A vegetação dunar, diversificada e bem conservada ao longo da duna frontal, desempenha um papel fundamental na estabilização das dunas, impedindo-as de avançar para o interior, invadindo e destruindo campos agrícolas e propriedades. Assim, torna-se cada vez mais necessária a implementação de medidas que promovam a proteção e recuperação das dunas, tal como a criação de sistemas de monitorização que permitam avaliar continuamente a resposta das mesmas aos agentes naturais e à atividade antrópica (Rato, 2017).

Um dos agentes erosivos e de transporte da geodinâmica externa da Terra e principal responsável pela formação e mobilidade das dunas é o vento. Este resulta do deslocamento de massas de ar devido a diferenças de pressão atmosférica entre duas zonas distintas, sendo influenciado por efeitos locais.

Por norma, o vento não se encontra confinado por fronteiras sólidas, sendo livre de se espalhar em todas as direções e representando um fluxo quase sempre turbulento. O desenvolvimento completo da turbulência depende de três fatores inerentes aos fluídos: densidade, velocidade e viscosidade. No caso do ar, a sua baixa densidade e viscosidade fazem com que este se comporte como um fluído turbulento, mesmo à velocidade de uma leve brisa, potenciando o transporte de pequenas partículas sólidas (Santos, 2006). A caracterização do vento baseia-se em duas grandezas: a sua velocidade e a sua direção. A velocidade do vento refere-se à velocidade de escoamento da massa de ar em relação ao solo e é geralmente parametrizada em termos de um valor médio, integrado na vertical e num intervalo de tempo de alguns minutos, ou explicitado em termos da velocidade média determinada a uma distância conhecida da superfície topográfica; a direção é referida através de um azimute no intervalo 0 - 360° relativamente ao norte e referido à direção para onde sopra (Rebêlo, 2004), ou de onde ele sopra.

O campo dunar Crismina-Guincho, incluído no Parque Natural Sintra-Cascais (PNSC), é uma parcela do complexo dunar Guincho-Oitavos, que se prolonga para sul até à região da Guia. As dunas da Crismina-Guincho constituem um sistema dunar transgressivo ativo, localizado na parte norte deste complexo, e extremamente instável devido à constante mobilização de partículas arenosas pela ação do vento. Além disso, estão sujeitas a uma intensa pressão antropogénica, que tem agravado significativamente o seu grau de perturbação e erosão.

A mobilização das areias e de corpos eólicos neste campo dependerá em primeiro lugar das características do vento (além da fonte de alimentação) e, por esta razão, interessa perceber o regime de ventos dominante naquela região, considerada no presente trabalho como área de estudo, e procurar relações entre o forçamento eólico e atributos direcionais preservados naquelas formas.

O campo dunar Crismina-Guincho foi já objeto de intervenção de estabilização e restauro que incluiu a instalação de estruturas de retenção (paliçadas) e introdução de vegetação, mas o desempenho destas intervenções (iniciadas em 2010) foi pouco avaliado. Por outro lado, a ocupação dos terrenos vizinhos do campo dunar por infraestruturas ligadas ao turismo, desporto e atividades de lazer, bem como o atravessamento do campo dunar pela estrada que liga Cascais à Serra de Sintra, gerou conflito com a mobilidade intrínseca das dunas e dos mantos de areia, podendo, paradoxalmente, ter sido responsável por episódios de ativação de transporte eólico que prejudicaram estas atividades. O Parque de Campismo da Orbitur e as instalações do Clube Dom Carlos, tal como o troço da estrada que margina pelo sul a praia do Guincho, são exemplos desta conflitualidade, que tem motivado preocupações das entidades que tutelam o Parque Natural Sintra-Cascais e o espaço costeiro.

Este contexto justifica a proposta de um estudo sobre a dinâmica sedimentar e morfológica deste campo de dunas à escala temporal decenal, compreendendo:

- a caracterização geológica, geomorfológica e morfodinâmica do sistema de dunas;
- a caracterização do regime de ventos e sua comparação com os indicadores de mobilidade do campo dunar;
- a determinação de compatibilidade textural entre sedimentos eólicos e das áreas-fonte (praias do Guincho e da Crismina);
- a investigação do posicionamento e áreas ocupadas por corpos não vegetados e vegetados, organizados sob a forma de dunas ou de mantos de areia, em diferentes momentos, ao longo do tempo;
- a avaliação do desempenho das intervenções de recuperação do sistema dunar Guincho-Crismina, levadas a cabo entre 2010 e 2016, e discussão de cenários/opções de intervenção futuras.

Como objetivos particulares, mas igualmente relevantes, procurou-se: (i) avaliar o intervalo de tempo remanescente até que a principal duna deste campo alcance o limite sul da área de intervenção, colocando em risco as ocupações a jusante, designadamente as do Clube Dom Carlos; (ii) elaborar um folheto de divulgação (Anexo 6) junto do grande público com o objetivo de sensibilizar a população relativamente ao caráter dinâmico das dunas e aos comportamentos a adotar para minimizar impactos sobre o sistema natural.

## 2. Morfologia de Dunas Costeiras

Neste capítulo são introduzidos tópicos relativos à morfologia de dunas costeiras, especificando-se mais detalhadamente as duas principais tipologias presentes na zona de estudo.

Tal como refere Hesp (1988), as dunas costeiras são acumulações eólicas de areia geradas pela deposição de sedimento transportado pelo vento sempre que existe interposição de um obstáculo ou diminuição da velocidade de atrito do vento. Para que existam dunas costeiras é necessária a existência de uma fonte sedimentar (em geral praias de areia localizadas a curta distância), e vento com a intensidade e direção adequadas à mobilização dos grãos de areia e transporte sólido eólico. Também Davis & Fitzgerald (2004) referem que os pré-requisitos fundamentais são disponibilidade de sedimentos e vento capaz de promover o transporte. Estes autores mencionam ainda que na maioria das áreas costeiras o vento não é tipicamente um fator limitante, mas o sedimento pode sê-lo.

A grande multiplicidade de formas adotadas pelas dunas reflete a diversidade dos processos envolvidos na sua formação. Os dois processos mais comuns na formação das dunas costeiras são a acumulação de material devido à existência de obstáculos e a acumulação de material na frente de avanço de uma duna em movimento (Santos, 2006).

A classificação de McKee (2004, *in* Sousa, 2010), baseada tanto na morfologia como nos aspetos dinâmicos, agrupa as dunas em dois tipos fundamentais: ativas e inativas. As dunas e sistemas dunares ativos constituem sistemas em que o movimento da areia e as transformações morfológicas são características permanentes e determinadas diretamente pela ação do vento; este grupo contém um conjunto bastante variado de formas, entre as quais se destacam as dunas barcanas, em domos, frontais, parabólicas, transversais, lineares e ainda corredores ou estruturas de deflação (*blowouts*) (Figura 2.1). Os sistemas dunares inativos (geralmente posicionados para o interior, em relação às dunas móveis) constituem depósitos eólicos integralmente fixados pela vegetação (nativa ou introduzida), que origina perda da sua mobilidade original, e cuja evolução geomorfológica já não depende diretamente da ação do vento.

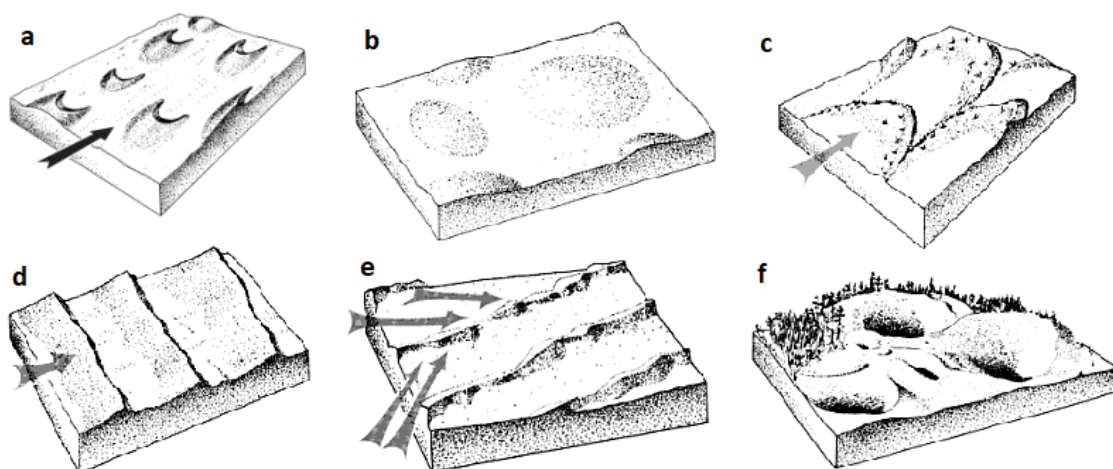


Figura 2.1 - Diferentes tipos de dunas: a) barcanas, b) domos, c) parabólicas, d) transversais, e) lineares, f) blowouts. Adaptado de Lourenço (2012).

A tipologia dunar é muito variada tanto no que diz respeito à forma como à dimensão. A forma e tamanho das dunas dependem, em primeira instância, do vento, único agente dinâmico responsável pelo transporte da areia. No entanto, também existem outros fatores que influenciam o tipo de dunas que se formam num determinado local e momento, tais como a humidade do solo (regulada pela posição do nível freático, pela precipitação e pela vegetação) e do ar, a vegetação, as ondas (principalmente durante as tempestades), a disponibilidade sedimentar e a composição e granulometria das partículas de areia (Sousa, 2010). Contudo, existe ainda um outro fator que altera a estabilidade dos sistemas dunares, contribuindo também para a sua morfologia: a forte pressão exercida sobre o litoral pelas atividades antropogénicas (Flor, 1990).

No caso em estudo, interessa especialmente entender como funcionam as dunas frontais e parabólicas, por serem as dominantes na área em estudo, bem como a relação entre estas duas últimas e os *blowouts* e as dunas transgressivas.

## 2.1 Dunas Frontais

Tal como Rebêlo & Brito (2004) referem, as dunas frontais são estruturas geológicas muito comuns na faixa costeira e estão, em geral, associadas a litorais arenosos em que existe uma parte emersa do perfil da praia (geralmente uma berma) que raramente é sujeita à ação do mar. A génese e evolução deste tipo de dunas deve-se à existência de transporte eólico da praia para o interior e à capacidade de retenção por parte da vegetação, que aprisiona o sedimento, originando, então, as dunas. Visto que a vegetação tem um papel fundamental na génese e manutenção das dunas, a sua ausência permite que o vento transporte areias para o interior, dando origem a diferentes tipos de dunas ou permitindo, nalguns casos, translação do corpo arenoso frontal para terra.

De acordo com Hesp (2002), as dunas frontais (*foredunes*) têm sido denominadas por uma grande variedade de termos: dunas embrionárias (*embryo dunes*), cristas de retenção (*retention ridges*), cristas de praia (*beach ridges*), cordões de dunas paralelas (*parallel dune ridges*) e dunas transversais (*transverse dunes*). Organizam-se num alinhamento que se desenvolve paralelamente à linha de costa, que se forma a partir do crescimento e coalescência lateral de montículos de areia acumulados por ação do vento na região da praia alta, sendo a retenção assegurada por tufo de vegetação. Constituem o tipo de dunas mais comum nas costas litorais. Ainda de acordo com Hesp (2002), as dunas frontais podem subdividir-se em incipientes (*incipient*) (também ditas embrionárias - *embryo*) e estabelecidas (*established*): as primeiras podem evoluir para as segundas pelo que em alguns casos não é fácil classificar as formas observadas numa ou noutra tipologia.

Neste trabalho adotou-se o conceito de Hesp (2002) para designar os corpos arenosos eólicos, em crescimento, que marginam a nascente a Praia do Guincho e da Crismina, independentemente do seu grau de desenvolvimento.

Hesp (1988) identificou cinco estágios morfoecológicos para as dunas frontais, como se pode observar na Figura 2.2 (Araújo, 2006):

- Estágio 1 – dunas simétricas, lateralmente contínuas e com cobertura vegetal uniforme e densa;
- Estágio 2 – dunas com 75-90% de cobertura vegetal e alguma variação morfológica lateral em relação à deposição e erosão, com alternância de formas convexas bem vegetadas e côncavas, indicando deflação, pouco ou nada vegetadas, mas pouco incisas;
- Estágio 3 – dunas com vegetação cobrindo 45-75% da superfície exibindo faces côncavas e bastante inclinadas, além de *blowouts* bem definidos;
- Estágio 4 – dunas apresentando feições erosivas (*blowouts*) em larga escala e mantos de areia;
- Estágio 5 – dunas pobremente vegetadas, com apenas alguns tufo de vegetação, fixando relevos residuais separando *blowouts* que ocupam a maior parte da superfície.

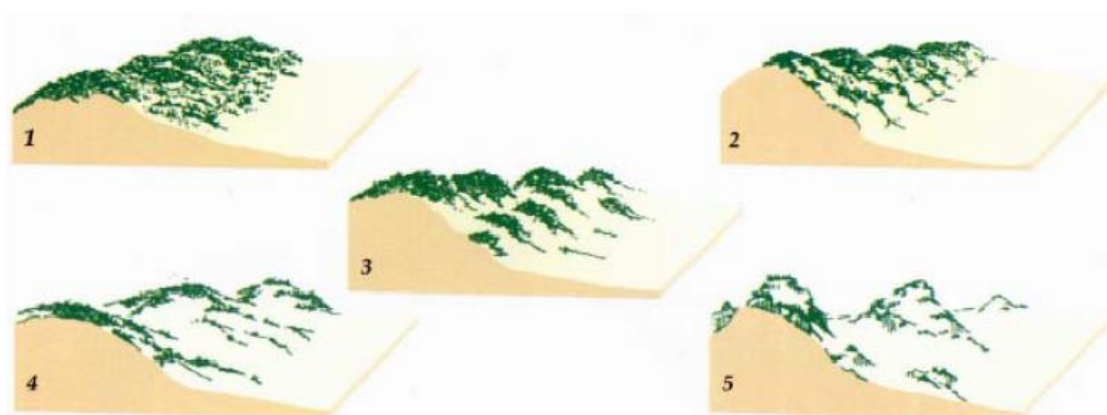


Figura 2.2 – Estágios morfoecológicos das dunas frontais. Adaptado de Hesp (1988, in Araújo, 2006).

## 2.2 Dunas Parabólicas

As dunas parabólicas são formas móveis, pelo menos nos estádios iniciais de desenvolvimento, e desenvolvem formas em “U” ou “V” com vértice apontado para sotavento.

Fernandez *et al.* (2017), Pye & Tsoar (2009) e Hesp (2002) indicam como mecanismo inicial do desenvolvimento de dunas parabólicas a formação de estruturas de deflação (*blowouts*) que cortam a continuidade de um cordão dunar vegetado. Estes cortes eólicos decorrem de rajadas de ventos, que removem ou matam parcialmente a cobertura vegetal (Hesp, 2002), de incêndios, pasto, galgamento ou outras causas que impliquem morte ou remoção de vegetação num local bem definido da duna frontal. Desta forma, os ventos passam a agir preferencialmente sobre áreas restritas desprovidas de vegetação, canalizando o transporte de sedimentos, promovendo um aumento da taxa de transporte para o tardo da duna (Anderson & Walker, 2006) e originando migração de um lobo para terra, que se prolonga e liga lateralmente ao edifício linear através de braços, ainda vegetados. Se a alimentação sedimentar a partir da praia não for suficiente, o lobo em progradação alimenta-se preferencialmente do sedimento do corredor eólico e mais cedo ou mais tarde destaca-se completamente do cordão inicial, formando uma duna parabólica. A mobilidade destas dunas depende da capacidade de recolonização da vegetação.

A morfologia deste tipo de dunas pode apresentar padrões diferenciados em função da variação da cobertura vegetal e da intensidade do regime de ventos (Pye & Tsoar, 2009 in Fernandez *et al.*, 2017). Na Figura 2.3 pode-se observar diferentes morfologias de dunas parabólicas: A e B são formas simples, C, D e E são formas compostas e F e G são formas combinadas.

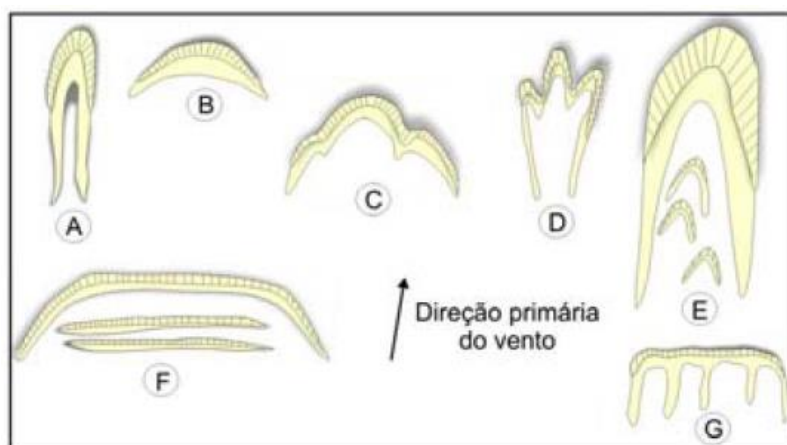


Figura 2.3 - Variações morfológicas de dunas parabólicas: A) grampo, B) lobular, C) hemicíclica, D) digitada, E) nidiformes, F) cadeias transgressivas com dunas transversais secundárias, G) dunas em forma de "ancinho". Fonte: Pye & Tsoar (1990, in Araújo, 2006).

## 2.3 Blowouts

Os *blowouts* (estruturas de deflação) são formas originadas por deflação localizada de corpos dunares por ventos moderados/fortes, normalmente localizados em regiões não vegetadas (i.e., atapeados por areia solta). Este tipo de formas inclui um corredor com morfologia variada (correspondente a erosão) e um corpo adjacente, a sotavento, onde se acumulam as areias removidas do corredor erosivo. Podem ser consequência de causas naturais (mudanças climáticas, fogos, pisoteio/ toca de animais, etc) ou causas antrópicas (criação de caminhos/ trilhos pedestres/veículos, construções, extrações de areia, pastagem, etc). Uma vez instalados, os *blowouts* expandem-se em profundidade e superfície, aliados. Nestas superfícies pode haver acumulação de material mais grosseiro (depósitos residuais), atapeando o corredor de deflação (Hesp, 1999) (Figura 2.4).

Este tipo de morfologia dunar é transgressivo, os sedimentos migram para o interior, o que corta a continuidade lateral de cristas dunares frontais porque gera um corte na continuidade lateral do edifício e o lobo em acreção a sotavento acumula e transporta sedimentos para terra (Rebêlo, 1995 in Silva, 2015).

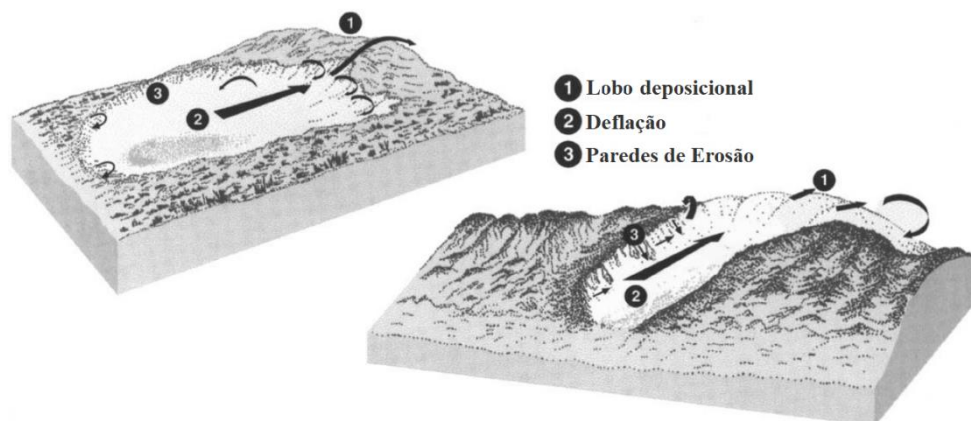


Figura 2.4 - Diagrama esquemático sobre a formação de um blowout. Adaptado de Hesp (2004, in Silva, 2015).

## 2.4 Dunas Transgressivas

No caso das dunas transgressivas, existem grandes depósitos eólicos de areia em movimento, geralmente para terra ou ao longo da costa, sobre terrenos vegetados ou semi-vegetados. Estas, enquanto corpos intrinsecamente móveis, são providos de uma vertente barlavento (menos inclinada, com vegetação ausente ou rara e bacias de deflação/séries de depressões) e outra sotavento (mais inclinada, tipicamente com valores próximos do ângulo de atrito interno da areia e móvel, mesmo que parcialmente vegetado), sendo a primeira preferencialmente sede de erosão e a segunda de acumulação.

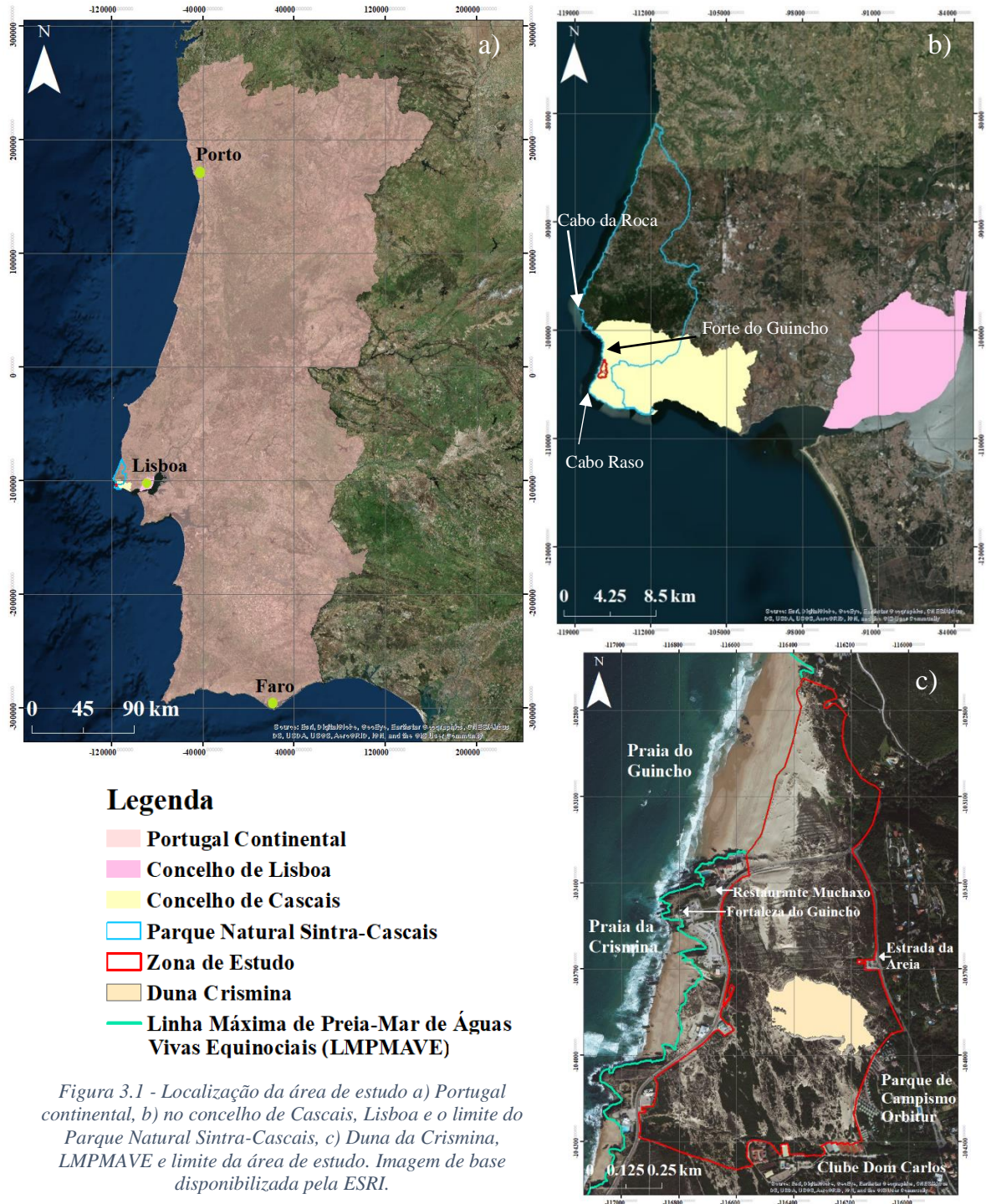
A progradação é um mecanismo de reciclagem de grãos de areia, removidos pelo vento da superfície barlavento. Uma vez alcançada a crista, precipitam a favor da gravidade sobre o talude sotavento, onde se depositam para formar uma lâmina de areia. A repetição destes processos permite que a duna se desloque, mantendo o volume e a forma, sem que haja fontes sedimentares externas.

### 3. Enquadramento da Área de Estudo

Neste capítulo identificam-se e classificam-se os principais aspetos geológicos e geomorfológicos da área de estudo.

#### 3.1 Enquadramento Geográfico

A área em estudo enquadra-se na faixa costeira ocidental do concelho de Cascais e localiza-se a cerca de 30 km a oeste de Lisboa, entre a vertente sul da Serra de Sintra e o cabo Raso (Figura 3.1).



Está integrada em área do Parque Natural Sintra-Cascais (PNSC), área protegida criada em 1981 (Decreto Lei 292/81 de 15 de outubro) e designada à época como Paisagem Protegida de Sintra-Cascais (Figura 3.1). O Parque Natural abrange uma área de cerca de 145 km<sup>2</sup>, da qual cerca de 113 km<sup>2</sup> (78%) pertence ao concelho de Sintra e 32 km<sup>2</sup> (22%) ao de Cascais.

O conjunto de dunas aqui designado por sistema dunar do Guincho-Oitavos ocorre ao longo de uma faixa de terreno alongada, com orientação NNW-SSE, com aproximadamente 4 km de comprimento por 750 m de largura (Figura 3.2). Devido à sua forma alongada e retilínea, ao conteúdo morfológico e sedimentar e relevância na transposição sedimentar do cabo Raso, designa-se por corredor dunar do Guincho-Guia.

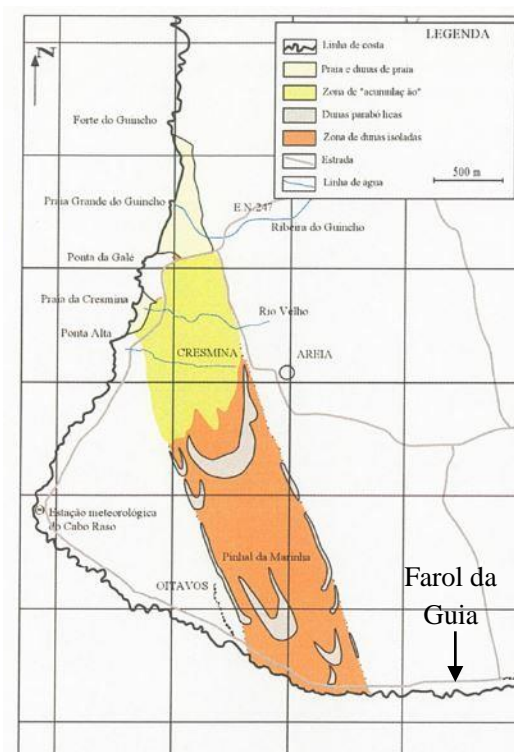


Figura 3.2 - Localização do corredor dunar Guincho-Oitavos. Fonte: Rebêlo (2004).

O corredor dunar inicia-se nas praias do Guincho e da Crismina, a norte, e estende-se até à escarpa de erosão marinha entre Oitavos e o farol da Guia, a sul, como se pode observar na Figura 3.2. A área de estudo compreende a parte norte deste corredor. Daqui, destaca-se a particularidade deste sistema dunar em que a areia proveniente das praias do Guincho e da Crismina retornava ao mar mais a sul (entre os Oitavos e a Guia), após migrar sobre a plataforma rochosa do cabo Raso.

A principal diferença entre a região norte e sul do corredor eólico é a extensão e densidade da ocupação antrópica, muito relevante a sul (e associada ao desenvolvimentos da Quinta da Marinha), havendo também maior densidade de vegetação.

A área de estudo tem uma superfície de cerca de 0.8 km<sup>2</sup> e é limitada a poente pela linha de preia-mar de águas vivas equinociais (Figura 3.1 c)). A nascente e nordeste, optou-se por traçar um limite irregular, que marca a transição entre areias eólicas com nenhuma ou pouca vegetação e o substrato rochoso, ou com dunas completamente fixadas e ocupadas. A sul, o limite corresponde ao caminho que margina o Clube Dom Carlos pelo sul, ligando a estrada asfaltada (de acesso à povoação de Areias) à praia.

### 3.2 Enquadramento Geológico

Para o enquadramento geológico da zona em estudo, recorreu-se à folha 34-C da Carta Geológica de Portugal, à escala de 1:50000, publicada pelos Serviços Geológicos de Portugal (Ramalho *et al.*, 2001) (Figura 3.3 – legenda litoestratigráfica no Anexo 1 – Figura 10.1) e à descrição sumária em Taborda *et al.* (2009) (Figura 3.4).

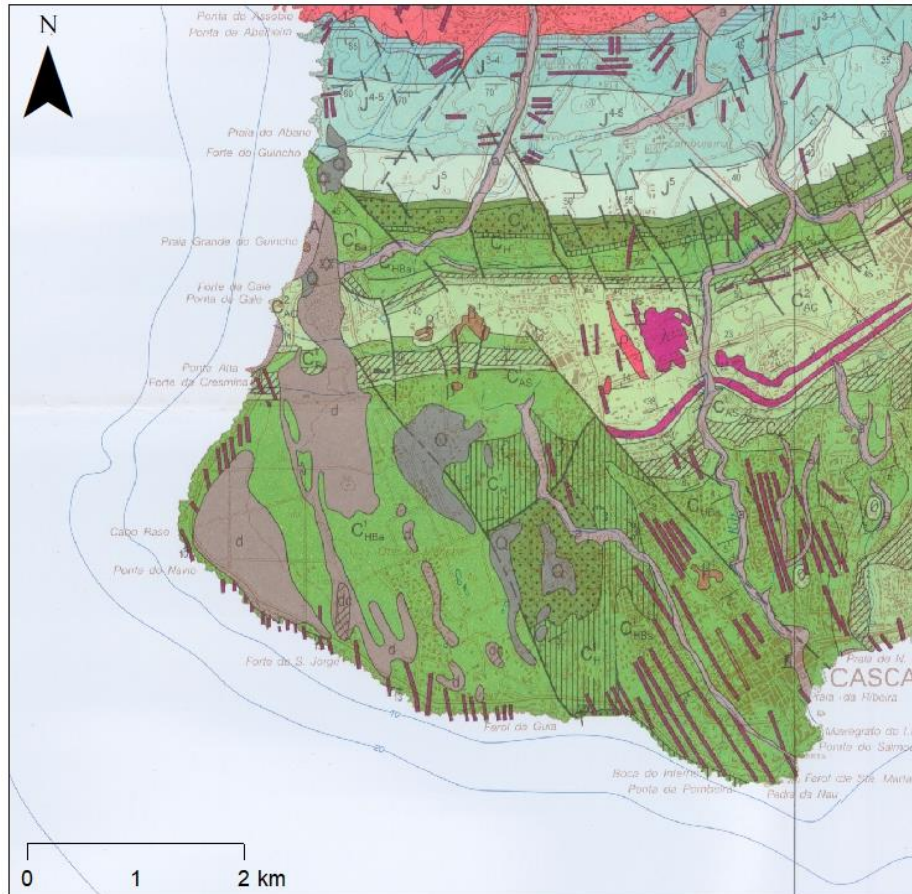


Figura 3.3 - Geologia do concelho de Cascais. Fonte: Ramalho *et al.* (2001).

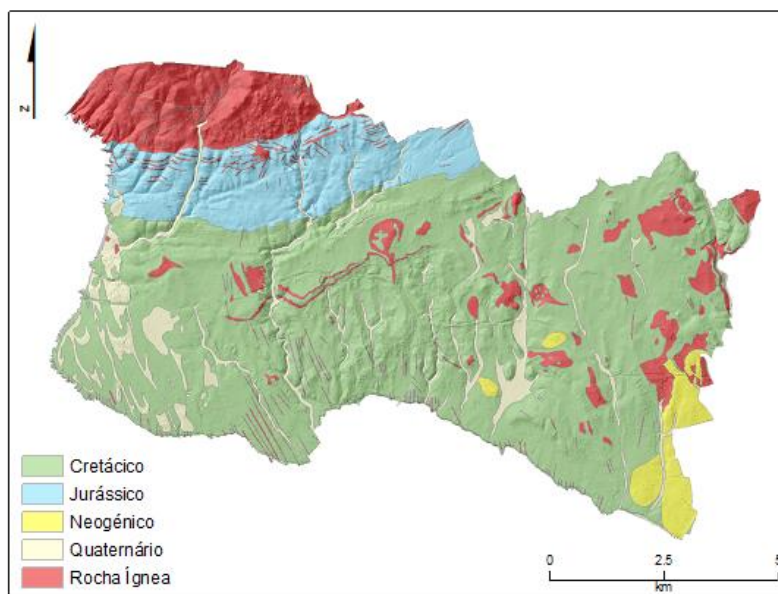


Figura 3.4 - Geologia (simplificada) do concelho de Cascais. Fonte: Taborda *et al.* (2009).

Tal como é referido por Ramalho *et al.* (2001), o substrato rochoso da área de estudo pertence essencialmente ao Cretácico e inclui camadas essencialmente calcárias, mas também margosas e detríticas, com idades compreendidas entre o Barremiano superior e o Albiano, dobradas em sinclinal e compartimentadas por falhas muito inclinadas. Este substrato, que se prolonga para sul essencialmente através de camadas calcárias, incluindo recifais, menos inclinadas, terá sido erguido, dobrado e fraturado em associação com a instalação do maciço de Sintra; foi depois erodido e arrasado por abrasão marinha provavelmente no final do Pliocénico ou Plistocénico, dando origem a uma plataforma litoral que se desenvolve desde a cota a 80 m, a nascente, e desce suavemente para o oceano em direção ao Cabo Raso.

O sistema de falhas e filões presentes nas imediações da zona de estudo pertencem ao Complexo Anelar Subvulcânico de Sintra. As falhas presentes nas imediações da área de interesse têm orientação NW-SE, atitude vertical, e respeitam principalmente a desligamentos direitos (Ribeiro & Ramalho, 1997). Tal como Leal (2009) indica, o corte da praia do Guincho mostra uma estrutura sinclinal e a meio da praia, no domínio entre marés, mas sem relação aparente com a estrutura sinclinal, ocorre uma chaminé vulcânica brechóide.

### 3.3 Enquadramento Geomorfológico

A norte da área de estudo, o maciço de Sintra forma um relevo imponente produzido por erosão diferencial de um pequeno corpo intrusivo de rochas ígneas que se articula com a plataforma litoral referida acima (Plataforma de Cascais), através de um conjunto de vertentes mais inclinadas, envolvidas pelo limite norte do concelho de Cascais. Em tempos mais recentes esta plataforma foi re-entalhada pela rede hidrográfica e sujeita a carsificação profunda, pelo que a superfície topográfica sobre a qual se instalaram as dunas atuais é fortemente irregular quando observada a uma escala espacial detalhada.

Para sul e oeste, a Plataforma de Cascais confina com o mar por meio de litoral rochoso, talhado em arribas de bordo recortado a favor dos acidentes tectónicos e de massas filoneanas ou camadas mais resistentes à erosão (Rebêlo, 2004). A fachada poente apresenta orientação geral N-S e desenvolve-se ao longo de aproximadamente 5 km, entre o limite norte do concelho de Cascais e o Cabo Raso (Taborda *et al.*, 2009). A plataforma litoral é limitada por dois setores de arriba, com orientação NNE-SSW a norte e WNW-ESSE e W-E a sul, sendo que os dois setores convergem no Cabo Raso.

A parte norte da plataforma é entalhada por três ribeiras: a Ribeira do Guincho, que desagua na praia do Guincho, a Ribeira do Velho, que desagua na praia da Crismina e uma outra ribeira (sem designação) que desagua a sul do forte da Crismina (Rebêlo, 2004). Durante a maior parte do ano as duas primeiras ribeiras não apresentam qualquer caudal superficial, com a parte terminal do curso de água afogada por areias de duna.

O corredor eólico desenvolve-se sobre o flanco oeste da plataforma de Cascais e as formas eólicas que o povoam apresentam intensa variabilidade morfológica e do coberto vegetal.

O campo dunar do Guincho-Crismina estudado apresenta grande variabilidade morfológica: edifícios de areia eólica não vegetada que ocupam cerca de 18% da superfície da área de estudo, corpos arenosos cobertos por vegetação arbórea, ocupando cerca de 25%, e corpos arenosos cobertos vegetação herbácea/arbustiva, que englobam cerca de 56%. O restante 1% pertence a ocupações antropogénicas. Neste campo dunar existe proliferação de pequenos relevos dunares, vegetados, que são origem de uma morfologia amontoada (*hummocky*), construída pela multiplicação de *nebkas* (dunas de sombra) e numerosas estruturas de deflação, que sobressaem de mantos de areia eólica parcial ou totalmente vegetados.

Deste campo sobressai, ainda, a duna da Crismina (Figura 3.5 – 1), uma duna transgressiva com cerca de 52 m de cota máxima e perfil característico em triângulo escaleno, provida de mobilidade e apenas escassamente vegetada, e outros dois corpos arenosos que correspondem a estruturas de deflação alongadas e de maior envergadura do que as que povoam o resto do areal, providas de lobos de acreção a sotavento: uma localiza-se a sul do Forte do Guincho (Figura 3.5 – 2) e outra a nascente da área de estudo, com o lobo acrecionário adjacente à estrada junto ao parque de campismo Orbitur (Figura 3.5 – 3).

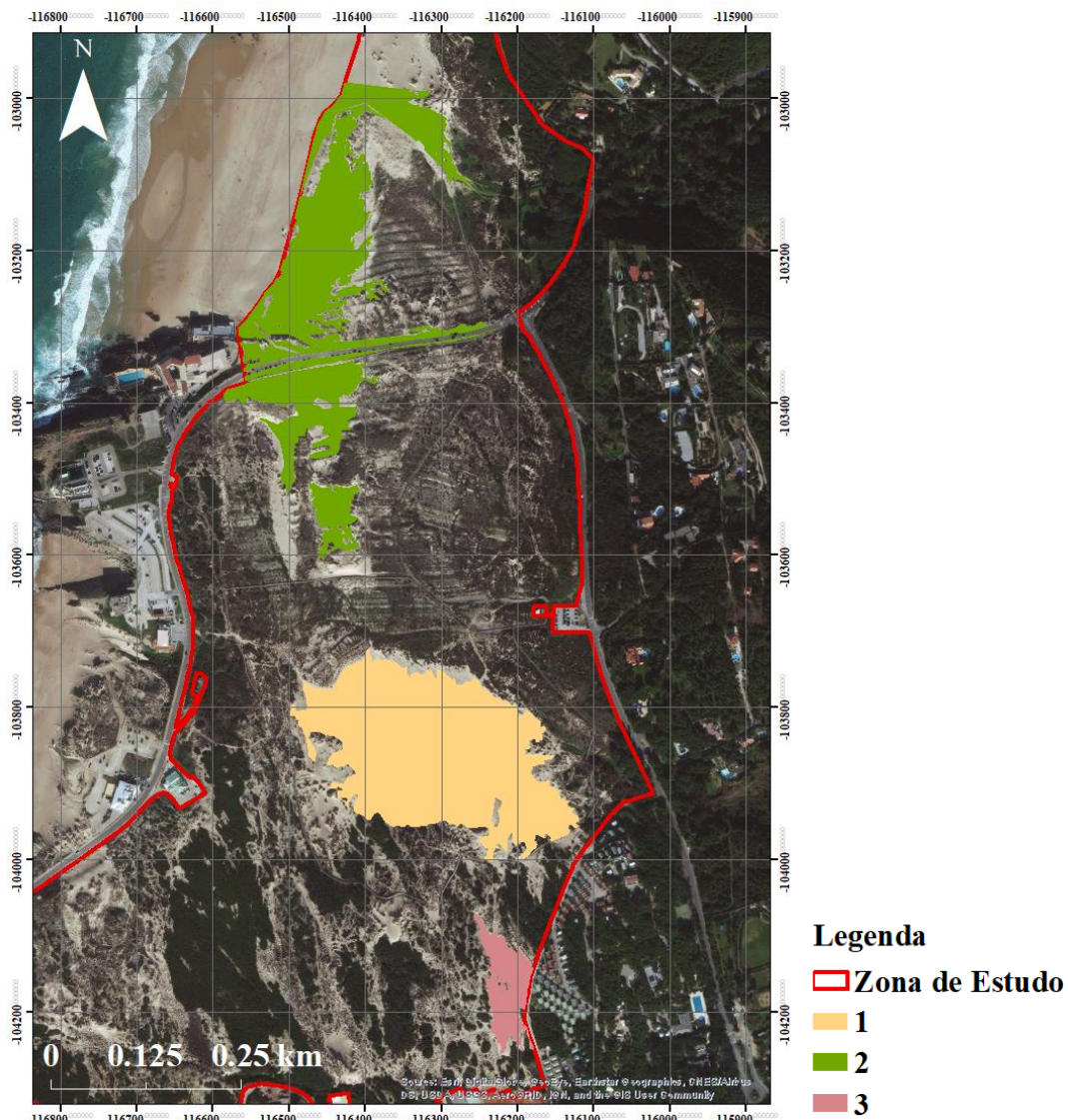


Figura 3.5 - Duna da Crismina (1) e estruturas de deflação (2 e 3). Imagem de base disponibilizada pela ESRI.

Das observações de terreno e comparação de fotografias aéreas, os padrões de transferência de areia eólica na área de estudo são suscetíveis de agrupamento em dois tipos essenciais: (i) um, que afeta essencialmente a duna da Crismina, aqui designado por adveção, envolve uma duna bem definida, com pouca ou nenhuma vegetação onde se observa que o corpo eólico mantém coerência e forma ao longo do tempo apesar de estar em movimento, sendo que o volume e a área por ele ocupadas não são necessariamente invariantes; (ii) outro, que afeta o campo amontoado, aqui designado por difusão – onde os edifícios eólicos são pequenos e vegetados, amontoados, com pouca envergadura, alternando no espaço com depressões côncavas para cima, vegetadas ou povoadas por areia nua; ao longo do tempo esses edifícios ou pequenos côncavos podem ser temporariamente reativados (formando localmente pequenas dunas de sombra – *nebkas*, ou *blowouts*, sempre de pequena dimensão), cuja evolução é impedida sistematicamente, embora temporariamente, pelo crescimento da vegetação. Trata-se assim de um processo intermitente mas que afeta em momentos diferentes praticamente toda a superfície arenosa amontoada. Existe assim transporte sólido de areias pelo vento, mas não há formação de grandes corpos. Um terceiro tipo de transporte e organização morfológica é intermédio entre os dois anteriores e afeta os dois *blowouts* acima referidos.

## 4. Trabalhos Anteriores

Como referido anteriormente, o campo dunar Crismina-Guincho foi já objeto de estudo e de intervenção de estabilização e restauro. Nesta seção apresenta-se um sumário dos resultados obtidos naqueles estudos, assim como das intervenções realizadas.

### 4.1 Dinâmica Dunar

Rebêlo (2004), Santos (2006) e Silva (2015) são autores que já tomaram o campo dunar Crismina-Guincho, ou uma parcela do mesmo, como área de estudo do ponto de vista científico.

Rebêlo (2004) propôs um modelo de evolução para o sistema dunar do Guincho-Oitavos e nele enquadrou a duna da Crismina; à época não se conhecia a magnitude do transporte sólido (real e potencial) que afetava aquela duna nem a sua velocidade de progressão ao longo do corredor dunar. Assim, naquele estudo desenvolveu-se e aplicou-se uma metodologia de monitorização do transporte sólido na duna da Crismina, recorrendo a levantamentos sistemáticos de alta resolução da superfície topográfica em diferentes momentos, e a medição objetiva do deslocamento da frente da duna, para além de instalação de armadilhas eólicas e de fiadas de anemómetros. Os trabalhos desenvolveram-se durante cerca de 3 anos (2000 a 2002) e concentraram-se numa área de teste, dada a impossibilidade de tratar a totalidade da superfície com aquela metodologia e manter, simultaneamente, elevada resolução espaço-temporal. Os resultados obtidos para o balanço erosão/acreção encontra-se expresso na Tabela 4.1. Outro objetivo foi o de caracterizar o regime de ventos sinóptico dos trabalhos de terreno, e os resultados indicaram a dominância dos ventos dos quadrantes N e NW, em congruência com as modificações morfológicas e o sentido de deslocamento observados.

Tabela 4.1 - Balanço volumétrico obtido por Rebêlo (2004).

Balanço	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
Acreção (Ganhos)	2.1x10 <sup>4</sup>	2.8x10 <sup>4</sup>
Erosão (Perdas)	8.9x10 <sup>3</sup>	3.1x10 <sup>3</sup>
Balanço (Volume Ac-Er)	2.5x10 <sup>4</sup>	

A análise feita por Rebêlo (2004) sobre a progressão da frente da duna (que globalmente se efetuou para sul) indica velocidades médias variáveis entre 22.2 m.ano<sup>-1</sup>, no setor oeste da frente de precipitação, e 0.72 m.ano<sup>-1</sup>, no setor leste. Este resultado sugere que a seção poente da duna avançou mais rapidamente que a restante seção. Destes trabalhos resultou uma estimativa de entrada de areia na duna da Crismina na ordem dos 40 a 42 m<sup>3</sup>.m<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Através da análise das equações de transporte sólido eólico, obteve-se um transporte potencial de vento resultante na ordem de 21 m<sup>3</sup>.m<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.

Para Santos (2006), o principal objetivo foi caracterizar e quantificar o transporte eólico global no campo dunar, desde a zona imediatamente a sul da EN 247 (onde esta adota traçado E-W), tomada neste trabalho como fronteira de entrada de areias eólicas, até à duna da Crismina. Os dados de base são de natureza morfológica, foram tratados recorrendo a ferramentas SIG (Sistemas de Informação Geográfica) e exprimem-se sob a forma de valores de acreção e de erosão, assim como de balanço. O intervalo temporal analisado medeia entre 1974 e 1990 (16 anos). Os resultados estão expressos na Tabela 4.2. Este autor obteve uma taxa de transporte sólido, para o intervalo analisado, de 44.9 m<sup>3</sup>.m<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.

Tabela 4.2 - Balanço volumétrico obtido por Santos (2006).

<b>Balanço</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>
<i>Acreção (Ganhos)</i>	1.1x10 <sup>5</sup>	2.8x10 <sup>5</sup>
<i>Erosão (Perdas)</i>	5.6x10 <sup>4</sup>	1.3x10 <sup>5</sup>
<i>Balanço (Volume Ac-Er)</i>	1.5x10 <sup>5</sup>	

No trabalho de Silva (2015), pretendeu-se compreender a evolução do troço a norte da EN 247 do sistema dunar, através da quantificação das mudanças ocorridas na sua superfície, com o intuito de estimar o seu desenvolvimento futuro e sugerir medidas de gestão sustentável. O objetivo principal foi estimar quanto tempo decorrerá até que o desenvolvimento natural do sistema dunar adjacente aquela praia se torne incompatível com a circulação na EN 247, de forma a sensibilizar para a necessidade emergente da gestão deste troço costeiro, que encerra numerosos recursos e potencialidades. O intervalo temporal analisado foi de 3 anos (2011 a 2014). Os resultados obtidos para a quantificação de acreção e erosão estão expressos na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Balanço volumétrico obtido por Silva (2015).

<b>Balanço</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>
<i>Acreção (Ganhos)</i>	5.5x10 <sup>4</sup>	3.8x10 <sup>4</sup>
<i>Erosão (Perdas)</i>	9.3x10 <sup>3</sup>	6.1x10 <sup>3</sup>
<i>Balanço (Volume Ac-Er)</i>	3.2x10 <sup>4</sup>	

Os intervalos de tempo analisados por cada um dos autores acima referidos são diferentes, tal como os métodos e a dimensão do domínio estudado, o que dificulta a comparação entre estes. Santos (2006), que analisa a zona imediatamente a sul da EN 247 até à duna da Crismina, obteve uma taxa de transporte sólido de cerca de 45 m<sup>3</sup>.m<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, no intervalo temporal de 1974 a 1990. Já Rebêlo (2004), entre 2000 e 2002, obteve uma estimativa de entrada de areia na duna da Crismina de cerca de 42 m<sup>3</sup>.m<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, indicando que a taxa de transporte sólido se manteve semelhante ao obtido para os anos anteriores. Estes resultados, assim como os obtidos por Silva (2015), são confrontados com os obtidos nesta dissertação, como descrito adiante.

## 4.2 Intervenções de Restauro e Recuperação Dunar

O sistema dunar do Guincho-Oitavos é extremamente importante para o património nacional natural. No entanto, a atividade antrópica tem vindo a provocar alterações no seu processo de evolução contribuindo para a sua destabilização. Por outro lado, a existência de ocupações como a do Parque da Orbitur e do Clube Dom Carlos, localizados a sotavento de formas eólicas em movimento, ou ainda de troços da EN 247, que repetidamente são afetadas pelo transporte de areias, mesmo que não organizado sob a forma de dunas, constitui motivo de preocupação para as entidades que as exploram.

Neste contexto, foi considerado conveniente pelas entidades com responsabilidade nesta área protegida iniciar intervenções de restauro e recuperação dunar e também de contenção do avanço das areias.

O projeto de recuperação do sistema dunar Guincho-Crismina foi promovido pelas Cascais Natura (hoje Cascais Ambiente), Agência do Ambiente da Câmara Municipal de Cascais e o ex-Instituto da Conservação da Natureza e da Biodiversidade (ICNB, hoje ICNF – Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas). Foi desenvolvido sob a designação “Rede de Visitação e de Interpretação do Parque Natural de Sintra-Cascais”, no âmbito do domínio “Gestão Ativa de Espaços Protegidos e Classificados – Aviso 1” do Programa Operacional Regional de Lisboa (POR Lisboa). Este projeto decorre do estabelecido no Plano de Ordenamento da Orla Costeira Sintra-Sado (Resolução do Conselho de Ministros nº 86/2003, de 25 de junho), para a Unidade Operativa de Planeamento e Gestão 8 (UOPG 8) – UOPG 8 Troço de costa Guincho-Guia.

Para a recuperação do cordão dunar e estabelecimento do coberto vegetal no complexo dunar Guincho-Oitavos foram desenvolvidas várias ações, realizadas entre 2010 e 2016, enumeradas em relatório desta agência municipal (Cascais Ambiente, 2016).

Estas ações tornaram-se necessárias devido a um conjunto de fatores que conduziram à degradação das formas e da vegetação ou exercem impacto negativo no equilíbrio dunar, tais como: usos e ocupações consolidados desde há várias décadas, tal como a EN 247, construções como a do restaurante Muchaxo e estruturas de apoio a ele associadas, introdução sem critério de barreiras artificiais ao escoamento eólico (p.ex. restaurantes), sem atender aos impactos na mobilidade das dunas a sotavento, o pisoteio das dunas e as extrações de areia.

De acordo com a Memória Descritiva e Relatório, as ações implementadas foram:

- Condicionamento de acessos e controlo de pisoteio:
  - Consistiu na limitação dos acessos ao sistema dunar através da vedação da área de intervenção e colocação de portões. Este condicionamento pretendeu reger o acesso e visitação ao local, com vista a eliminar o excessivo pisoteio e a circulação de veículos e animais (nomeadamente cavalos) que provocam alterações profundas na dinâmica do sistema;
- Controlo e erradicação de espécies exóticas invasoras:
  - Esta ação pretendeu erradicar da área de intervenção espécies introduzidas e consideradas invasoras, de acordo com o Decreto Lei 565/99 de 21 de dezembro, como é o caso de *Acacia* spp. (acácia), *Hakea salicifolia* (háquea-folhas-de-salgueiro), *Carpobrotus edulis* (chorão das praias) e *Cortaderia selloana* (cortadeira);

- Reconstrução da duna embrionária com instalação de estruturas biofísicas:
  - Os métodos construtivos de Engenharia Natural implementados no sistema Crismina-Guincho pretenderam promover a acumulação de areia de forma a que a vegetação espontânea se instalasse e assumisse as suas funções de proteção e estabilização do cordão dunar.
  - Esta ação consistiu na colocação de estruturas biofísicas lineares, perpendicularmente ao regime predominante dos ventos, a montante da zona de acumulação eólica adjacente à praia (face barlavento da duna primária) com vista à retenção e consolidação de areias. São estruturas construídas em diversos tipos de materiais (e.g. madeira, vime, cana, rede de ensombramento), designadas usualmente por regeneradores dunares ou paliçadas e que apresentam resultados satisfatórios no auxílio do restabelecimento da vegetação dunar (Gallego Fernández *et al.*, 2003; Brooks & Agate, 2005; Lobato Gómez, 2007).
  
- Plantação de espécies herbáceas vivazes:
  - Esta ação permitiu acelerar o processo de formação e estabilização dunar. A vegetação introduzida promoveu a fixação das areias e consolidação das dunas. As espécies utilizadas estão adaptadas às condições biofísicas do local e aos ventos fortes, carregados de sais, sendo *Elytrigia juncea* subsp. *boreatlantica* (= *Elymus farctus* subsp. *boreoatlanticus*) (feno-das-areias) plantada nas dunas embrionárias e base do cordão dunar frontal e *Ammophila arenaria* subsp. *arundinacea* (estorno) e *Eryngium maritimum* (cardo-marítimo) no topo da duna primária. Ambas as espécies graminóides (estorno e feno-das-areias) são relevantes no processo de acumulação de areias pelo fato de serem vivazes e apresentarem um sistema radicular bem desenvolvido, colonizando rapidamente estes ecossistemas.
  - Esta ação pretendeu assim acelerar e auxiliar o processo natural de constituição de um sistema dunar iniciando-se a colonização da praia alta pela gramínea *Elytrigia juncea* ssp. *boreatlantica*, que se estabeleceu a partir do limite superior do nível de maré-alta de águas vivas. O estabelecimento desta espécie funciona como primeiro obstáculo ao vento que, na passagem, é “travado” e a sua carga de areia aí depositada. Forma-se assim gradualmente uma elevação cujo crescimento em altura depende essencialmente do desenvolvimento, crescimento e multiplicação da vegetação, assistindo-se no topo da duna à colonização por *Ammophila arenaria* ssp. *arundinacea*. Os tufos de *Ammophila* que surgirão na parte final da duna embrionária vão dar origem a pequenos montículos de areia, propícios para o estabelecimento de outra vegetação natural, como *Lotus creticus* (cornichão das areias), *Eryngium maritimum* (cardo marítimo), *Pancratium maritimum* (lírio das praias), *Otanthus maritimus* (cordeiros da praia) e *Artemisia crithmifolia* (artemísia comum). O estrato arbustivo de *Juniperus turbinata* (sabina-da-praia) será beneficiado em zonas onde se observa dominância de *Pinus pinaster* (pinheiro-bravo).

- Implantação de percursos interpretativos:
  - Esta ação consistiu na instalação de passadiços leves e permeáveis, construídos em madeira, assentes em estacas e sobre-elevados, o que permite a travessia do sistema dunar sem interferir com as formas eólicas. A implantação de um circuito fechado pedonal, sob a forma de passadiço sobrelevado, permite evitar o intenso pisoteio das dunas que provoca a destruição da vegetação desequilibrando o sistema dunar. O percurso atual tem 3 entradas correspondentes aos acessos definidos no Plano de Ordenamento de Orla Costeira (UOPG8, 2008).
  
- Instalação de Núcleo Interpretativo e Aquisição de mobiliário e sinalética:
  - Esta ação consistiu na construção de um edifício que alberga o núcleo de interpretação com uma área expositiva, zona de apoio técnico e cafetaria. Implicou ainda a colocação de sinalética, bancos e papeleiras ao longo do percurso de forma a apoiar a visita, bem como de painéis interpretativos do sistema ecológico Crismina-Guincho.

Após a conclusão dos trabalhos, iniciados pela Cascais Ambiente em 2010, iniciou-se a monitorização e acompanhamento da retenção de areia, promovida pelos regeneradores dunares.

## 5. Metodologias

Neste capítulo são descritas as metodologias adotadas neste trabalho, divididas em três tipologias: trabalho de campo, trabalho de laboratório e o processamento de dados.

### 5.1 Trabalho de Campo

O trabalho de campo consistiu em três tipos de atividade: recolha de sedimentos para análise em laboratório, levantamento de perfis da zona de estudo, assim como de pontos de controlo e, ainda, a realização de um levantamento aerofotogramétrico. Na Tabela 5.1 resumem-se as datas e objetivos de diferentes campanhas.

*Tabela 5.1 - Datas e objetivos dos trabalhos de campo.*

#### Trabalho de Campo

	<i>Data</i>	Recolha de Sedimentos	Levantamento de Perfis	Levantamento de Pontos de Controlo	Levantamento Aerofotogramétrico	Equipamento
2018	24.maio	Amostras A1 a A8	“BDuna1”	—	—	DGPS-RTK
	02.julho	Amostras A8 a A14	—	—	—	DGPS-RTK
	12.setembro	—	—	P01 a P08	Voo 1a e 1b	DGPS-RTK – pontos de validação Drone - voo
	02.outubro	Amostras A15 a A18	—	—	—	DGPS-RTK
	03.outubro	—	“PDS01” e “PDS02”	P09 a P13	Voo 2	DGPS-RTK – pontos de validação Drone - voo
2019	28.janeiro	—	“BDuna2”, “CDuna1”, “CDuna2”, “PDS03” a “PDS10”, “PDN01” a “PDN08”, “PD01” e “PD02”	“Estrada” e “Controlo”	—	DGPS-RTK

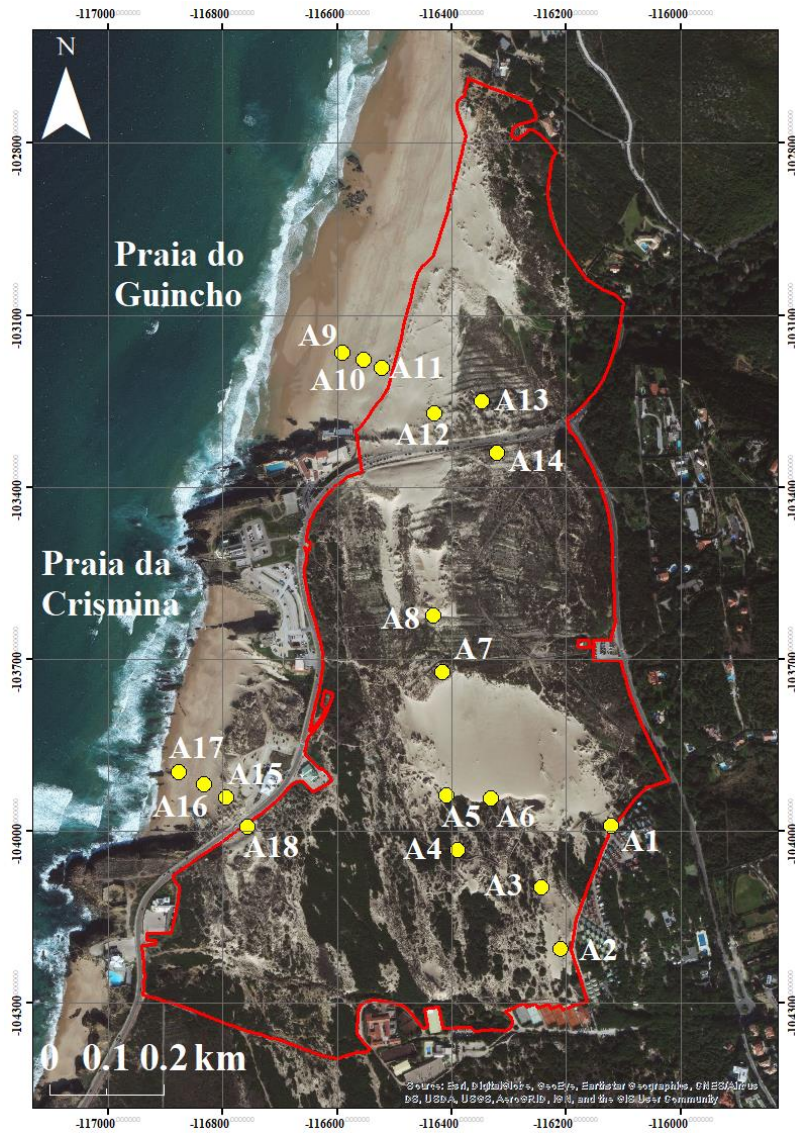
### 5.1.1 Amostragem de Sedimentos

Foram realizadas três saídas de campo, a 24 de maio, 2 de julho e 2 de outubro de 2018, para observação do terreno e colheita de amostras do sedimento superficial em locais diferentes do campo dunar e das praias do Guincho e da Crismina, aqui consideradas como áreas-fonte do campo dunar. O posicionamento das amostras foi obtido com recurso a um equipamento GNSS, neste caso um equipamento DGPS-RTK (LEICA Geosystems, Viva NetRover (GS08)) (Tabela 5.1).

Na Figura 5.1 é possível observar os pontos de amostragem. Colheram-se amostras nas praias do Guincho (ponto A9 – face da praia e pontos A10 e A11 – berma) e da Crismina (pontos A15 e A16 – berma e ponto A17 – face da praia) e os pontos de amostragem A1 a A8, A12 a A14 e A18 foram recolhidos no campo dunar em função da variabilidade da morfologia e vegetação observadas no terreno.

Os pontos A3, A5, A6 e A18 correspondem a duna transgressiva nua; os pontos A1, A2, A7, A8 e A12 a A14 correspondem a corpos eólicos cobertos por vegetação herbácea/arbustiva esparsa e densa e o ponto A4 corresponde a colheita de areia eólica coberta por vegetação arbórea densa.

Considerar-se-á daqui adiante como “duna norte” a zona a norte da estrada EN 247 e como “duna sul” a zona a sul da mesma.



### Legenda

- Zona de estudo
- Amostras

Figura 5.1 - Pontos de amostragem. Imagem de base disponibilizada pela ESRI.

### 5.1.2 Levantamento de Perfis, Linhas Notáveis e Pontos de Controlo

Entre maio de 2018 e janeiro de 2019 levantaram-se vários conjuntos de pontos no terreno, com recurso ao mesmo equipamento DGPS, para efeitos de validação de dados inferidos de interpolação a partir de MDT ou MDS, e também para atualizar informação planimétrica extraída daqueles modelos.

No dia 24 de maio de 2018 realizou-se o levantamento da linha correspondente ao sopé da duna da Crismina (“BDuna1”) e a 28 de janeiro de 2019 a mesma linha foi novamente levantada (“BDuna2”), assim como as cristas (“CDuna1” e “CDuna2”). A Figura 5.2 ilustra a localização destes levantamentos.

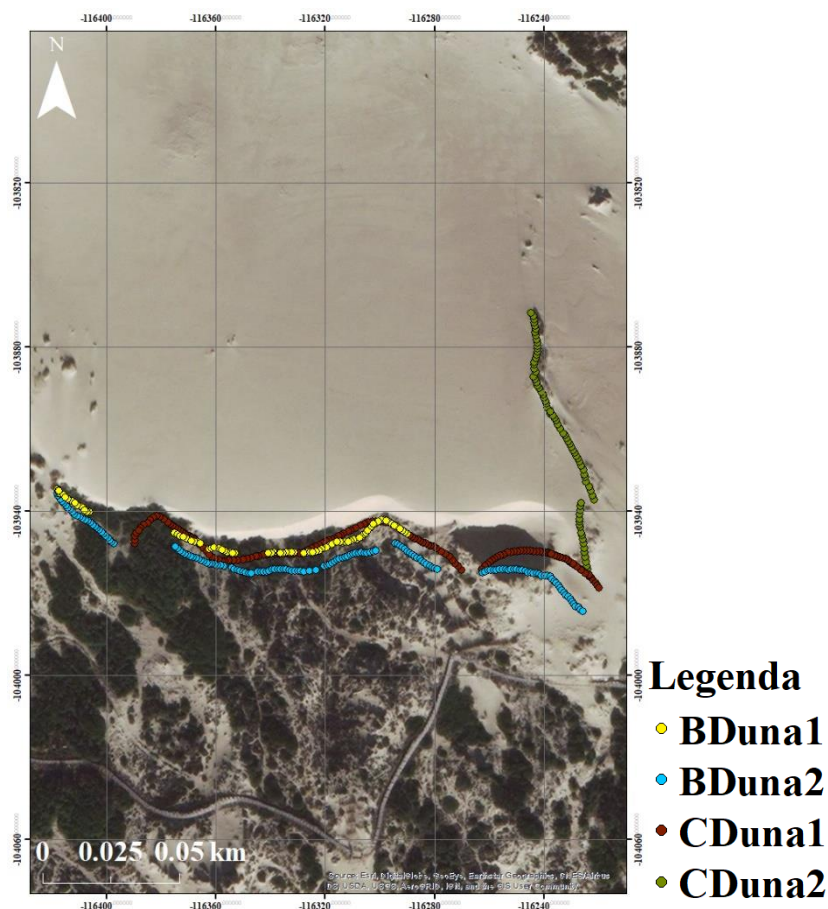


Figura 5.2 – Linhas de sopé e de crista da duna da Crismina. Imagem de base disponibilizada pela ESRI.

A 3 de outubro de 2018 foram levantados outros dois perfis na duna da Crismina, um transversal à face sotavento e outro longitudinal (“PDS01” e “PDS02”, respetivamente, Figura 5.3. Após comparação dos resultados obtidos no campo com os obtidos a partir da interpolação sobre o MDT de 2018, julgou-se conveniente levantar mais perfis. Assim, no dia 28 de janeiro de 2019 realizou-se nova saída de campo para se obter um conjunto de perfis longitudinais e transversais da zona de estudo, tanto a norte como a sul da EN 247 (perfis “PDS03” a “PDS10”, “PDN01” a “PDN08” e “PD01” e “PD02” - Figura 5.3 e Figura 5.4).

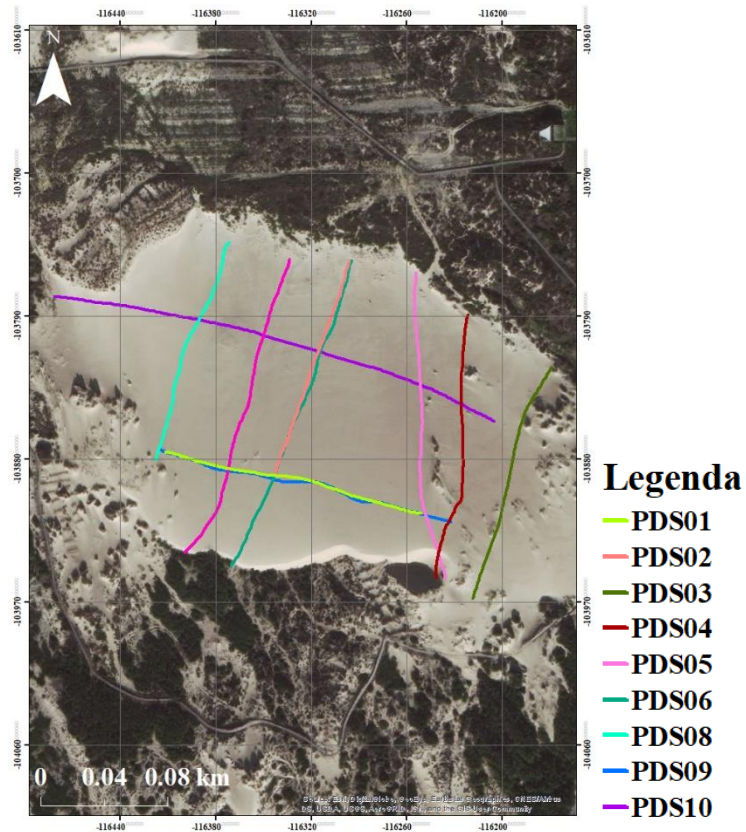


Figura 5.3 - Perfis levantados na duna da Crismina. Imagem de base disponibilizada pela ESRI.

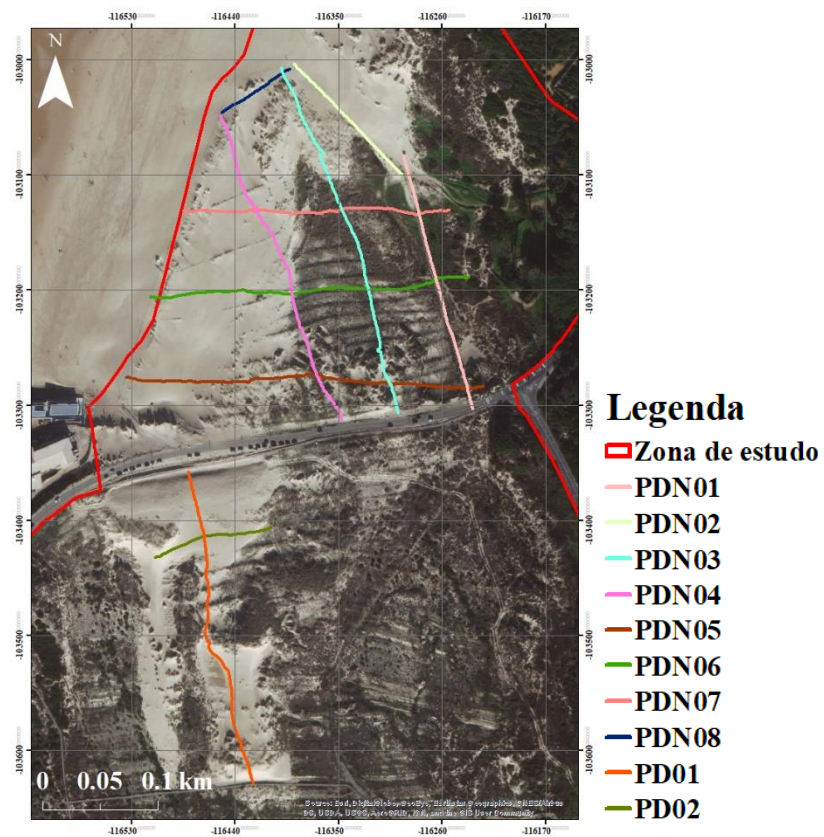


Figura 5.4 - Perfis levantados a norte e a sul da EN 247. Imagem de base disponibilizada pela ESRI.

Também a 28 de janeiro de 2019 foi levantado um conjunto de pontos ao longo da EN 247 (“Pontos Controlo”) e (“Pontos Estrada”), (ver Figura 5.5), para efeitos de validação do MDT de 2008 e MDS de 2018.

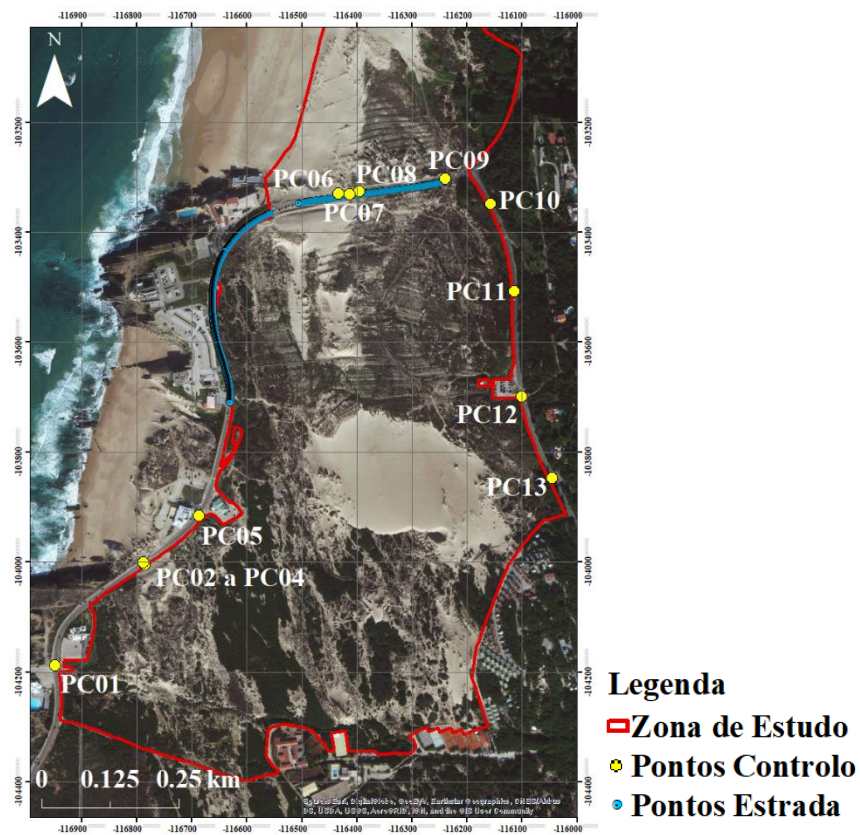


Figura 5.5 - Pontos de controlo e perfil da EN 247. Imagem de base disponibilizada pela ESRI.

### 5.1.3 Levantamento Aerofotogramétrico

Foram realizados 2 levantamentos aerofotogramétricos para assegurar a máxima cobertura da área de estudo, nos dias 12 de setembro e 3 de outubro de 2018, com a colaboração dos Doutores J. Catalão Fernandes e J. Calvão Rodrigues (DEGGE, FCUL).

Ambos os levantamentos foram realizados utilizando um *drone* DJI Phantom 3 Pro, carregando um sensor Sony IMX377 RGB ( $f35 = 20\text{mm}$ ,  $\text{FOV} = 94^\circ$ ) montado num *gimbal* triaxial, permitindo capturar imagens com a câmara estável. O voo foi efetuado a 30 m de altitude e as imagens foram adquiridas com 80% de sobreposição ao longo de cada fiado e entre fiadas adjacentes. Implantaram-se 8 (P01 a P08) e 5 (P09 a P13) pontos de controlo no solo, nos dias 12 de setembro e 3 de outubro, respetivamente, distribuídos pelo campo dunar, e cada ponto foi coordenado com recurso ao mesmo equipamento DGPS (Figura 5.6). Estes pontos foram usados para georreferenciar as imagens aéreas, suportar a restituição estereofotogramétrica e construção de um modelo digital de superfície (MDS) (Bastos *et al.*, 2018).

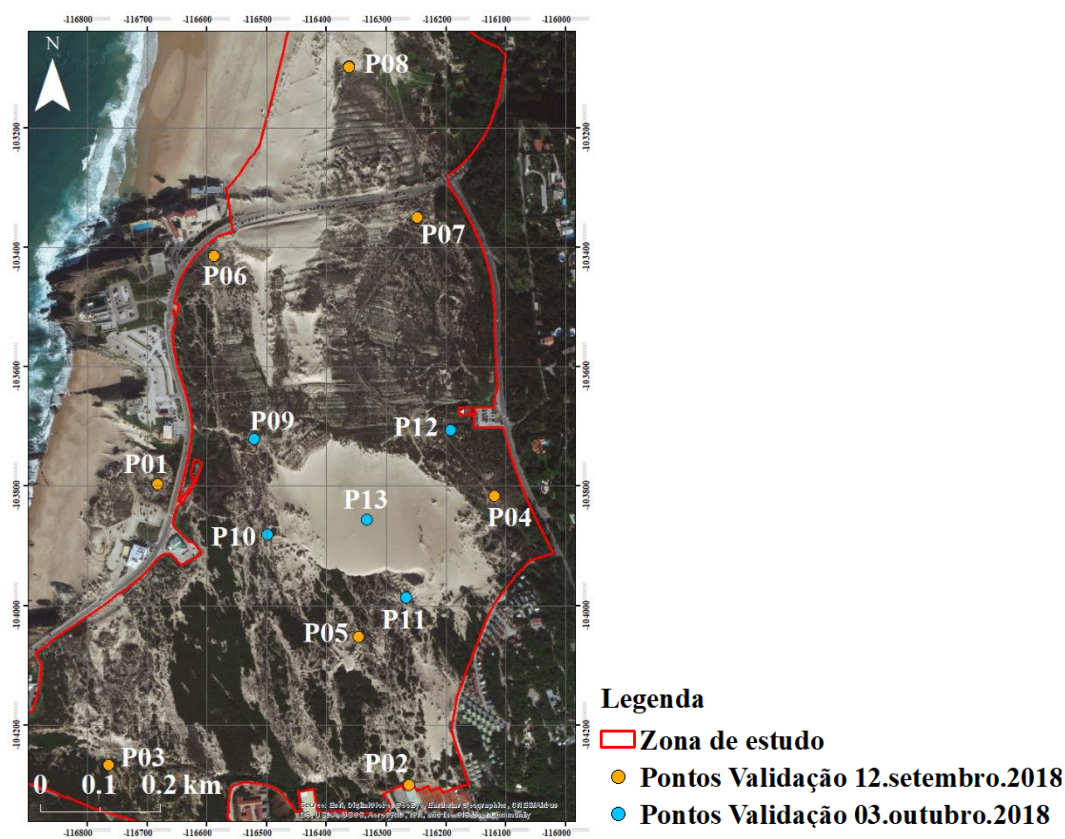


Figura 5.6 - Pontos de validação. Imagem de base disponibilizada pela ESRI.

## 5.2 Trabalho de Laboratório

O tratamento das amostras de sedimento recolhidas em campo foi realizado no laboratório de Processos Costeiros do Departamento de Geologia da FCUL e destinou-se a avaliar a distribuição granulométrica (granulometria) e o teor em carbonato de cálcio (calcimetria).

### 5.2.1 Granulometria

Inicialmente, colocaram-se as amostras em copos devidamente identificados. De seguida, adicionou-se água, agitou-se a mistura e deixou-se decantar. Uma vez o sedimento assente, retirou-se a água sobrenadante e repetiu-se este procedimento 3 vezes, com o objetivo de remover sais solúveis presentes no sedimento. Após lavagem, as amostras foram colocadas a secar em banho de areia a 60°C durante 3-4 dias, garantindo, assim, a completa secagem das areias.

As amostras lavadas e secas foram quarteadas com o auxílio de um quarteador até se obterem cerca de 100 g – quantidade necessária para o ensaio granulométrico, e cerca de 10 g – necessários para a realização das calcimetrias. O quarteamento é um processo que garante a homogeneidade da amostra, aquando da redução da massa das amostras à quantidade adequada para cada ensaio.

A pesagem foi realizada com o auxílio de uma balança semianalítica, com precisão de 0.01 g.

A análise granulométrica permite a separação da amostra pela dimensão dos grãos. Uma vez quarteadas e pesadas, a toma representativa de cada amostra foi colocada numa coluna de crivos RETSCH, com malhas de dimensões entre os  $-2$  e  $4 \phi$ , com intervalos de  $0.5 \phi$ . Esta coluna foi colocada num agitador mecânico, vibrando a uma frequência entre 50 a 60 Hz durante 15 min.

De seguida, novamente com o auxílio da balança semianalítica, foram pesadas as frações retidas em cada um dos crivos, cujo somatório resulta no peso final da amostra. Através dos pesos inicial e final de cada amostra, foi possível calcular o erro associado a cada ensaio. Aceitaram-se como válidos os ensaios com erro inferior a 1% (em módulo).

O peso inicial de cada amostra utilizado em laboratório foi cerca de 100 g e os erros obtidos foram sempre abaixo dos 0.15%.

## 5.2.2 Calcimetria e Descarbonatação

O ensaio de calcimetria permite quantificar a fração do sedimento constituído por carbonato de cálcio. Neste caso, determinou-se o teor de carbonato de cálcio pelo método gasométrico, utilizando um calcímetro EIJKELKAMP.

Este ensaio baseia-se na relação entre o volume de  $\text{CO}_2$  libertado por uma massa conhecida de sedimento e o teor em  $\text{CaCO}_3$ , após reação integral com  $\text{HCl}$  diluído em condições controladas de temperatura ambiente e pressão atmosférica. O procedimento experimental seguiu as instruções do fabricante.

Foram descarbonatadas 2 amostras para averiguar se os resultados da análise granulométrica do mesmo sedimento se alterariam significativamente com e sem partículas carbonatadas. Executou-se o ensaio granulométrico da amostra total como indicado acima e os resíduos obtidos foram novamente reunidos e sujeitos a descarbonatação. A descarbonatação é realizada adicionando, num erlenmeyer contendo a amostra, ácido clorídrico ( $\text{HCl}$  – 4 mol/l). Deixou-se terminar a reação, adicionou-se água e após um período de repouso e decantação, o líquido sobrenadante foi removido e o resíduo lavado. A operação de lavagem foi repetida até se observar que o pH do líquido era aproximadamente 7. Uma vez obtida a condição de neutralidade, a amostra foi seca e sujeita a ensaio de granulometria, como já descrito anteriormente.

## 5.3 Processamento de Dados

O trabalho de gabinete envolveu toda a componente necessária para obtenção de resultados e compreendeu a utilização de diversos *softwares*: Gran-Graf (Carvalho, 1998), Grapher e Excel para a análise dos resultados laboratoriais dos sedimentos, *MATLAB® R2013b* para a análise dos dados de vento e *ArcMAP® 10.5.1* para a análise dos perfis levantados em campo, dos balanços sedimentar e volumétrico e do mapeamento da zona de estudo, assim como da evolução do sopé da duna da Crismina.

### 5.3.1 Sedimentos

Através dos resultados obtidos da análise granulométrica, extraíram-se parâmetros estatísticos, tal como o diâmetro médio, o desvio-padrão, os índices de assimetria e de curtose da curva de distribuição granulométrica de cada amostra, que foram calculados através do *software* Gran-Graf desenvolvido por Carvalho (1998), utilizando o método gráfico (cf. Folk, 1974). Estes parâmetros foram utilizados para caracterizar a textura do sedimento, de acordo com as classificações dimensional e de calibração de Folk & Ward (1957). Determinaram-se os seguintes parâmetros: o diâmetro médio ( $Mz$ ), o desvio-padrão gráfico inclusivo ( $\sigma_i$ ), a assimetria gráfica inclusiva ( $S_{ki}$ ) e a curtose gráfica inclusiva ( $Kz$ ).

O diâmetro médio, ou média gráfica, introduzida por Folk & Ward (1957), reflete a granularidade média do sedimento. A média gráfica é uma medida de tendência central que está relacionada com a intensidade do agente transportador e com os níveis energéticos do ambiente de deposição (Dias, 2004).

A calibragem coloca em evidência a maior ou menor dispersão da curva granulométrica em torno da tendência central e pode ser avaliada através do desvio-padrão. Este parâmetro depende das variações de energia do agente de transporte ou da incorporação num sedimento de partículas ou de populações de partículas com dimensão diferente da dimensão média do sedimento (Costa, 2009).

O parâmetro assimetria gráfica inclusiva mede o afastamento da curva granulométrica em relação à distribuição normal para a direita ou para a esquerda da média, indicando se há predomínio da fração mais fina (assimetria positiva na escala  $\Phi$ ) ou predomínio da fração grosseira (assimetria negativa na escala  $\Phi$ ) relativamente ao valor da média. Se houver equivalência entre a fração fina e a grosseira, a curva é simétrica.

A curtose, designada por Folk & Ward por acuidade ou curtose gráfica, põe em destaque a relação que existe entre a dispersão dimensional na parte central da distribuição e nas extremidades. Quantifica o grau de achatamento da curva experimental em relação à curva de uma distribuição normal (Carvalho, 2005). A forma da curva pode ser classificada como: platicúrtica (achatada), mesocúrtica (normal) ou leptocúrtica (alongada ou aguda) (Folk et Ward, 1957).

As curvas granulométricas foram traçadas recorrendo ao *software* GRAPHER.

Os resultados provenientes da calcimetria foram tratados no *software* Excel, sendo que o cálculo da percentagem de carbonato de cálcio no sedimento baseia-se na mudança de volume observada na bureta que colhe o CO<sub>2</sub> libertado da amostra, tendo em conta o observado nos ensaios em branco, nos padrões e na amostra em estudo.

A classificação qualitativa dos sedimentos quanto ao teor em carbonato de cálcio seguiu a proposta de Baize (1988).

### 5.3.2 Vento

A caracterização do regime de ventos na zona de estudo realizou-se com base numa série tri-horária de intensidade e rumo de vento entre 2005 e março de 2019, 10 m acima do mar, reconstituída e disponibilizado pela National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA) (<http://polar.ncep.noaa.gov/waves/hindcasts/>) num ponto do Atlântico Norte com as coordenadas 38.75 N e -9.75 W. O processamento dos dados de vento foi realizado recorrendo ao *software* MATLAB® R2013b, para construir diagramas vectoriais (ver Anexo 2). O regime de ventos foi estudado para o conjunto total dos dados e para quatro sub-conjuntos correspondentes a cada estação do ano.

### 5.3.3 Cartografia de Ocupação do Solo

Na área de estudo cartografaram-se 4 tipologias essenciais de uso e ocupação do solo, que correspondem também a 4 classes diferentes de tipo e densidade do coberto vegetal:

- Areia eólica não vegetada, correspondente a formas dunares, mantos de areia ou formas de deflação, ativas, sem vegetação;
- Corpos arenosos cobertos por vegetação arbórea, sempre com densidade superior a 50%;
- Corpos arenosos cobertos por vegetação herbácea/arbustiva com densidade superior a 50%;
- Corpos arenosos cobertos por vegetação herbácea/arbustiva com densidade inferior a 50%.

Os últimos dois casos correspondem a mantos de areia ou pequenas dunas e superfícies de deflação de pequena envergadura e do primeiro caso menciona-se o corpo dunar da duna da Crismina.

Consideraram-se ainda as categorias denominadas de “Outros” – correspondendo a ocupações antropogénicas (por exemplo, edifícios, estradas e passadiços) e “Não visível” – que representam locais onde não é possível observar os passadiços (por estarem cobertos de areia), mas de que se conhece a localização.

Utilizaram-se ortofotomapas, datados entre 1999 e 2016 (Tabela 5.2), elaborados pela Direção Geral do Território (DGT) e disponibilizados pela Câmara Municipal de Cascais (CMC), para mapear estas tipologias em cada imagem (ver Anexo 4 - Figura 10.5 a Figura 10.11). Os limites da zona de estudo, foram implantados sobre o ortofotograma de 2016 e transportados para as restantes imagens de acordo com os seguintes critérios:

- Noroeste – a Linha de Máxima Preia-Mar de Águas Vivas Equinociais (LMPMAVE), na praia do Guincho;
- Nordeste – estrada;
- Leste – estrada e vedação que delimita o PNSC;
- Sudeste – vedação do parque de campismo;
- Sul – limite das ocupações antropogénicas (Clube Dom Carlos e o clube de hipismo) e estrada;
- Sudoeste – estrada EN 247 e vedação que delimita o PNSC;
- Oeste – vedação que delimita o PNSC.

Tabela 5.2 - Ortofotomapas utilizados e respetiva resolução.

Ano	Ortofotomapas							MDT	MDS
	1999	2002	2005	2008	2010	2013	2016	2008	2018
Resolução (pixel) (m)	0.15	0.25	0.15	0.15	0.15	0.15	0.10	2.00	0.04

Posteriormente, cada ortofotograma foi cortado para a zona de estudo, utilizando a ferramenta *Extract by Mask*.

Utilizaram-se 3 métodos diferentes para cartografar as tipologias referidas acima no ortofotograma de 2016, para averiguar qual seria o mais adequado em termos da relação custo/benefício, a utilizar nos restantes ortofotogramas: classificação não assistida, classificação assistida e fotointerpretação.

A classificação não assistida é realizada de forma inteiramente automática através do algoritmo de classificação não assistida (*Iso Cluster Unsupervised Classification*) disponibilizado no *software ArcMAP® 10.5.1*, sendo apenas necessário escolher o número de classes. O algoritmo interpreta os padrões de cor (ou tons de cinzento) da imagem, pixel a pixel, e classifica-os em função do número de classes pré-definido.

Na classificação assistida o operador define o número de classes a utilizar e identifica “áreas de treino” na imagem nas quais o algoritmo de classificação “aprende” o espectro de variação de cores ou de tons de cor que caracteriza cada classe. O *software* utiliza depois o classificador de Máxima Verosimilhança (*Maximum Likelihood Classification*) para interpretar e reclassificar toda a imagem.

A fotointerpretação consiste numa interpretação do conteúdo geomorfológico e da tipologia da vegetação efetuada por um operador, neste caso a signatária deste trabalho, tendo em conta as características de cada classe considerada e explicada previamente.

Em cada ortofotomapa foi traçada, ainda, a linha do sopé da grande duna da Crismina, de forma a quantificar a movimentação daquela forma eólica no intervalo temporal correspondente ao conjunto de ortofotomapas estudados, através do *software* DSAS. Este *software* permite calcular de forma automática, em ambiente SIG, distâncias entre linhas georreferenciadas, utilizando um pente de perfis perpendiculares às linhas em estudo. O uso da linha do sopé para quantificar a variação espacial das dunas, em vez da linha da crista, é justificado por 2 razões: 1) pela maior facilidade em identificar o sopé nos ortofotomapas (visto que nem sempre é possível distinguir a crista devido à elevada refletância da superfície) e 2) pelo facto de ser possível a crista mudar de posição sem que tal signifique movimentação da duna.

#### **5.3.4 Levantamento Aerofotogramétrico, MDS, MDT e Variação Volumétrica**

Os dados das imagens obtidas através do levantamento com *drone* foram processados no *software* Pix4Dmapper Pro®, usando o algoritmo estrutura-de-movimento (Burns & Delpart, 2017 in Bastos *et al.*, 2018). O processamento das imagens e construção do correspondente MDS foi realizado pelos docentes João Catalão e João Calvão (DEGGE, FCUL). Deste processamento resultou um modelo digital de superfície (MDS) com resolução espacial (pixel) de 0.04 m. As imagens obtidas com o *drone* encontram-se no Anexo 3 (Figura 10.2 a Figura 10.4).

O estudo da variação volumétrica recorreu a comparação entre o MDS de 2018 e o MDT de 2008, cedido pelo Município de Cascais. Este modelo tem resolução espacial (pixel) de 2.0 m.

Neste trabalho considerou-se que há quatro domínios na área de estudo onde se observam as modificações mais relevantes na organização dos corpos arenosos não vegetados (Figura 5.7). Uma área a norte da EN 247 (DN), que incorpora as dunas frontais adjacentes à praia grande do Guincho e se estende para leste por mantos de areia e dunas de pequena envergadura, e três outras áreas a sul: destas, a área D corresponde ao conjunto de mantos de areia, dunas e *blowouts* que se estendem para sul da EN 247 até à latitude da praia da Crismina, formando uma mancha descontínua com contorno plano grosseiramente triangular e vértice apontado a sul; a área DC, que corresponde ao corpo da duna da Crismina; e a área DS que corresponde, essencialmente, a *blowouts* (e respetivos lobos frontais) no extremo SE da área de estudo, junto ao parque de campismo Orbitur.

A quantificação e interpretação de variações morfológicas incidiu especialmente sobre estes domínios. Uma vez definidos os polígonos correspondentes a cada uma dessas quatro áreas nas imagens de 2008 e 2018, procedeu-se à sua reunião (empregando a ferramenta *Merge*) – Figura 5.7, e o polígono resultante foi implantado no MDT de 2008 e no MDS de 2018, usando a ferramenta *Extract By Mask*. Para o cálculo do balanço volumétrico em cada área foi utilizada a ferramenta *Cut Fill*. Esta mesma metodologia e ferramenta foi utilizada para o cálculo do balanço volumétrico para a área total comum ao MDT de 2008 e ao MDS de 2018 (Figura 5.7).

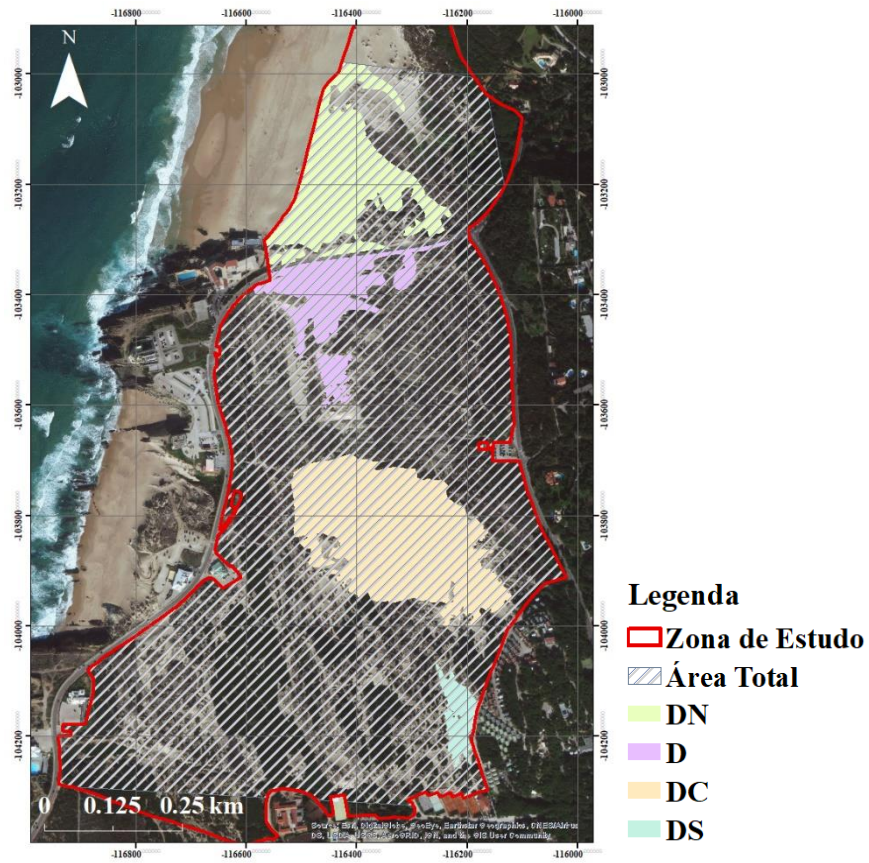


Figura 5.7 - Áreas distintas para cálculo de balanço sedimentar e área total comum ao MDT de 2008 e ao MDS de 2018. Imagem de base disponibilizada pela ESRI.

## 6. Resultados e Discussão

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados, organizados em quatro seções: sedimentos, contendo os resultados obtidos da análise laboratorial dos mesmos; vento, alusivo aos dados escalares e direcionais que permitiram caracterizar o clima de ventos na região de estudo; morfologia e volumetria, onde se trata a evolução cartográfica da zona de estudo, complementada com a análise da evolução do sopé da duna da Crismina e ainda os resultados da interpolação dos perfis obtidos em campo e do balanço volumétrico.

### 6.1 Sedimentos

Neste subcapítulo apresentam-se os resultados obtidos dos ensaios de granulometrias, calcimetrias e descarbonatação das amostras de areia recolhidas em campo.

Como já referido anteriormente, as amostras A9 a A11 e A15 a A17 foram colhidas nas praias do Guincho e da Crismina, respetivamente. As restantes amostras representam areias obtidas de formas eólicas no campo dunar: A3, A5, A6 e A18 correspondem a duna transgressiva nua, as amostras A1, A2, A7, A8 e A12 a A14 correspondem a corpos eólicos cobertos por vegetação herbácea/arbustiva esparsa e densa e a amostra A4 a areia eólica coberta por vegetação arbórea. As amostras A12 e A13 foram colhidas na zona norte do campo dunar e as amostras A1 a A8, A14 e A18 na zona sul.

Na Tabela 6.1 é possível observar os resultados obtidos para os parâmetros texturais, assim como para o teor em carbonato de cálcio. Na Tabela 6.2 estão registadas as classificações qualitativas dos sedimentos quanto aos parâmetros da curva de distribuição.

A Figura 6.1 ilustra a projeção do grau de dispersão (em torno da média (um proxy da calibragem)) em função do diâmetro médio e a Figura 6.2 a projeção do índice de assimetria contra a curtose.

Tabela 6.1 - Parâmetros granulométricos e teor em CaCO<sub>3</sub> das areias estudadas.

<i>Amostras</i>	<b>Diâmetro médio (M<sub>Z</sub>) (φ)</b>	<b>Desvio-padrão (σ<sub>i</sub>) (φ)</b>	<b>Assimetria (S<sub>ki</sub>)</b>	<b>Curtose (K<sub>Z</sub>)</b>	<b>Teor CaCO<sub>3</sub> (%)</b>
<i>A1</i>	1.59	0.34	0.00	1.02	10.00
<i>A2</i>	0.43	0.6	0.07	0.92	29.66
<i>A3</i>	1.26	0.48	-0.06	1.04	17.77
<i>A4</i>	1.31	0.39	-0.03	0.91	14.22
<i>A5</i>	1.36	0.39	0.13	1.15	23.73
<i>A6</i>	1.42	0.49	-0.02	1.05	17.74
<i>A7</i>	1.40	0.42	0.07	1.04	18.95
<i>A8</i>	1.26	0.38	0.06	0.98	19.02
<i>A9</i>	1.09	0.35	-0.03	1.03	26.26
<i>A10</i>	1.21	0.32	0.03	1.10	28.21
<i>A11</i>	1.29	0.37	0.03	1.07	32.17
<i>A12</i>	1.37	0.37	0.09	1.08	25.16
<i>A13</i>	1.40	0.39	0.04	1.06	23.19
<i>A14</i>	1.50	0.41	0.10	1.03	19.46
<i>A15</i>	1.66	0.30	0.05	1.05	22.85
<i>A16</i>	1.57	0.32	-0.06	1.04	18.78
<i>A17</i>	1.88	0.35	-0.01	1.02	22.96
<i>A18</i>	1.78	0.36	0.02	1.10	21.87

Tabela 6.2 – Classificação qualitativa das areias quanto à textura.

<i>Amostras</i>	<b>Classificação qualitativa</b>	<b>Calibragem</b>	<b>Assimetria</b>	<b>Distribuição de frequência</b>
<i>A1</i>	Areia média	Muito bem calibrado	Simétrica	Mesocúrtica
<i>A2</i>	Areia grosseira	Moderadamente calibrado	Simétrica	Mesocúrtica
<i>A3</i>	Areia média	Bem calibrado	Simétrica	Mesocúrtica
<i>A4</i>	Areia média	Bem calibrado	Simétrica	Mesocúrtica
<i>A5</i>	Areia média	Bem calibrado	Assimétrica (A. Positiva)	Leptocúrtica
<i>A6</i>	Areia média	Bem calibrado	Simétrica	Mesocúrtica
<i>A7</i>	Areia média	Bem calibrado	Simétrica	Mesocúrtica
<i>A8</i>	Areia média	Bem calibrado	Simétrica	Mesocúrtica
<i>A9</i>	Areia média	Bem calibrado	Simétrica	Mesocúrtica
<i>A10</i>	Areia média	Muito bem calibrado	Simétrica	Mesocúrtica
<i>A11</i>	Areia média	Bem calibrado	Simétrica	Mesocúrtica
<i>A12</i>	Areia média	Bem calibrado	Simétrica	Mesocúrtica
<i>A13</i>	Areia média	Bem calibrado	Simétrica	Mesocúrtica
<i>A14</i>	Areia média	Bem calibrado	Simétrica	Mesocúrtica
<i>A15</i>	Areia média	Muito bem calibrado	Simétrica	Mesocúrtica
<i>A16</i>	Areia média	Muito bem calibrado	Simétrica	Mesocúrtica
<i>A17</i>	Areia média	Bem calibrado	Simétrica	Mesocúrtica
<i>A18</i>	Areia média	Bem calibrado	Simétrica	Mesocúrtica

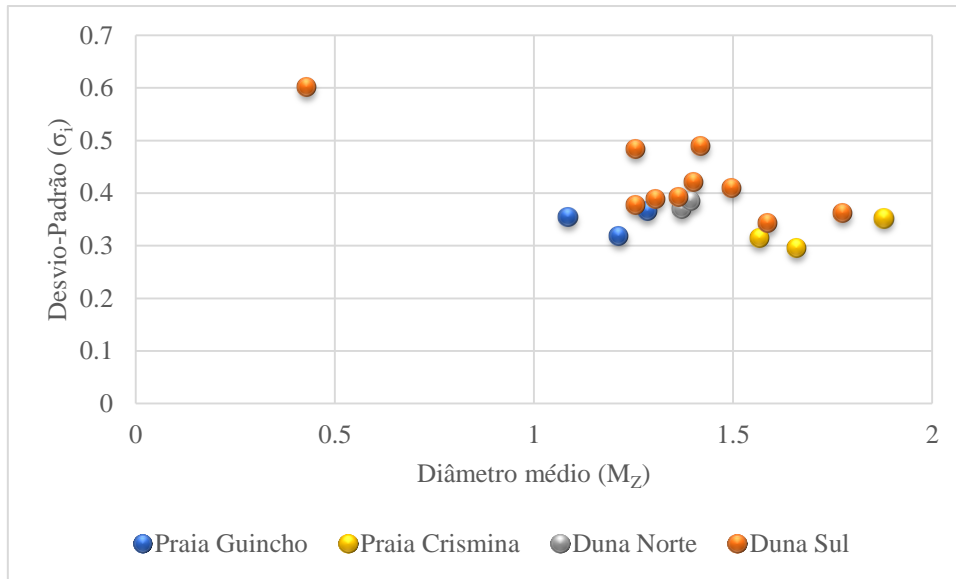


Figura 6.1 – Desvio-padrão em função do diâmetro médio.

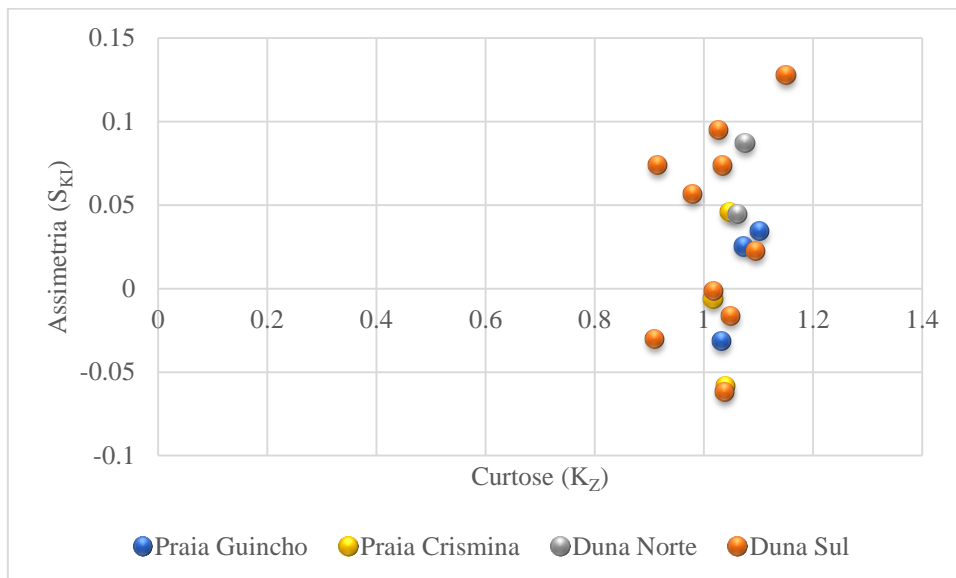


Figura 6.2 - Assimetria em função da curtose.

Todos os sedimentos estudados têm diâmetro médio entre 1.1 e 1.9  $\phi$ , correspondendo a areia média, com exceção da amostra A2 que corresponde a areia grossa. O valor da média dos diâmetros médios é de 1.38  $\phi$  e sobe para 1.43  $\phi$  se a amostra 2 for removida. Os valores da dispersão em torno da média mostram que são areias bem a muito bem calibradas ( $\sigma_i$  no intervalo 0.30 – 0.49  $\phi$ ), exceto a amostra A2 que é moderadamente calibrada, com  $\sigma_i$  de 0.6  $\phi$ . A curtose gráfica (Figura 6.2) varia num intervalo estreito (0.91 a 1.15), indicando curvas essencialmente mesocúrticas e a assimetria entre -0.06 e +0.13, sendo em todos os casos curvas de distribuição simétricas.

Segundo Carvalho (2005), a assimetria é positiva quando predominam as frações mais finas na curva de distribuição dimensional, e negativa quando predominam as frações mais grosseiras. As areias das praias exibem, predominantemente, assimetria negativa, ao contrário das de duna que revelam assimetria positiva, em concordância com o proposto por Folk & Ward (1957) e Folk (1974), embora no caso presente as diferenças sejam muito pequenas.

A amostra A2 foi recolhida na superfície de deflação ativa de um *blowout* e corresponde à lâmina superficial de sedimento, um acumulado de partículas mais grosseiras e mais rica em bioclastos do que as areias vizinhas, o que justifica a diferença nos resultados obtidos para o diâmetro médio e desvio-padrão em relação ao resto das amostras.

Todas as amostras (com exceção de uma) apresentam uma distribuição mesocúrtica, o que significa que apresentam uma medida de curtose igual à da distribuição normal. Apenas a amostra 5 apresenta uma distribuição leptocúrtica em que a medida de curtose é maior que a da distribuição normal. Segundo o sugerido por Folk & Ward (1957) e Dias (2004), estes resultados podem significar que o sedimento foi transportado das áreas-fonte (praias) e depositado sem perder as suas características originais, ou seja, o sedimento na área fonte já está muito bem triado do ponto de vista dimensional e o vento tem dificuldade em remodelar a distribuição granulométrica uma vez que é capaz de a mobilizar na íntegra.

A Figura 6.3 e a Figura 6.4 representam as curvas granulométricas das amostras de praia e de duna, respetivamente. A Figura 6.5 representa a totalidade das amostras.

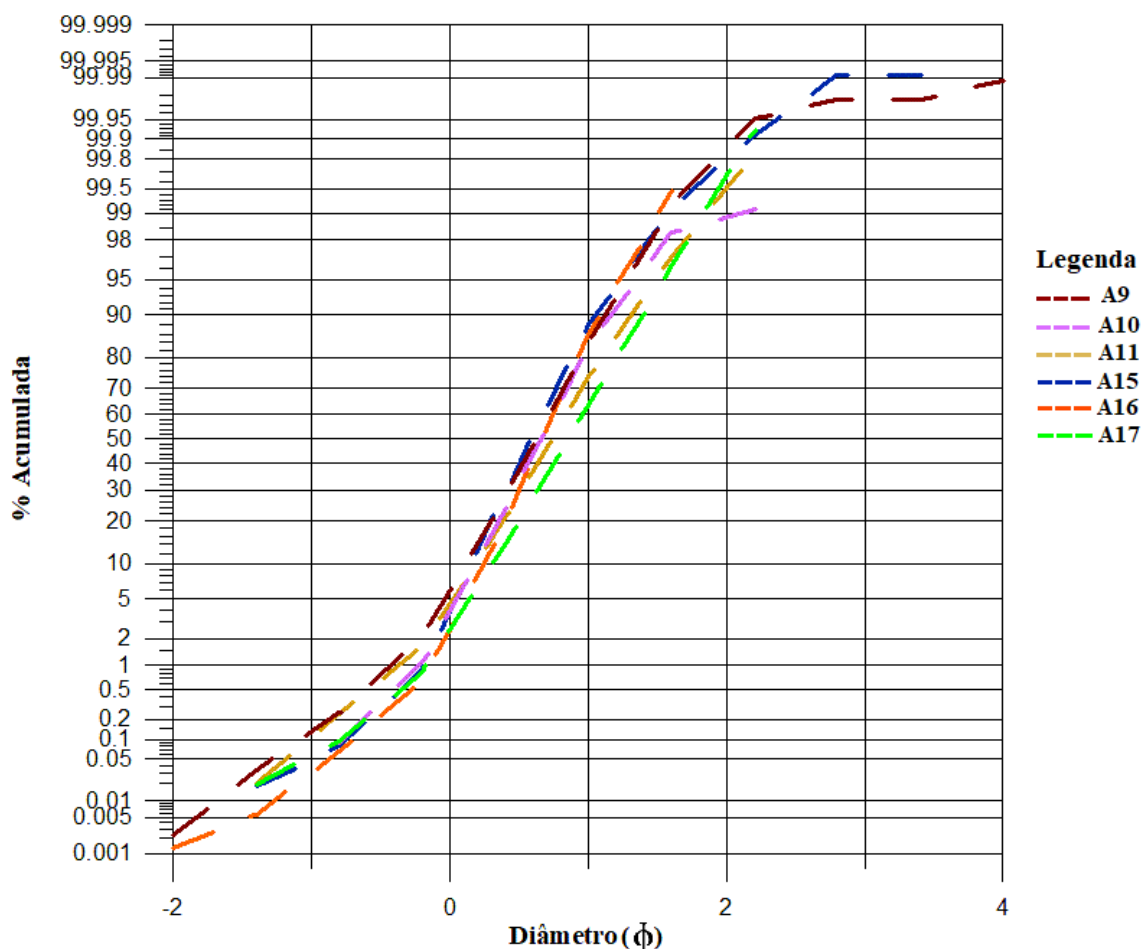


Figura 6.3 - Curvas granulométricas das amostras de praia.

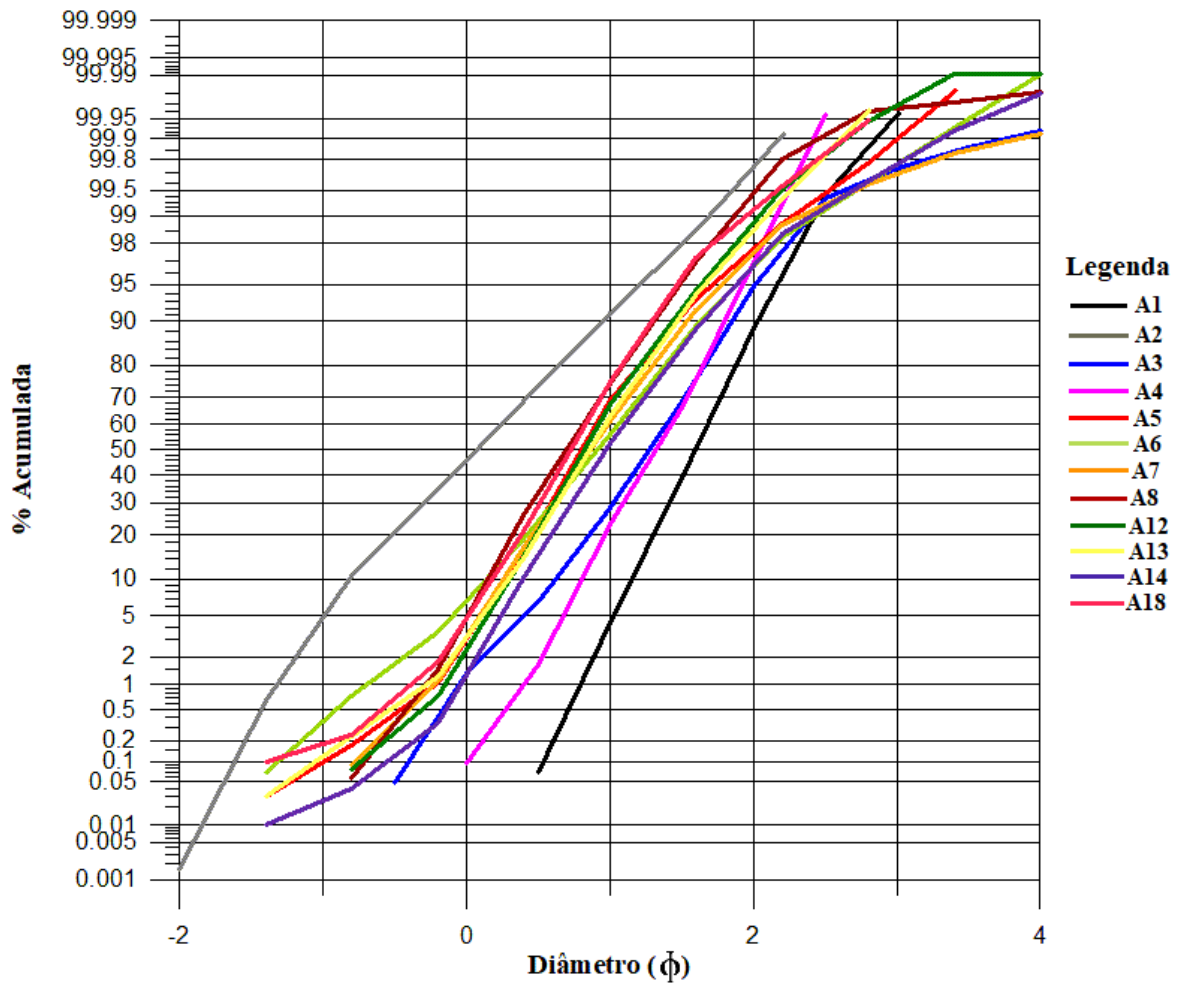


Figura 6.4 - Curvas granulométricas das amostras de duna.

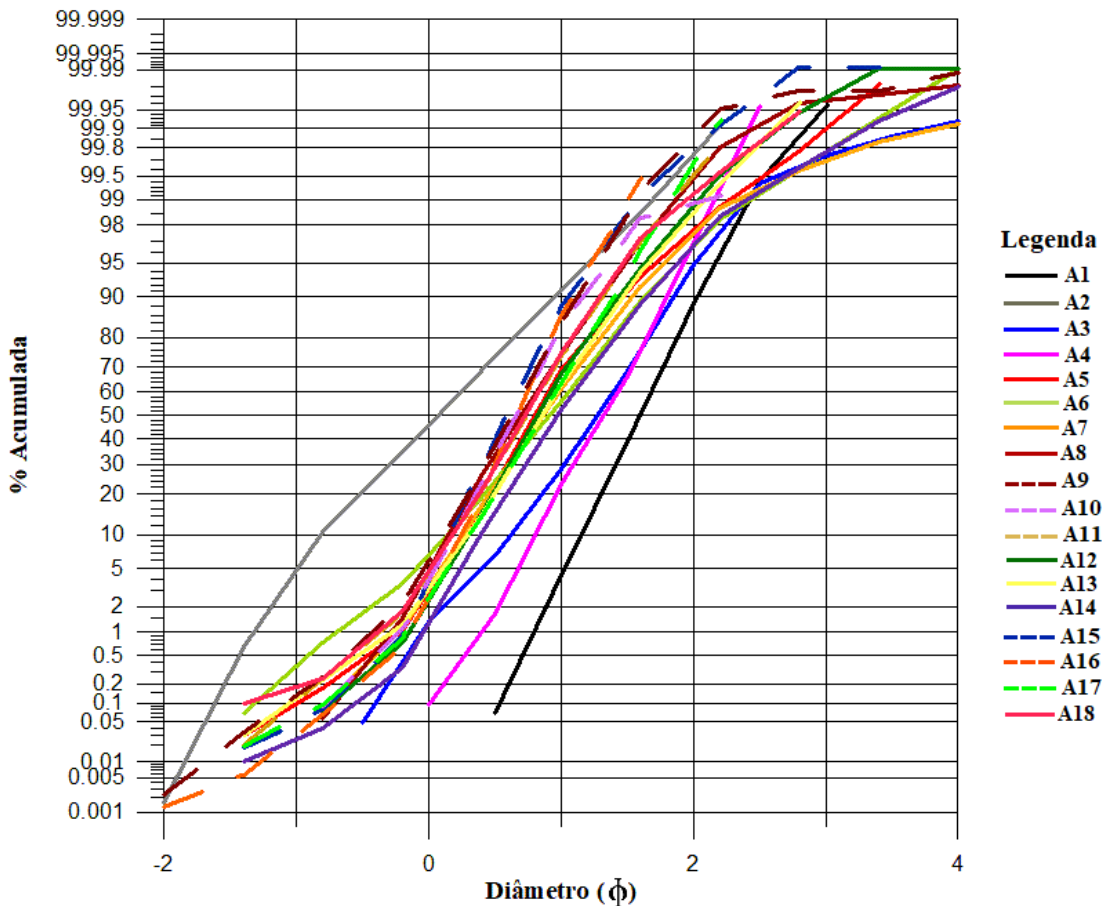


Figura 6.5 - Curvas granulométricas do conjunto de amostras.

As curvas granulométricas mostram que a distribuição do diâmetro das partículas das diferentes amostras é bastante homogênea, sendo que mais de 96% da curva de distribuição está contida entre 0 e 2  $\Phi$  e que a inclinação da curva na região central é semelhante, indicando desvio-padrão também parecido. Isto é congruente com os resultados obtidos dos diagramas bivariados. A amostra 2 foi recolhida numa superfície de deflação, como já referido anteriormente, o que leva a que apresente grãos de maior diâmetro e uma curva de distribuição diferente, sendo que a mesma corresponde também ao ponto figurativo fora dos *clusters* das restantes areias nos diagramas bivariados.

O teor em carbonatos classifica qualitativamente as amostras da seguinte forma (Tabela 6.3):

Tabela 6.3 - Classificação do teor em carbonato de cálcio, segundo Baize (1988).

Teor em $\text{CaCO}_3$	Classificação
< 2	Baixo
2 - 5	Moderado
5 - 20	Elevado
> 20	Muito elevado

As areias estudadas têm todas teor em carbonatos elevado ou muito elevado e, das observações de campo, conclui-se que esses carbonatos resultam, principalmente, de bioclastos (fragmentos de conchas de bivalves).

A Figura 6.6 ilustra o resultado da correlação linear entre o teor em carbonato de cálcio e o diâmetro médio.

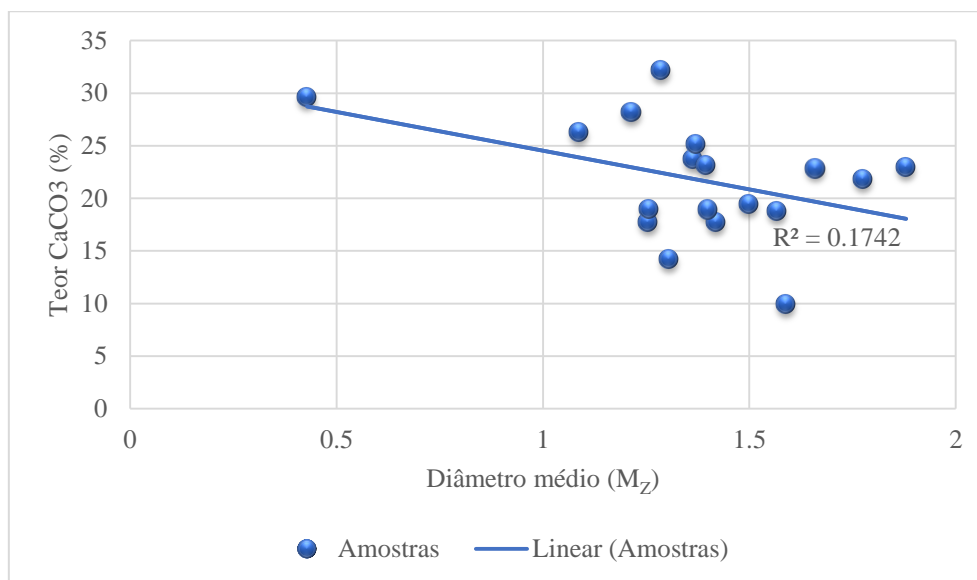


Figura 6.6 - Teor em carbonato de cálcio em função do diâmetro médio.

O coeficiente de correlação ( $r = 0.4173$ ) é muito baixo, concluindo-se que as variáveis são independentes, ou seja, o teor em carbonato de cálcio não depende do diâmetro médio das areias. Se se retirar a amostra 2 dos resultados, o coeficiente de correlação baixa ainda mais ( $r = 0.2379$  e  $r^2 = 0.0566$ ).

Os resultados obtidos da descarbonatação das amostras A6 e A11 encontram-se na Tabela 6.4 e ilustrados na Figura 6.7.

Tabela 6.4 – Parâmetros granulométricos da amostra integral e descarbonatada.

	A6	A6 descarbonatada	A11	A11 descarbonatada
<b>Diâmetro médio (<math>M_z</math>) (<math>\phi</math>)</b>	1.42	1.95	1.29	1.80
<b>Desvio-padrão (<math>\sigma</math>) (<math>\phi</math>)</b>	0.49	0.48	0.37	0.37
<b>Assimetria (<math>S_{ki}</math>)</b>	-0.02	0.006	0.03	0.05
<b>Curtose (<math>K_z</math>)</b>	1.05	1.04	1.07	1.04
<b>Classificação qualitativa</b>	Areia média	Areia média	Areia média	Areia média
<b>Calibragem</b>	Bem calibrado	Bem calibrado	Bem calibrado	Bem calibrado
<b>Distribuição de frequências</b>	Mesocúrtica	Mesocúrtica	Mesocúrtica	Mesocúrtica

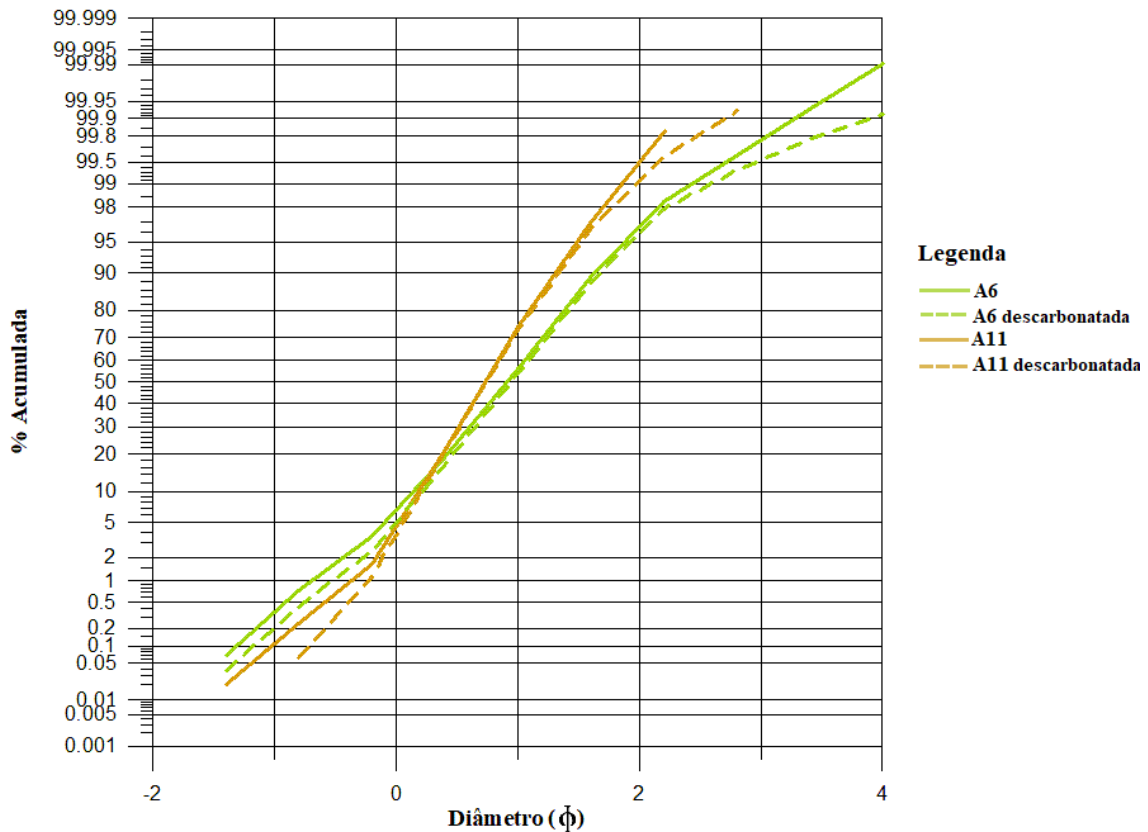


Figura 6.7 - Curvas granulométricas das amostras descarbonatadas e das respectivas iniciais.

A descarbonatação, que corresponde à remoção de bioclastos, não introduz diferenças muito significativas no sedimento total. Em relação às classificações qualitativas dos sedimentos quanto aos parâmetros da curva de distribuição granulométrica das amostras nada se altera, assim como a curtose que não altera significativamente. No entanto, o diâmetro médio diminui (apesar de pouco), à custa de uma translação da curva para a direita, o que significa que há carbonatos em todas as classes dimensionais - menos abundante no intervalo de 0.5 a 1.5  $\phi$ , que corresponde à região central das curvas de distribuição, e algo mais abundante nos extremos. A assimetria aumenta, também ligeiramente, o que indica que os carbonatos estão algo mais concentrados nas frações grosseiras do que nas finas.

Em síntese, os resultados indicam que as areias da praia da Crismina são texturalmente semelhantes às da praia do Guincho, embora ligeiramente mais finas, assim como as areias de duna também apresentam grande semelhança (na textura e no teor em bioclastos) com as areias de praia, o que é compatível com um padrão de transferência de sedimento entre praia e duna com manutenção da quase totalidade do espectro granulométrico, isto é, as areias exibem compatibilidade textural quase total; o mesmo sucederá no que respeita à alimentação sedimentar das praias para as dunas e das dunas a norte para as dunas a sul.

## 6.2 Vento

Este subcapítulo apresenta os resultados do processamento dos dados de vento.

Neste trabalho, considerou-se como ocorrência de vento eficaz (isto é, de vento com potencial para transportar areia) os períodos de observação em que a velocidade média do vento 10 m acima do solo foi igual ou superior a  $7 \text{ m.s}^{-1}$ , um valor crítico referenciado nos trabalhos de Andrade (1990) e Rato (2017).

A Figura 6.8 representa a distribuição conjunta da intensidade e rumo do vento, entre 2005 e 2019, identificando-se as ocorrências de vento eficaz, e na Tabela 6.5 é possível observar as frequências de ocorrência do vento, por rumos.

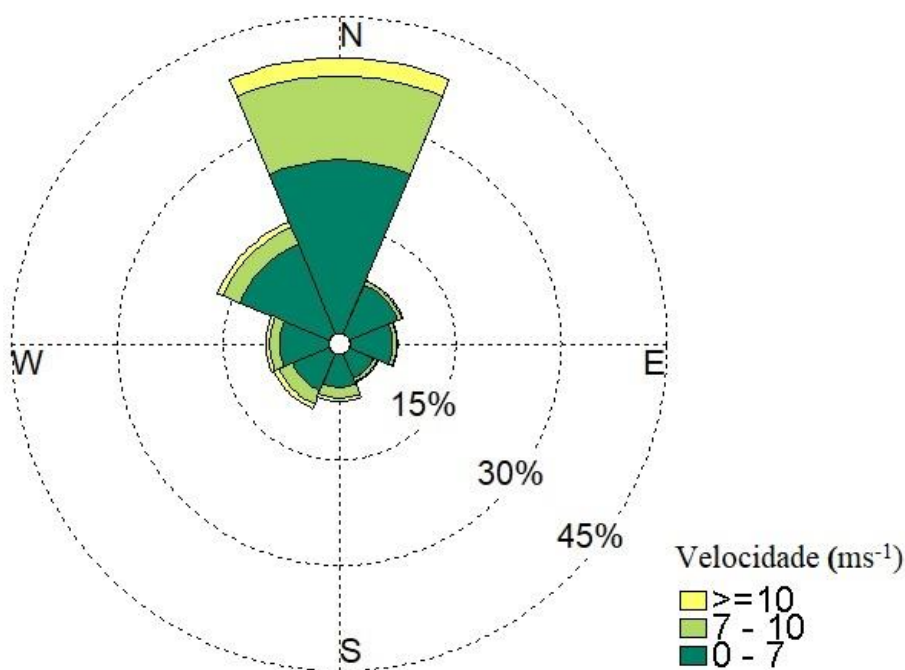


Figura 6.8 – Distribuição direcional e da intensidade do vento obtida da série temporal 2005-2019.

Tabela 6.5 - Frequências de ocorrência (em %) de vento entre 2005 e 2019, por octantes.

**Modelo numérico: 2005-2019**

<i>Octante</i>	<b>N</b>	<b>NE</b>	<b>E</b>	<b>SE</b>	<b>S</b>	<b>SW</b>	<b>W</b>	<b>NW</b>
<i>Frequência relativa (%)</i>	38.8	8.1	6.7	4.3	6.7	8.5	9.1	17.8

Regista-se uma predominância absoluta dos ventos dos octantes norte e noroeste (cerca de 57% das ocorrências), que aumenta para 65% se incluir os ventos de NE, o que combina bem com a orientação geral do corredor eólico Guincho – Guia e com o rumo inferido da morfologia e da trajetória de deslocamentos da duna da Crismina-Guincho, como indicado adiante. Os resultados indicados na Figura 6.8 e na Tabela 6.5 confirmam existência de potencial de transporte sedimentar das areias da praia do Guincho e da Crismina para as dunas, que deverá ter expressão também no interior do campo dunar.

As ocorrências de sul, sudoeste e sudeste são secundárias em termos de transporte eficaz.

Na Figura 6.9 encontra-se representada a distribuição direcional por classes de intensidade e por estações do ano. Na Tabela 6.6 é possível observar as frequências de ocorrência do vento em cada uma das estações do ano.

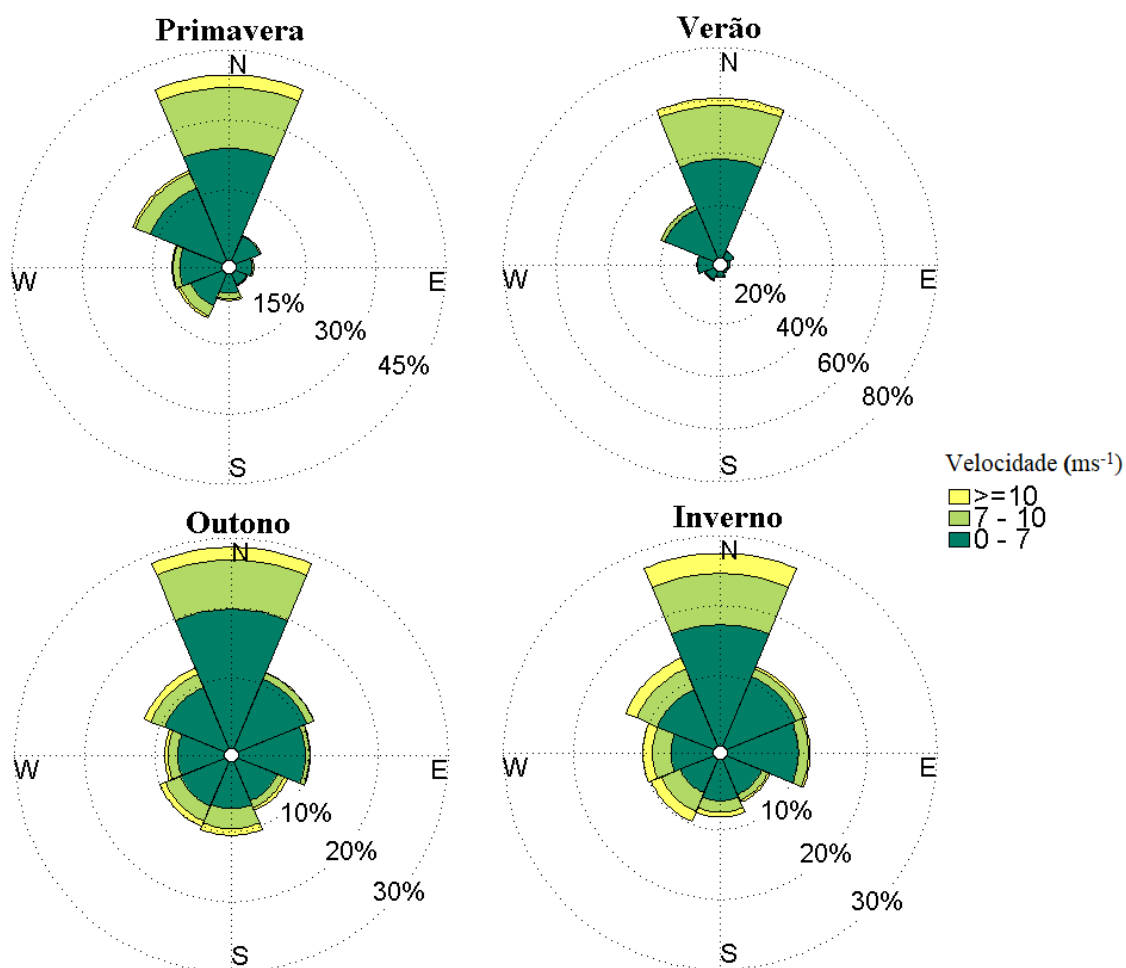


Figura 6.9 - Rosas de vento para a série temporal 2005-2019 nas diferentes estações do ano.

Tabela 6.6 - Frequências de ocorrência (em %) do vento, por octantes, para cada estação do ano (2005-2019).

**Modelo numérico: 2005-2017**

<i>Octante</i>		<b>N</b>	<b>NE</b>	<b>E</b>	<b>SE</b>	<b>S</b>	<b>SW</b>	<b>W</b>	<b>NW</b>
<b>Frequência relativa (%)</b>	<b>Primavera</b>	38.1	4.2	3.5	3.2	8.0	10.6	13.8	18.5
	<b>Verão</b>	58.5	1.3	1.2	0.8	3.5	4.5	9.9	20.3
	<b>Outono</b>	21.1	9.5	9.0	8.6	10.9	10.1	8.7	22.2
	<b>Inverno</b>	21.2	11.5	11.5	6.8	9.1	9.7	9.7	20.5

O regime de ventos na primavera é similar ao global, representado na Figura 6.8, sendo que os octantes com maior frequência de ocorrência são N e NW, seguido em importância pelos octantes W e SW. Esta observação é válida para os ventos totais e também para as ocorrências com velocidade superior a 7 m.s<sup>-1</sup>.

No verão a amplitude da distribuição direcional dos ventos reduz-se significativamente com os ventos de maior intensidade (acima de 7 m.s<sup>-1</sup>) e frequência concentrados, essencialmente, no octante norte e, secundariamente, noroeste, cobrindo cerca de 80% das ocorrências.

No outono já se registam ventos com espetro direcional mais amplo e com intensidades também mais variadas. Apesar da predominância continuar a ser de norte, os rumos de sul a noroeste encontram-se bem representados, em contraste com os de sudeste que correspondem a ocorrências muito pouco frequentes.

Analogamente ao outono, os ventos de inverno também exibem maior variabilidade direcional observando-se, para além da predominância dos ventos do quadrante norte, maiores frequências de ventos dos octantes noroeste a sudoeste, incluindo dos ventos mais intensos.

Rebêlo (2004) discute os resultados obtidos para a análise de vento entre 1978 e 1989, 1993 e 1994 e 1997 e 2003. Para a série temporal 1978-1989, a análise da distribuição direcional indicou uma clara tendência para o regime unimodal, em que o quadrante de norte dominou, tanto em frequência como em intensidade. Apesar de mais curtos, a análise de ventos entre 1993 e 1994 e entre 1997 e 2003 corroborou a tendência unimodal registada anteriormente, salientando-se também que entre 1993 e 1994 foi observada movimentação das dunas para sul-sudeste, em congruência com o rumo predominante do forçamento eólico. Rebêlo (2004) considerou assim que o regime de ventos na região é geralmente unimodal, com intensidade elevada e direccionalidade alta, o que concorda com o regime analisado neste trabalho entre 2005 e 2019, sugerindo que os seus traços fundamentais se mantiveram praticamente invariantes nos últimos quarenta anos.

Os resultados obtidos neste trabalho são congruentes com o regime de vento observado entre 1978 e 2003, analisado e discutido por Rebêlo (2004), o que significa que a direccionalidade do vento naquela região não se alterou significativamente nas últimas duas décadas.

### 6.3 Coberto Vegetal, Morfologia e Morfodinâmica Dunar

Neste ponto apresentam-se os resultados dos exercícios de cartografia de unidades de superfície com densidade e coberto vegetal diferentes. Apresentam-se primeiro os resultados obtidos com metodologias diferentes, justificando a escolha do método posteriormente utilizado para investigar a evolução no tempo dos padrões de distribuição do coberto vegetal. Finalmente, apresentam-se também os resultados do estudo da evolução da duna da Crismina entre 1999 e 2018, combinando observações de terreno com informação aferida da fotografia aérea.

#### 6.3.1 Classificação da Superfície

A comparação dos resultados obtidos através de diferentes métodos de classificação da superfície quanto ao tipo e densidade do coberto vegetal foi efetuada sobre a mesma imagem de base – o ortofotomapa de 2016 fornecido pela Câmara Municipal de Cascais.

Os resultados obtidos pelas classificações não assistida e assistida e pela fotointerpretação, para a cartografia da zona de estudo, ilustram-se nas Figura 6.10 e Figura 6.11 e na Tabela 6.7.

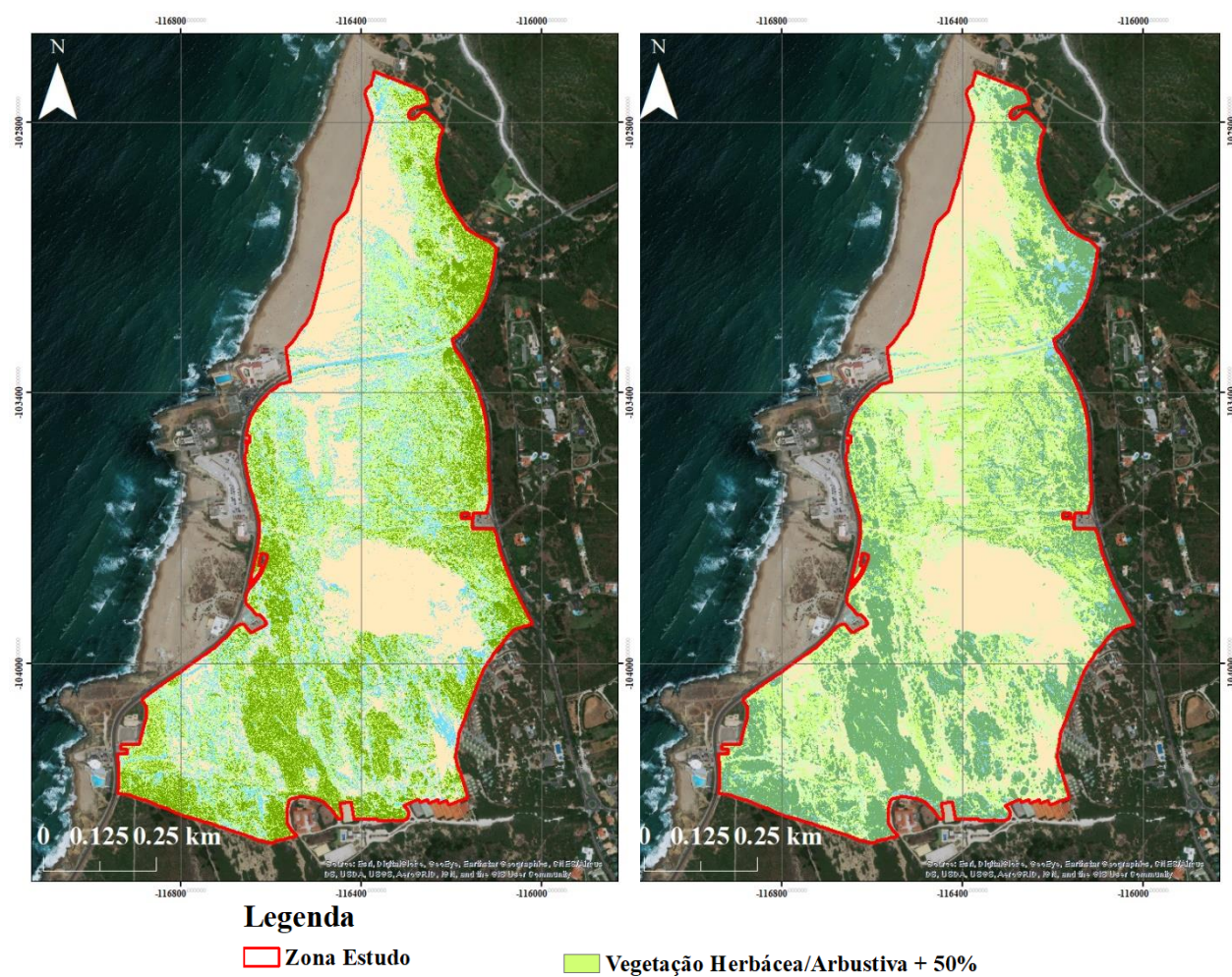


Figura 6.10 – Mapa de tipologias de coberto vegetal utilizando classificações: a) não assistida e b) assistida. Imagem de base disponibilizada pela ESRI.

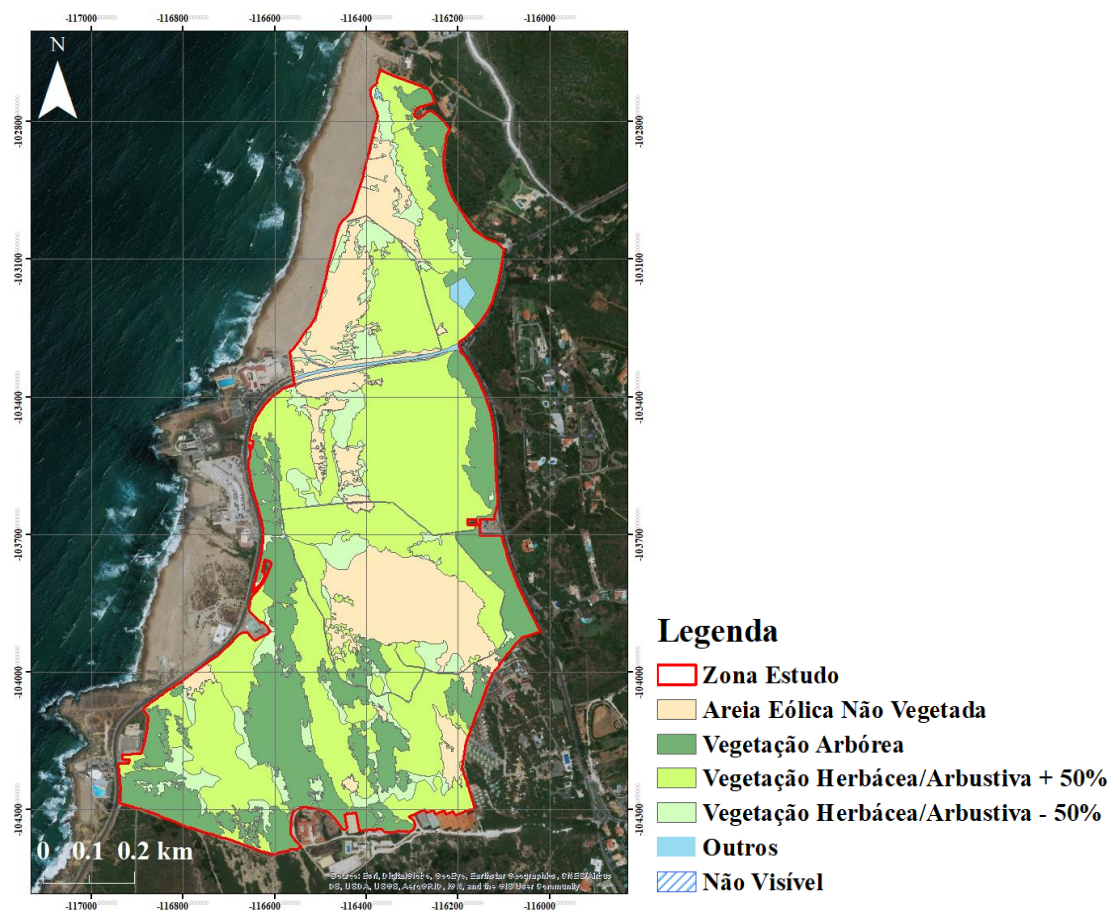


Figura 6.11 - Mapa de tipologias de coberto vegetal utilizando fotointerpretação. Imagem de base disponibilizada pela ESRI.

Na Tabela 6.7 podem observar-se as diferenças entre as áreas ocupadas (em percentagem da área total) pelos diferentes tipos de coberto produzidos pelos 3 métodos de processamento.

Tabela 6.7 - Áreas (em % da superfície total) ocupada por diferentes tipologias de coberto vegetal obtidas por diferentes métodos.

<b>Método</b>	<b>Tipo de Coberto</b>	<b>Outros</b>	<b>Areia eólica não vegetada</b>	<b>Vegetação arbórea</b>	<b>Vegetação herbácea/ arbustiva + 50%</b>	<b>Vegetação herbácea/ arbustiva - 50%</b>
	<i>Classificação Não Assistida</i>	13.3	28.2	21.0	23.6	13.9
	<i>Classificação Assistida</i>	5.2	26.8	28.0	21.9	18.1
	<i>Fotointerpretação</i>	1.2	24.8	18.1	45.4	10.5

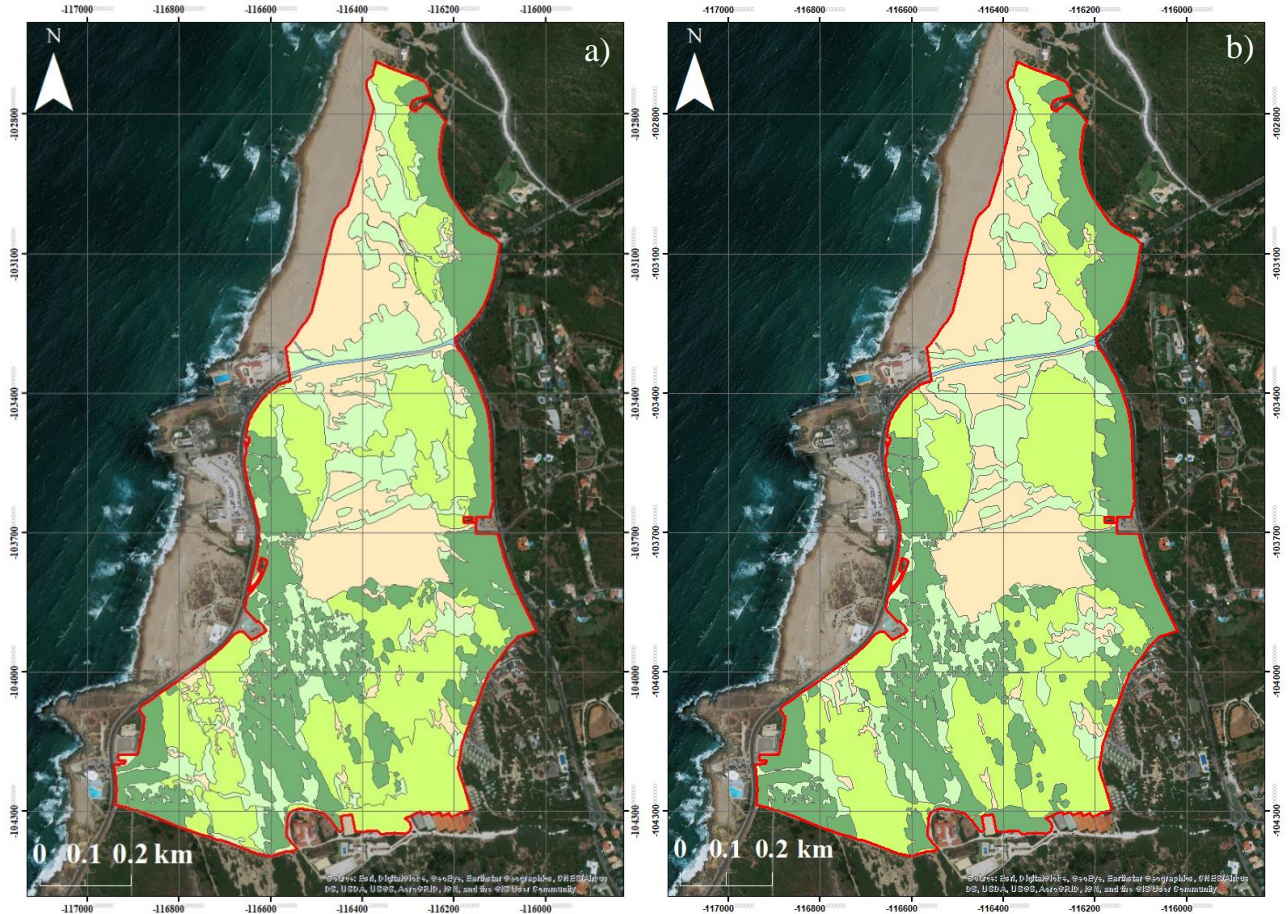
As classificações não assistida e assistida produzem resultados mais semelhantes entre si do que os obtidos por fotointerpretação. A grande vantagem destes métodos, automáticos, é que os ortofotomapas são trabalhados pixel a pixel, enquanto na fotointerpretação o operador generaliza a classificação a segmentos de superfície de maior extensão.

Embora a classificação automática aparente ser mais objetiva e rigorosa, pela elevada resolução espacial e invariância dos critérios, os resultados obtidos neste trabalho indicam que o algoritmo classifica erradamente numerosos elementos de superfície. Tal observa-se, claramente, na Figura 6.10 a) e, embora com menor expressão, na Figura 6.10 b) em que há numerosas áreas classificadas na tipologia “Outros” que, na verdade, correspondem a dunas, com ou sem coberto vegetal. Também na proporção relativa das tipologias “Vegetação arbórea” e “Vegetação herbácea/arbustiva (>50%)” se observam diferenças significativas que não correspondem à realidade. Estas observações diminuem a confiança na eficácia dos métodos automáticos.

A fotointerpretação (Figura 6.11), apesar de realizada a uma escala menor, e ocupar bastante mais tempo que os métodos automáticos, permite que a cartografia seja generalizada segundo critério (necessariamente subjetivo) do operador, evitando a proliferação de pixéis com classificações distintas no seio de uma mesma unidade com alguma consistência na tipologia do coberto vegetal. Por outro lado, em setores onde a experiência mostra que não houve variação apreciável da tipologia no tempo, obtiveram-se resultados muito semelhantes em imagens de épocas diferentes, fotointerpretadas pelo mesmo operador. Julga-se assim que a fotointerpretação produziu resultados de qualidade superior à da classificação automática, desde que se assegure manutenção dos critérios utilizados pelo operador e, preferencialmente, classificação pelo mesmo operador num intervalo de tempo curto. Por estas razões, adotou-se este último método na classificação de todas as imagens estudadas.

### 6.3.2 Evolução do Coberto Vegetal

Na Figura 6.12 é possível observar a cartografia da zona de estudo sobre os ortofotomapas de 1999 e 2002 e na Tabela 6.8 inscreveram-se as áreas, relativas à superfície total da zona de estudo, ocupadas por cada tipologia de coberto, nas duas imagens. Como referido anteriormente, a área total da zona de estudo é de cerca de 77 ha.



#### Legenda

- Zona Estudo
- Vegetação Herbácea/Arbustiva + 50%
- Outros
- Areia Eólica Não Vegetada
- Vegetação Herbácea/Arbustiva - 50%
- Vegetação Arbórea
- Não Visível

Figura 6.12 - Mapeamentos de a) 1999 e b) 2002. Imagem de base disponibilizada pela ESRI.

Tabela 6.8 - Áreas (em % da superfície total) ocupada por cada tipologia considerada.

Coberto Ano	Outros	Areia eólica não vegetada	Vegetação arbórea	Vegetação herbácea/ arbustiva + 50%	Vegetação herbácea/ arbustiva - 50%
1999	0.3	19.3	26.8	32.2	21.4
2002	0.3	20.4	28.6	31.4	19.3

Os resultados sugerem que não existem grandes diferenças entre as situações de 1999 e 2002. Ambas as tipologias de vegetação herbácea/arbustiva apresentam ter experimentado uma ligeira diminuição, tendo esta diminuição sido compensada pelo aumento das áreas ocupadas por areia eólica não vegetada e por vegetação arbórea.

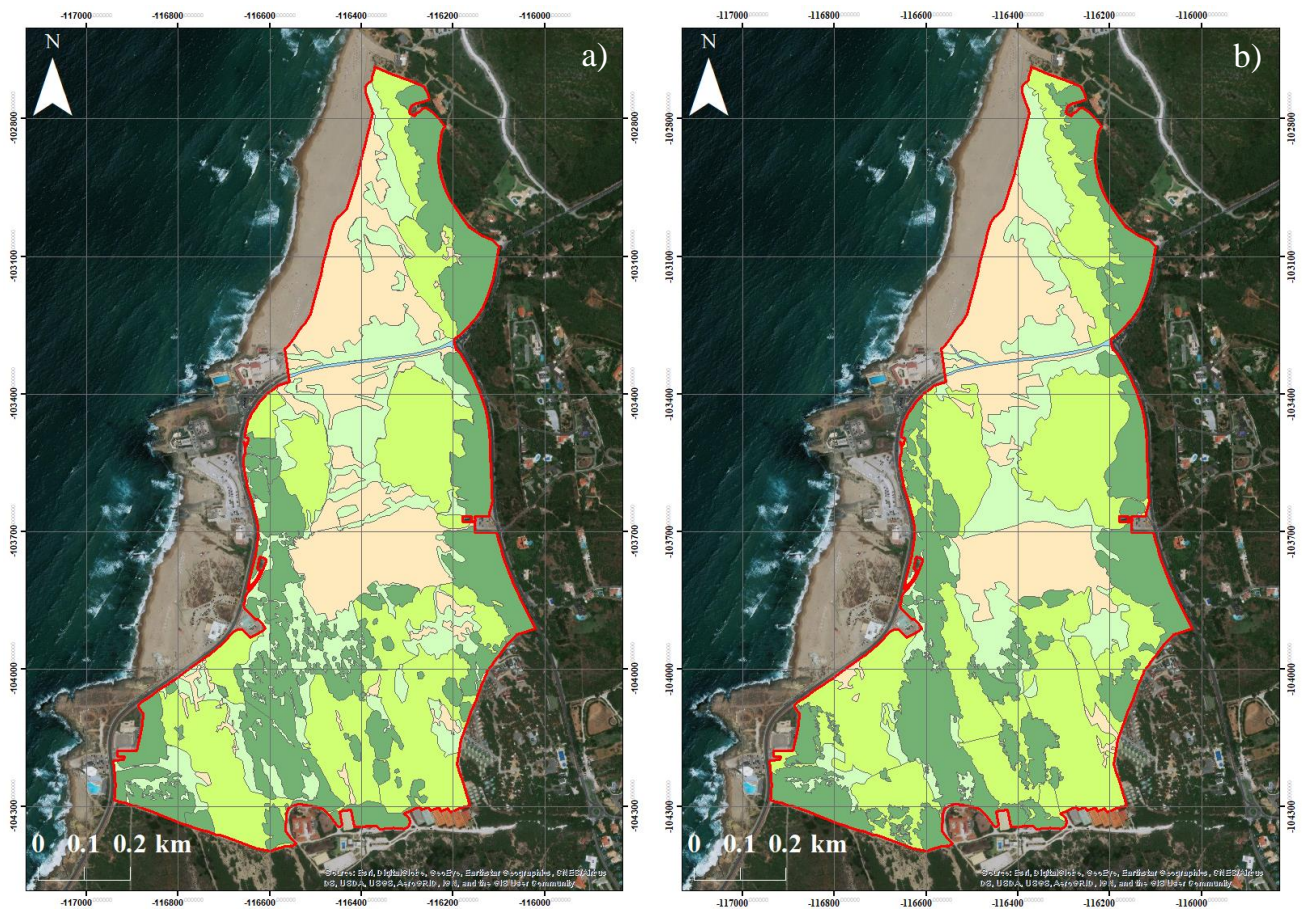
A zona a norte da EN 247 manteve-se quase inalterada, sendo que imediatamente a sul desta estrada e a norte da duna da Crismina observam-se diferenças mais notórias: parte da vegetação herbácea/arbustiva com densidade inferior a 50% foi ocupada por mais vegetação e, assim, aumentou a expressão espacial do mesmo tipo de coberto, mas com densidade superior a 50%. A vegetação arbórea regista maiores diferenças no bordo leste da área em estudo, a norte e a sul da EN 247, e perto do limite sul da zona de estudo.

A duna da Crismina apresenta uma área de 4.5 ha na imagem de 1999, enquanto em 2002 este valor subiu para 5.2 ha e este aumento (16% relativamente a 1999) foi conseguido integralmente à custa da expansão para sul da mancha de areia não vegetada, com manutenção dos limites laterais e barlavento (norte).

A modificação observada na duna, correspondeu assim ao transporte de massa e avanço do talude sotavento para sul.

Na pesquisa bibliográfica efetuada neste trabalho, encontrou-se uma notícia (Sapo Vídeos, 2014) que dá conta de um incêndio ocorrido em agosto de 2000 no PNSC. No entanto, nem a notícia é suficientemente informativa nem se encontram outros registos que indiquem as zonas afetadas, sendo também difícil ligar o impacto esperado desse incêndio com o mapeamento apresentado. Atendendo à pequena magnitude das diferenças observadas nos ortofotomapas de 1999 e 2002, assumiu-se que esse incêndio pouco ou nada terá afetado a zona de estudo.

Na Figura 6.13 e na Tabela 6.9 ilustram-se os resultados obtidos das imagens de 2002 e 2005.



## Legenda

- Zona Estudo
- Vegetação Herbácea/Arbustiva + 50%
- Outros
- Areia Eólica Não Vegetada
- Vegetação Herbácea/Arbustiva - 50%
- Não Visível
- Vegetação Arbórea

Figura 6.13 - Mapeamentos de a) 2002 e b) 2005. Imagem de base disponibilizada pela ESRI.

Tabela 6.9 - Áreas (em % da superfície total) ocupada por cada tipologia considerada.

Coberto Ano	Outros	Areia eólica não vegetada	Vegetação arbórea	Vegetação herbácea/ arbustiva + 50%	Vegetação herbácea/ arbustiva - 50%
2002	0.3	20.4	28.6	31.4	19.3
2005	0.4	15.9	27.8	39.6	16.3

Neste período já se registam diferenças mais perceptíveis em algumas tipologias.

O ténue aumento da tipologia “outros” deve-se à construção de um passadiço de acesso à praia do Guincho, na zona mais noroeste da EN 247.

A tipologia “vegetação arbórea” apresenta também perda diminuta de área, em termos globais. Este resultado esconde a diminuição significativa das manchas de vegetação arbórea junto ao limite leste da área de estudo (na região norte) e na metade norte da região a sul da EN 247. Esta diminuição é praticamente compensada pelo aumento, também significativo, da mesma tipologia na restante superfície, principalmente ao longo do corredor que se estende para SSW do restaurante Muchaxo e Fortaleza do Guincho.

Na zona norte observa-se um pequeno aumento da superfície coberta por areia eólica não vegetada. No entanto, esta tipologia diminui acentuadamente na globalidade do domínio estudado, o que se justifica pela variação imediatamente a norte da duna da Crismina, onde diversas manchas de areia não vegetada foram ocupadas por vegetação herbácea/arbustiva com densidade inferior a 50%, tal como sucedeu em parte da duna da Crismina, como referido adiante.

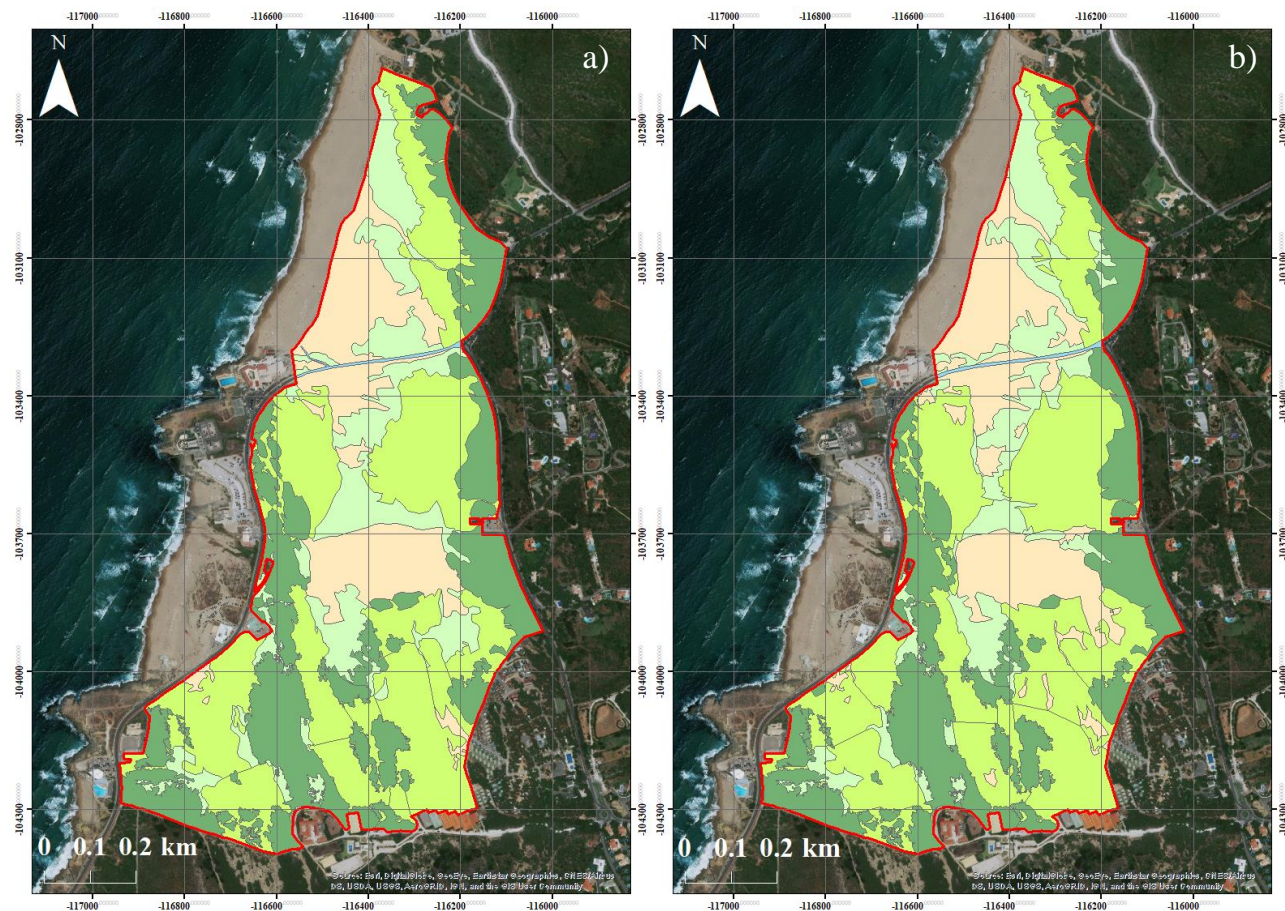
Apesar da vegetação herbácea/arbustiva com baixa densidade de cobertura ter ocupado parte significativa do domínio antes classificado como areia eólica não vegetada, a superfície desta tipologia também se reduziu, à custa de acréscimo da área ocupada por vegetação herbácea/arbustiva com densidade superior a 50%.

As áreas correspondentes à duna da Crismina em 2002 e 2005 são de 5.2 e 4.8 ha, respetivamente. Esta duna perdeu uma porção de superfície não vegetada, a sudoeste do corpo principal.

A comparação destas imagens não esclarece se o tardoz da duna da Crismina se deslocou para sul (como se poderia depreender da deslocação nesse sentido do seu limite norte), o que poderia indicar adveção da totalidade dessa massa de areia, ou se as diferenças ali encontradas correspondem apenas a ocupação de parte da superfície barlavento da duna por vegetação herbácea. Porém, a observação do limite sul nas duas imagens sugere que ocorreu submersão parcial da mancha de vegetação arbórea que se encostava ao sopé da duna na imagem de 2002. Estas observações sugerem que as diferenças agora discutidas possam corresponder a deslocamento para sul e sudeste da totalidade do corpo eólico da duna da Crismina.

Em meados de julho de 2002, deflagrou um incêndio entre a Malveira da Serra e o Guincho (Público, 2002). Todavia, considera-se que, caso este incêndio tenha resultado em impactos negativos para a zona de estudo, a mesma conseguiu recuperar até 2005, visto que não se registam diferenças correlacionáveis com as consequências expectáveis de uma perturbação desta natureza (por exemplo, diminuição da vegetação arbórea e herbácea/arbustiva, tanto com densidade superior como inferior a 50%).

Na Figura 6.14 e na Tabela 6.10 é possível observar a cartografia sobre os ortofotomapas de 2005 e 2008 bem como as áreas ocupadas por cada tipologia de coberto, em ambas as imagens.



### Legenda

- Zona Estudo
- Vegetação Herbácea/Arbustiva + 50%
- Outros
- Areia Eólica Não Vegetada
- Vegetação Herbácea/Arbustiva - 50%
- Não Visível
- Vegetação Arbórea

Figura 6.14 - Mapeamentos de a) 2005 e b) 2008. Imagem de base disponibilizada pela ESRI.

Tabela 6.10 - Áreas (em % da superfície total) ocupada por cada tipologia considerada.

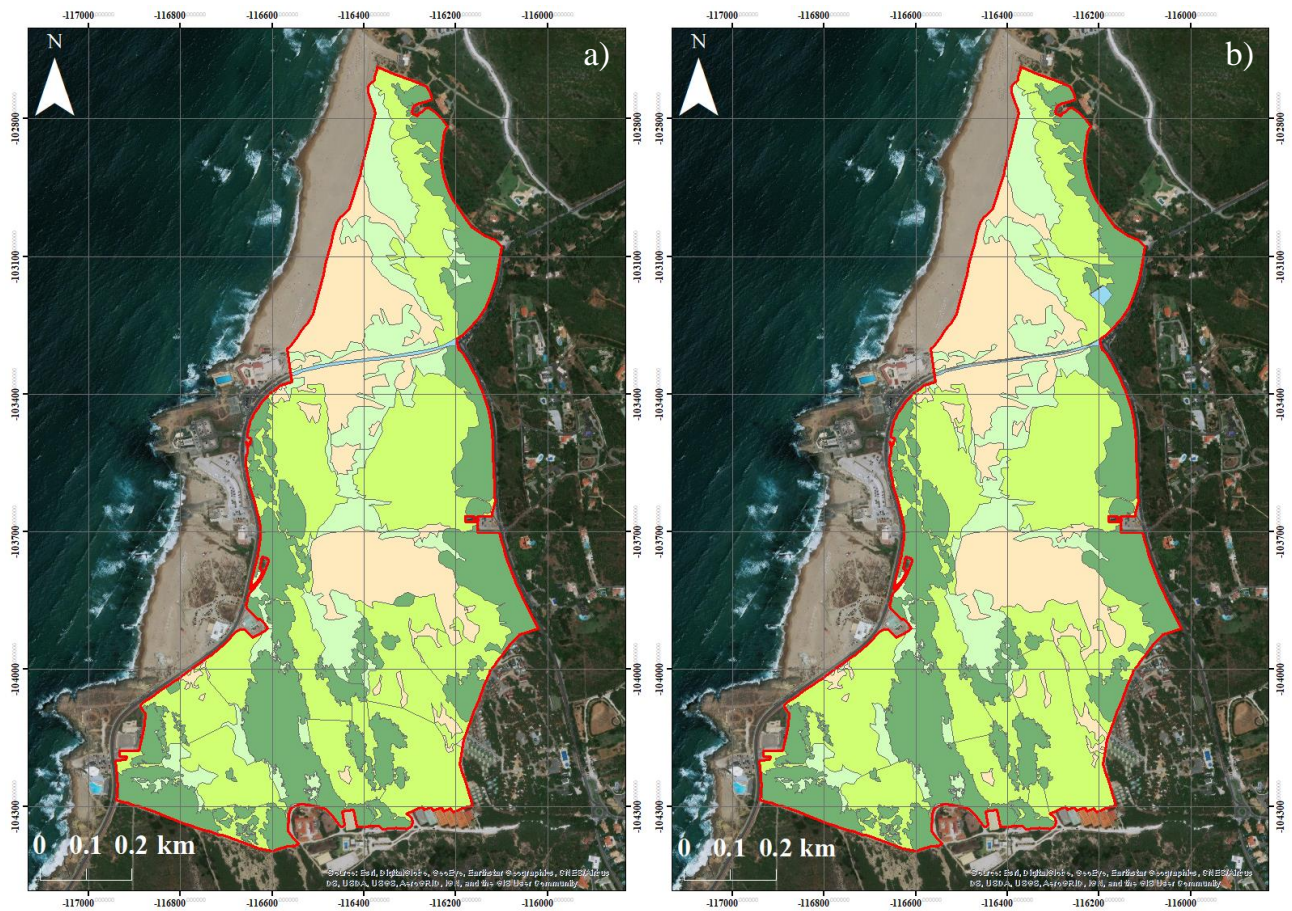
Coberto	Outros	Areia eólica não vegetada	Vegetação arbórea	Vegetação herbácea/ arbustiva + 50%	Vegetação herbácea/ arbustiva - 50%
Ano					
2005	0.4	15.9	27.8	39.6	16.3
2008	0.3	16.5	28.1	40.7	14.4

A diminuição da tipologia “Outros”, ainda que pequena, deve-se ao recobrimento por areia de um passadiço de acesso à praia do Guincho na zona mais ocidental da EN 247.

As diferenças observadas nas restantes tipologias de coberto são reduzidas, sendo de realçar a consolidação e expansão da vegetação herbácea densa no domínio a norte da vertente barlavento da duna da Crismina, na qual se observa também o crescimento para sul de um “braço” alongado, na região nascente do limite sul. Este corpo alongado, recobre a superfície antes ocupada por vegetação herbácea/arbustiva com densidade inferior a 50%.

Em 2005 a área da duna da Crismina era de 4.8 ha e em 2008 de 4.6 ha, o que significa que manteve a expressão espacial praticamente invariante, apesar de se ter deslocado para SE, dando assim continuidade ao processo de recobrimento da vegetação arbórea referida acima que se a uma pequena mancha na imagem mais recente.

Na Figura 6.15 e na Tabela 6.11 encontram-se os resultados obtidos da cartografia sobre os ortofotomapas de 2008 e 2010.



### Legenda

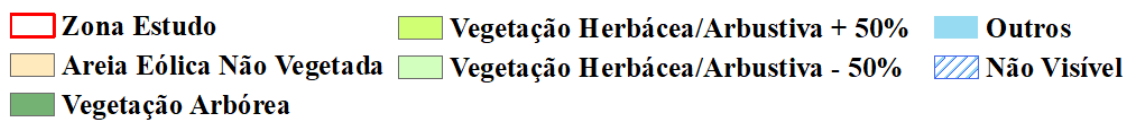


Figura 6.15 - Mapeamentos de a) 2008 e b) 2010. Imagem de base disponibilizada pela ESRI.

Tabela 6.11 - Áreas (em % da superfície total) ocupada por cada tipologia considerada.

Coberto Ano	Outros	Areia eólica não vegetada	Vegetação arbórea	Vegetação herbácea/ arbustiva + 50%	Vegetação herbácea/ arbustiva - 50%
	2008	0.3	16.5	28.1	40.7
2010	0.5	17.8	27.6	40.4	13.7

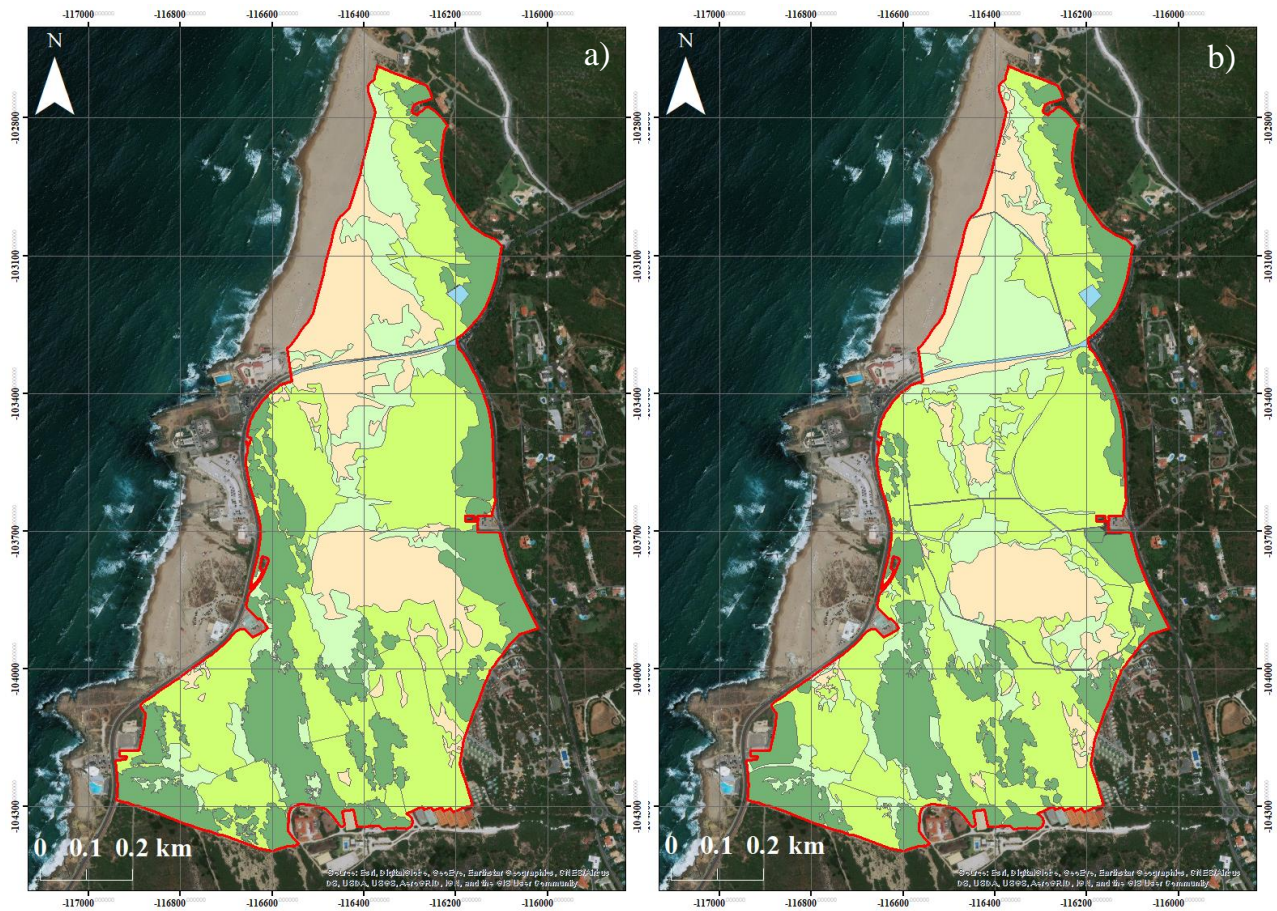
Entre 2008 e 2010 não se observam também diferenças significativas.

O aumento da tipologia “Outros” deve-se à implantação de um edificado (casa de habitação) na zona norte, afetando área ocupada por vegetação arbórea.

Tanto a vegetação herbácea/arbustiva com densidade inferior a 50% como a com densidade superior a 50% reduzem área em virtude de afogamento por areias eólicas não vegetadas. Na terminação nascente do limite sul da duna da Crismina, o “braço” referido acima aumentou em comprimento e largura. O limite sul da duna continuou em deslocamento para sul – observa-se obliteração total da mancha de vegetação arbórea pré-existente – enquanto o limite norte se mantém invariante. A nascente, observa-se ainda expansão para leste da área ocupada pela duna, que invade terrenos previamente ocupados por vegetação arbórea e arbustiva densa e restabelece-se o corredor eólico ligando as dunas da zona norte e sul, através da EN 247. Na região SE da área de estudo merece ainda destaque a desorganização do coberto vegetal junto ao parque de campismo, com surgimento de pequenas manchas de areia não vegetada, correspondentes a múltiplas estruturas de deflação de pequenas dimensões.

Em 2008 a duna da Crismina apresentava uma área de 4.6 ha, enquanto em 2010 este valor subiu para 5.1 ha. A diferença, apesar de não ser muito grande, justifica-se pelo contínuo fornecimento de areias vindas de norte e noroeste e pelo contínuo afogamento do coberto vegetal pelas areias da duna em movimento.

Na Figura 6.16 e na Tabela 6.12 ilustram-se os resultados obtidos das imagens de 2010 e 2013.



### Legenda

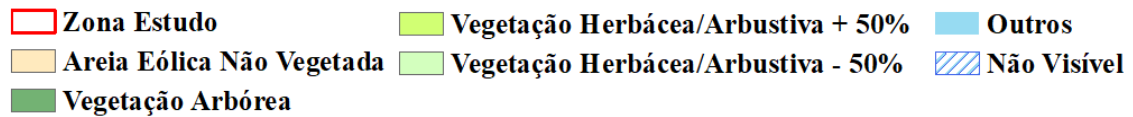


Figura 6.16 - Mapeamentos de a) 2010 e b) 2013. Imagem de base disponibilizada pela ESRI.

Tabela 6.12 - Áreas (em % da superfície total) ocupada por cada tipologia considerada.

Coberto Ano	Outros	Areia eólica não vegetada	Vegetação arbórea	Vegetação herbácea/ arbustiva + 50%	Vegetação herbácea/ arbustiva - 50%
	2010	0.5	17.8	27.6	40.4
2013	0.9	13.4	20.8	45.7	19.2

Em 2010 iniciaram-se os trabalhos de intervenção no campo dunar como descrito anteriormente, e os impactos dessa intervenção foram muito significativos, como se observa na imagem de 2013.

O aumento da tipologia “Outros” deve-se à construção de passadiços sobrelevados na zona sul, para controlo de pisoteio.

A área ocupada pela tipologia de areia eólica não vegetada sofreu uma quebra considerável, devido à instalação de regeneradores dunares (materializados por paliçada de retenção de areias e plantação de espécies vegetais dunares) a norte e a sul da EN 247 e, ainda a SE da duna da Crismina. Entre 2011 e 2012 houve necessidade de recuperar e elevar as paliçadas de retenção devido à grande acumulação de areias que recobriram na totalidade as estruturas inicialmente instaladas.

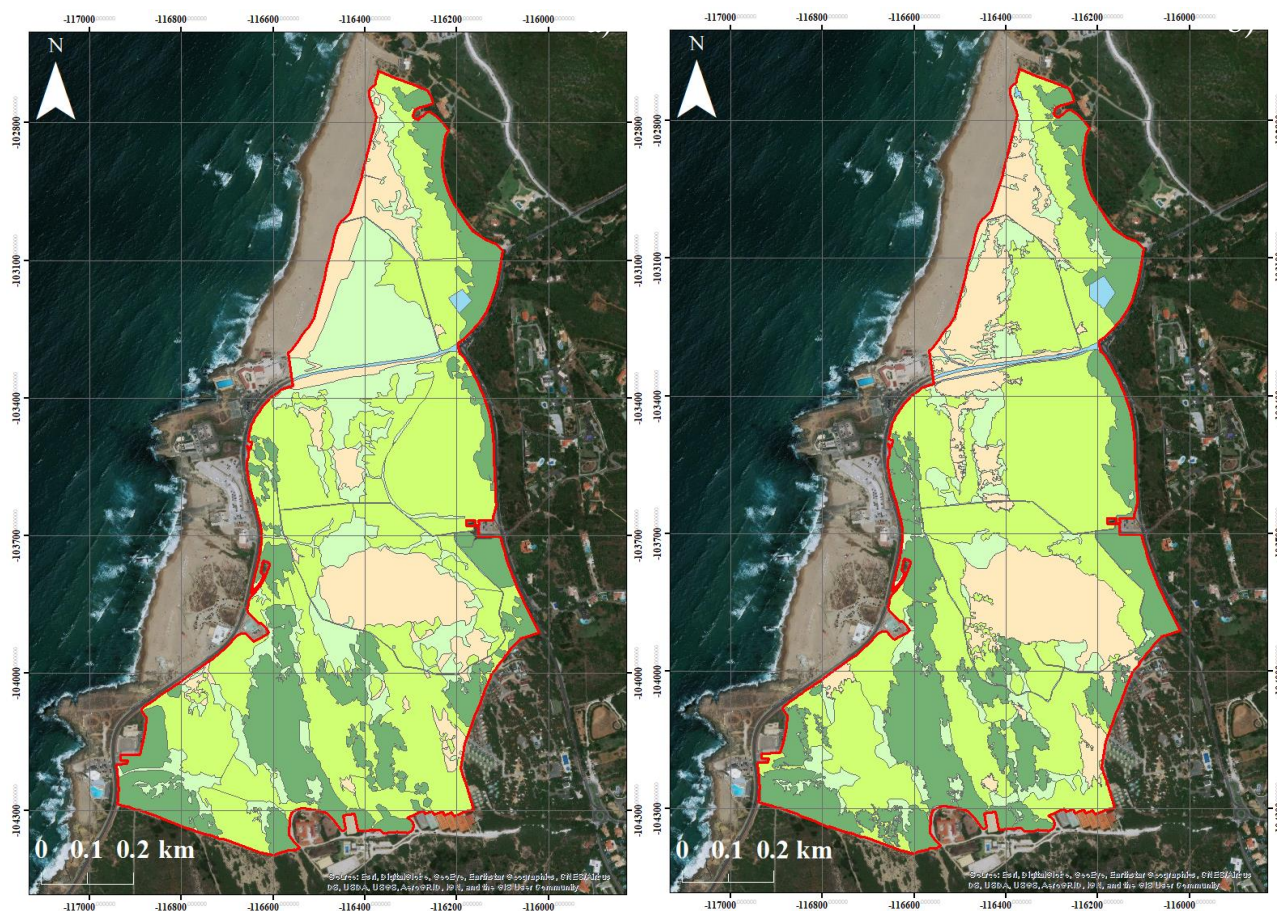
Em consequência, a maior parte das dunas e mantos de areia não vegetados da região meridional da zona norte passaram à classificação de superfície ocupada por vegetação herbácea/arbustiva com densidade inferior a 50%, embora no extremo setentrional desta mesma zona se tenha observado progradação para nascente de areias não vegetadas. O mesmo sucedeu imediatamente a sul da EN 247, no troço entre o cruzamento desta estrada com a Rua da Areia e o restaurante Muchaxo, e ainda a SE da duna da Crismina, em relação direta com a instalação de regeneradores. A tipologia de vegetação herbácea/arbustiva com densidade superior a 50% aumentou significativamente a sua expressão espacial e parte desse aumento é interpretado como um resultado da plantação de espécies herbáceas/arbustivas no contexto da intervenção de restauro e requalificação ambiental. Porém, a parte mais significativa deste aumento deve-se à elevada redução da superfície ocupada por vegetação arbórea ao longo do limite nascente da área de estudo, bem como da secção norte do corredor de árvores a poente, junto à praia da Crismina.

Encontrou-se notícia de um incêndio ocorrido em meados de julho de 2010 no PNSC (SIC Notícias, 2010). Porém, o relato não localiza exatamente as zonas afetadas, não permitindo assim comparação entre o mapeamento apresentado na Figura 6.16 e a distribuição de áreas ardidas. Contudo, será uma explicação possível para uma redução tão acentuada nesta tipologia de coberto vegetal.

Em 2010 a duna da Crismina apresentava uma área de 5.1 ha, enquanto em 2013 este valor desceu para 4.4 ha, sendo esta diminuição justificada pela instalação dos regeneradores na zona a SE da mesma, levando à fragmentação do “braço” anteriormente referido e ao isolamento de um corpo arenoso a sul.

Neste período, reconhece-se ainda que a duna da Crismina sofreu deslocamento considerável para SE.

Na Figura 6.17 e na Tabela 6.13 é possível observar a cartografia sobre os ortofotomapas de 2013 e 2016 bem como as áreas ocupadas por cada tipologia de coberto, em ambas as imagens.



### Legenda

- Zona Estudo
- Vegetação Herbácea/Arbustiva + 50%
- Outros
- Areia Eólica Não Vegetada
- Vegetação Herbácea/Arbustiva - 50%
- Vegetação Arbórea
- Não Visível

Figura 6.17 - Mapeamentos de a) 2013 e b) 2016. Imagem de base disponibilizada pela ESRI.

Tabela 6.13 - Áreas (em % da superfície total) ocupada por cada tipologia considerada.

Ano	Coberto				
	Outros	Areia eólica não vegetada	Vegetação arbórea	Vegetação herbácea/ arbustiva + 50%	Vegetação herbácea/ arbustiva - 50%
2013	0.9	13.4	20.8	45.7	19.2
2016	1.2	18.1	24.8	45.4	10.5

Entre 2013 e 2016 as ações de conservação e restauro dunar tiveram continuidade, e consistiram, essencialmente, na colocação de novas linhas de regeneradores dunares nos perímetros anteriormente intervencionados.

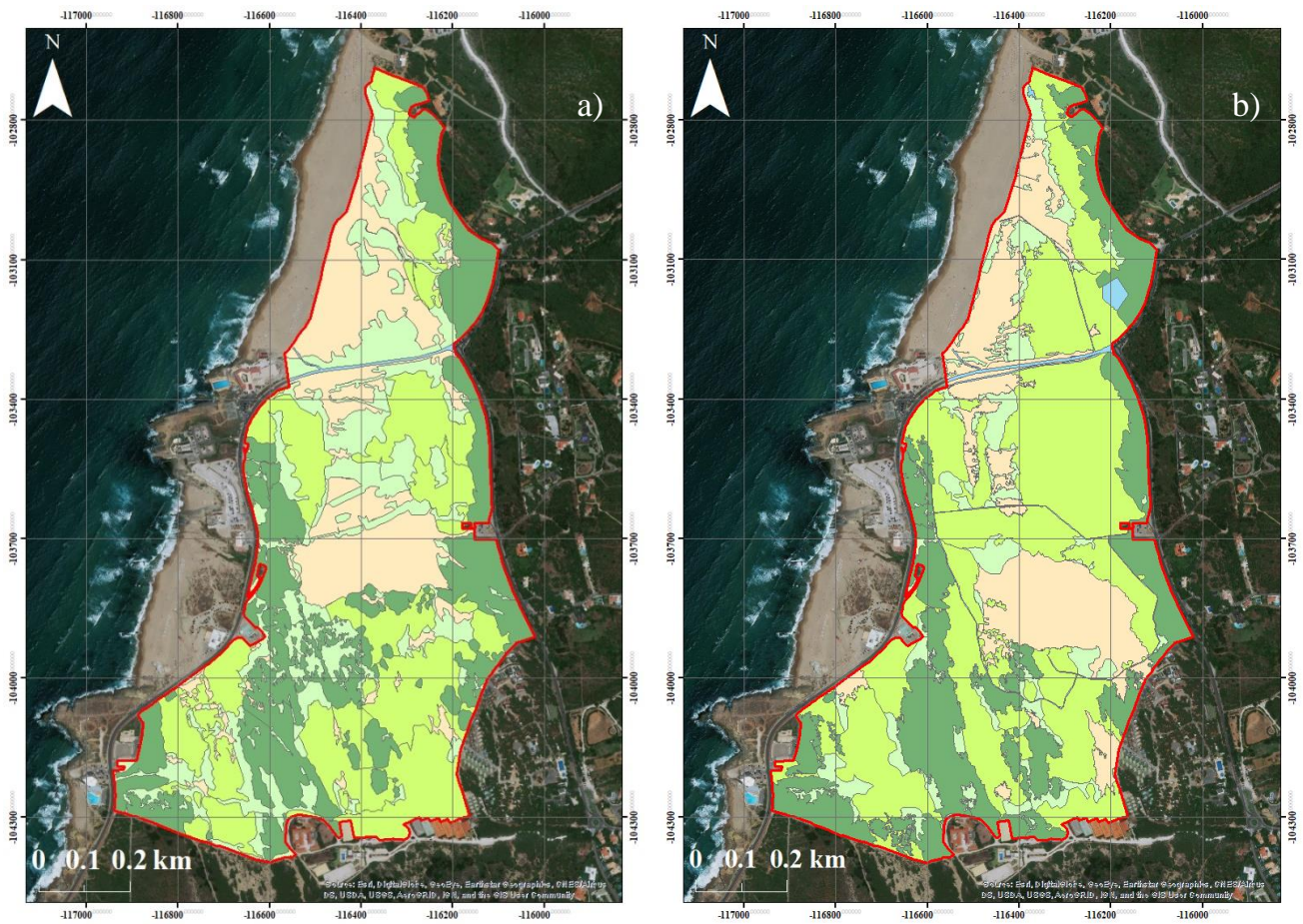
O pequeno aumento da tipologia “Outros” deve-se à necessidade de reforçar e substituir passadiços sobreelevados. A este respeito, vale a pena notar que o troço NW-SE do passadiço a sul da região poente da duna da Crismina foi submerso pela duna, obrigando a uma reconfiguração do traçado daquela via.

Apesar da existência dos regeneradores, é visível o aumento da área ocupada por areia eólica não vegetada, tanto a norte como a sul da EN 247. Na região nascente da zona norte, o domínio intervencionado (que, na imagem de 2013 surgia coberto por vegetação esparsa) evoluiu para um coberto mais denso, provavelmente associado a agradação lenta dos corpos eólicos e a afluxo de areias reduzido. Porém, a poente, houve recobrimento por mantos de areia não vegetada, sugerindo que as transferências sedimentares da praia para o campo de dunas intervencionado excederam a eficácia das estruturas de retenção e também a capacidade de adaptação da vegetação ao afogamento por areias, indicando caudais sólidos elevados. As diferenças entre estas imagens sugerem ainda que a movimentação de areias, nesta região, se processou essencialmente para nascente, embora não tenha sido possível confirmar este sentido de transporte através de critérios morfológicos na imagem mais recente.

A superfície ocupada pela duna da Crismina aumentou substancialmente de 2013 para 2016, de 4.4 para 5.9 ha. Este aumento expressa-se principalmente na zona a SE da duna, onde a vegetação herbácea/arbustiva com densidade inferior a 50% foi afogada e, ainda, pela incorporação na duna da massa de areias anteriormente isolada, na extremidade sul do “braço”, junto do parque de campismo. Também as pequenas estruturas de deflação referenciadas na imagem de 2013 coalesceram para produzir uma única estrutura maior, cuja superfície de deflação tem alargado e crescido para barlavento e cujo lobo sotavento se encosta à estrada que margina o parque de campismo.

Entre os anos aqui representados, continua destacável o avanço da duna da Crismina para S-SE.

Na Figura 6.18 e na Tabela 6.14 ilustram-se os resultados obtidos das imagens de 1999 e 2016.



### Legenda

- Zona Estudo
- Vegetação Herbácea/Arbustiva + 50%
- Outros
- Areia Eólica Não Vegetada
- Vegetação Herbácea/Arbustiva - 50%
- Não Visível
- Vegetação Arbórea

Figura 6.18 - Mapeamentos de a) 1999 e b) 2016. Imagem de base disponibilizada pela ESRI.

Tabela 6.14 - Áreas (em % da superfície total) ocupada por cada tipologia considerada.

Coberto	Outros	Areia eólica não vegetada	Vegetação arbórea	Vegetação herbácea/ arbustiva + 50%	Vegetação herbácea/ arbustiva - 50%
Ano					
1999	0.3	19.3	26.8	32.2	21.4
2016	1.2	18.1	24.8	45.4	10.5

Aqui comparam-se os ortofotomapas mais antigo e mais recente trabalhados no âmbito deste estudo.

A tipologia “Outros” aumentou devido às construções que foram sendo implementadas ao longo dos anos, como foi referido anteriormente.

A área ocupada pelo areal não vegetado não se altera muito de 1999 para 2016, pois apesar de a norte da EN 247 se notar uma diminuição significativa deste tipo de coberto, o mesmo é compensado por aumento a sul, principalmente na região da duna da Crismina.

A maior diferença entre as duas imagens corresponde à área ocupada pelos diferentes tipos de vegetação não arbórea. As manchas correspondentes a vegetação herbácea/arbustiva com densidade superior a 50% aumentaram consideravelmente, ao contrário da vegetação herbácea/arbustiva com densidade inferior a 50% que reduziu significativamente. Este facto justifica-se pelas obras de intervenção no campo, já referenciadas, entre 2010 e 2016. É de salientar que a comparação direta destas duas imagens esconde toda uma evolução, marcada primeiro por recessão e seguida depois por avanço das areias dunares para terra, na zona norte.

A vegetação arbórea perdeu parte da sua área, podendo ser justificado, ainda que com reservas, pelos incêndios que se sucederam em diferentes anos; é possível que o tempo decorrido até à data do levantamento mais recente não tenha sido suficiente para possibilitar a recuperação total deste coberto. Apesar da área da duna da Crismina ter variado, como foi sendo evidenciado nas comparações anteriores, a mesma apresentava em 1999 um valor de 4.5 ha, enquanto em 2016 este valor cresceu para 5.9 ha. No entanto, este acréscimo de área não significa necessariamente mais areia em movimento, pode apenas corresponder ao incremento de superfície arenosa disponível para deflação, por morte da vegetação e/ou modificação da forma no sentido de o corpo dunar se tornar mais achatado, mantendo o volume.

A comparação destes dois mapeamentos ilustra claramente a movimentação da duna da Crismina para S-SE. Adiante, apresentam-se os resultados da quantificação dos ritmos desta migração no tempo. O corpo arenoso anteriormente referenciado a SE da duna, junto do parque de campismo, tem igualmente incrementado a sua superfície, mas esta modificação corresponde essencialmente à expansão em largura e comprimento de uma estrutura de deflação. O lobo frontal da estrutura interseta a estrada junto ao parque de campismo e é possível que as areias mobilizadas para sotavento (e que invadem a estrada) sejam removidas por meios mecânicos com alguma regularidade.

Na noite de 6 para 7 de outubro de 2018 deflaram um incêndio que atingiu o sistema dunar do Guincho, levando à destruição de vegetação arbórea, vegetação herbácea/arbustiva e afetando alguns passadiços junto à estrada das Areias (Expresso, 2018). Aquando da saída de campo de 28 de janeiro de 2019 foi possível observar que a notícia transmite uma informação algo exagerada no que respeita aos impactos no sistema dunar do Guincho-Crismina. De facto, embora o incêndio tenha destruído cerca de 500 ha de floresta do PNSC (de acordo com a notícia), a área ardida no domínio mais restrito das dunas do Guincho-Crismina restringiu-se a uma faixa estreita, marginando a estrada que corre ao longo do limite nascente da área de estudo (Figura 6.19). O edifício do núcleo de interpretação não foi afetado e também não se encontraram vestígios da sua ação na rede de passadiços pedonais.

Por outro lado, observou-se, no terreno, que logo após este incêndio foram tomadas medidas de recuperação, essencialmente traduzidas pela introdução de plantas nos locais onde o fogo consumiu vegetação (Figura 6.19); acresce ainda que o mesmo tipo de intervenção foi efetuado a poente, junto à estrada marginal, em setores limitados, mas independentemente de qualquer impacto associado aquele incêndio. Não foi possível obter informação junto das autoridades competentes sobre o plano de reflorestação ou tipologia de espécies introduzidas, nem sobre a duração desta operação.



*Figura 6.19 – Zona afetada pelo incêndio de outubro de 2018, a poente da estrada das Areia; as estacas verdes são entubamentos de proteção a plantas re-introduzidas já depois do incêndio. Fotografia obtida em 28/01/2019.*

Na Tabela 6.15 encontra-se um resumo das áreas ocupadas por cada tipo de coberto em diferentes momentos e na Figura 6.20 apresenta-se uma representação gráfica dessa evolução.

Tabela 6.15 - Áreas (em % da superfície total) ocupada por cada tipologia considerada.

Coberto	Área (%)						
	Orto 1999	Orto 2002	Orto 2005	Orto 2008	Orto 2010	Orto 2013	Orto 2016
Outros	0.3	0.3	0.4	0.3	0.5	0.9	1.2
Não visível	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Areia eólica não vegetada	19.3	20.4	15.9	16.5	17.8	13.4	18.1
Vegetação arbórea	26.8	28.6	27.8	28.1	27.6	20.8	24.8
Vegetação herbácea/ arbustiva + 50%	32.2	31.4	39.6	40.7	40.4	45.7	45.4
Vegetação herbácea/ arbustiva - 50%	21.4	19.3	16.3	14.4	13.7	19.2	10.5

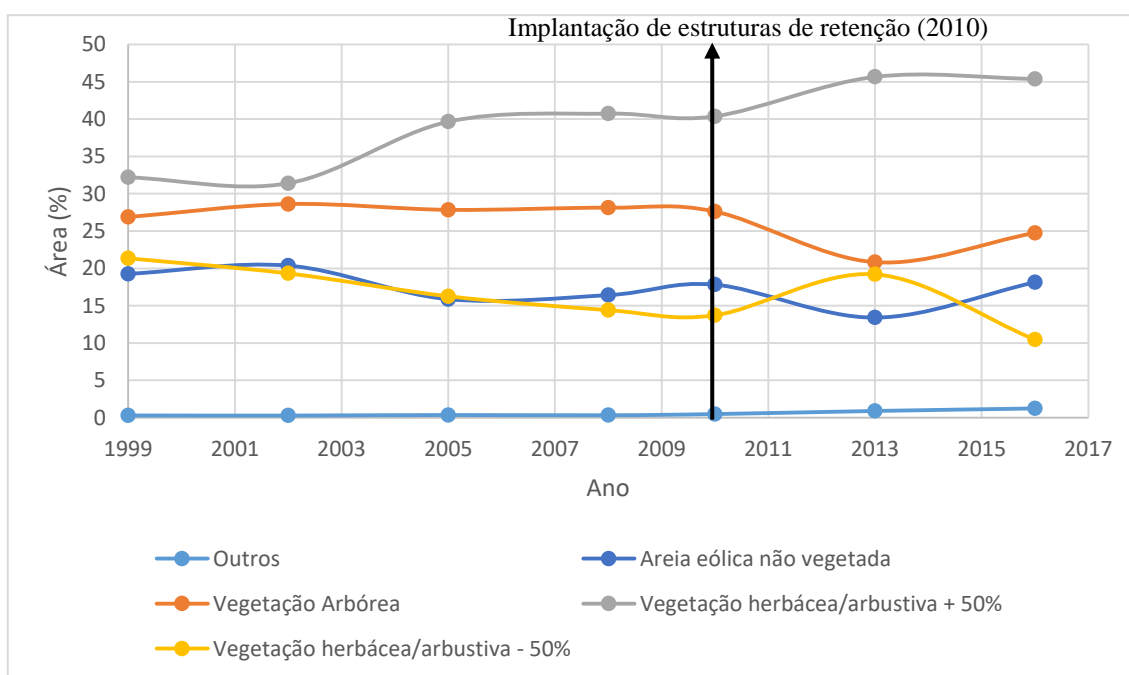


Figura 6.20 - Evolução da área ao longo dos anos de cada tipo de coberto.

As áreas determinadas para a tipologia “Não visível” não têm expressão espacial suficiente para merecer comentário. As diferenças registadas na tipologia “Outros” são mínimas e justificam-se pela modificação do número e traçado dos passadiços sobreelevados, bem como de edifícios construídos entre 1999 e 2016.

A área referente à tipologia “areia eólica não vegetada” decresceu menos de 1 ha entre 1999 e 2016. Considera-se esta diferença como não significativa em termos globais visto que, do ponto de vista da distribuição espacial e localização das manchas de areia não vegetada, este resultado esconde variabilidade significativa ao longo do tempo. Também a ocupação do coberto por vegetação arbórea decresceu 1.4 ha no mesmo período, o que se pode justificar, pelo menos em parte, através da submersão de manchas arbóreas pela duna da Crismina e por mantos de areia em migração ou expansão, e também pelos incêndios que repetidamente afetaram a área de estudo, particularmente ao longo do seu limite nascente. A diferença mais significativa refere-se às áreas ocupadas por vegetação herbácea/arbustiva, tanto com densidade superior a 50%, como com densidade inferior a 50%. A superfície ocupada por estes dois tipos de coberto varia de forma inversa, isto é, ao aumento de uma das tipologias corresponde, embora de forma nem sempre proporcional, diminuição da outra.

O aumento da área ocupada pela vegetação herbácea/arbustiva com densidade superior a 50% é interpretado como resultado das intervenções de restauro e recuperação realizadas entre 2010 e 2016 que, para além da colocação de barreiras artificiais para mobilização de areias pelo vento, incluíram a plantação de espécies herbáceas vivazes com o objetivo de acelerar o processo de formação e estabilização dunar. Estas espécies terão sido plantadas em locais em que não haveria qualquer tipo de coberto (areal não vegetado) ou onde o coberto apresentava densidade inferior a 50% e, conseqüentemente, a expressão destas últimas áreas diminuiu.

Na Tabela 6.16 encontra-se um resumo dos valores de área ocupada pela duna da Crismina em cada ano analisado e na Figura 6.21 apresenta-se uma representação gráfica desses valores.

*Tabela 6.16 - Áreas (em ha) da duna da Crismina, em diferentes momentos.*

	<b>Orto 1999</b>	<b>Orto 2002</b>	<b>Orto 2005</b>	<b>Orto 2008</b>	<b>Orto 2010</b>	<b>Orto 2013</b>	<b>Orto 2016</b>	<b>Orto 2018</b>
<b><i>Área Duna Crismina</i></b>	4.5	5.2	4.8	4.6	5.1	4.4	5.9	5.8

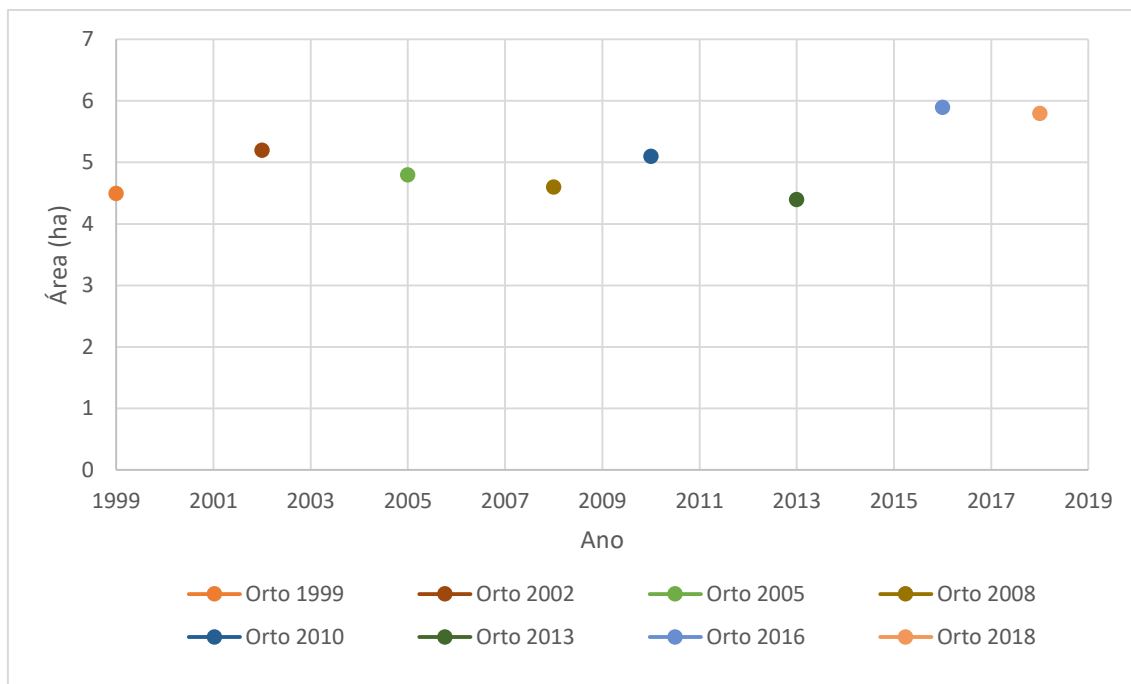


Figura 6.21 - Evolução da área da duna da Crismina ao longo dos anos.

Em geral, a área ocupada pela grande duna da Crismina não se modifica muito (Tabela 6.16). Merece destaque a evolução, negativa, observada entre 2010 e 2013, uma diminuição devido à plantação de vegetação, para tentar estabilizar a mesma, e construção de passadiços, para evitar a destruição da vegetação (que opera como estrutura de retenção), configurando uma tentativa de minimizar ou anular a reativação deste corpo dunar, e promover a sua estabilização. No entanto, a duna continuou a progradar para sul e sudeste, aumentando novamente de área entre 2013 e 2016. Entre 2016 e 2018 a diferença já não é significativa, apesar deste corpo dunar continuar em progradação para sul e sudeste.

### 6.3.3 Evolução do Sopé da Duna da Crismina

A quantificação da movimentação da duna da Crismina foi efetuada recorrendo à identificação da linha que materializa o sopé da vertente de precipitação em diferentes momentos. Para tal, recorreu-se a levantamentos no terreno daquelas linhas (dados de 2018 e 2019) e à sua digitalização nos ortofotomapas disponíveis (Figura 6.22). Optou-se por medir o deslocamento da duna em função do posicionamento da linha do sopé em detrimento da linha de crista devido a dificuldades de identificação da segunda em muitos ortofotomapas. Utilizou-se o *software* DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*) para gerar um pente de 6 perfis equidistantes e ortogonais a uma linha de base arbitrária e quantificar a distância que separava essa linha de base da linha do sopé, com os resultados ilustrados na Figura 6.22 e indicados na Tabela 6.17. É de salientar que as linhas de sopé da duna são altamente irregulares, sendo que a mesma progradiou para SSE até 2010 e depois progradiou preferencialmente para sul.

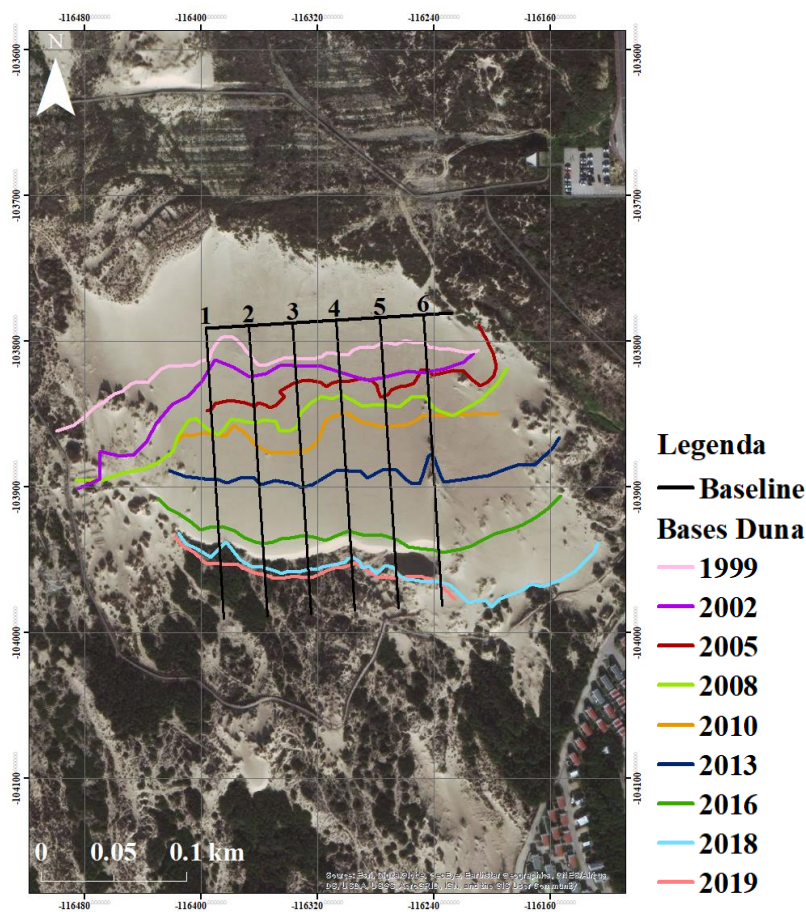


Figura 6.22 – Representação da linha do sopé da duna da Crismina em diferentes momentos: a negra a linha de base e o pente de perfis, numerados de 1 a 6, nos quais se efetuaram as medições. Imagem de base disponibilizada pela ESRI.

Tabela 6.17 - Distâncias entre a linha de base e a linha do sopé da duna da Crismina.

<b>Transeto</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>Média</b>
<b>Ano</b>	<b>Distância à linha de base (m)</b>						<b>(m)</b>
<b>1999</b>	21.3	21.1	24.2	23.4	18.0	20.1	<b>21.4</b>
<b>2002</b>	28.0	34.7	29.2	35.7	41.3	39.5	<b>34.9</b>
<b>2005</b>	55.6	55.1	40.9	42.2	53.7	38.2	<b>47.6</b>
<b>2008</b>	70.9	66.7	67.4	51.3	60.2	60.0	<b>62.8</b>
<b>2010</b>	72.6	82.5	88.3	64.8	75.0	69.3	<b>75.4</b>
<b>2013</b>	103.9	108.0	112.8	103.7	104.5	95.4	<b>104.7</b>
<b>2016</b>	136.7	149.9	146.6	145.4	152.1	162.9	<b>148.9</b>
<b>2018</b>	151.7	166.3	169.2	163.7	174.9	184.0	<b>168.3</b>
<b>2019</b>	161.7	171.5	175.1	167.6	179.0	184.8	<b>173.3</b>

Na Tabela 6.18 apresentam-se os valores da taxa média anual de deslocamento, ou progradação, da duna da Crismina obtidos a partir dos resultados anteriores. O resultado obtido entre 2018 e 2019 foi extrapolado para um ano, a partir de medições de terreno separadas de 8 meses.

Tabela 6.18 - Taxas de movimentação da duna da Crismina.

<b>Anos</b>	<b>Distância (m)</b>	<b>Taxa (m/ano)</b>	<b>Anos</b>	<b>Distância (m)</b>	<b>Taxa (m/ano)</b>
<b>1999-2002</b>	13.5	4.5	<b>2005-2008</b>	15.2	5.1
<b>1999-2005</b>	26.3	4.4	<b>2005-2010</b>	27.8	5.6
<b>1999-2008</b>	41.4	4.6	<b>2005-2013</b>	57.1	7.1
<b>1999-2010</b>	54.1	4.9	<b>2005-2016</b>	101.3	9.2
<b>1999-2013</b>	83.3	6.0	<b>2005-2018</b>	120.7	9.3
<b>1999-2016</b>	127.6	7.5	<b>2005-2019</b>	125.7	9.2
<b>1999-2018</b>	146.9	7.7	<b>2008-2010</b>	12.7	6.3
<b>1999-2019</b>	151.9	7.7	<b>2008-2013</b>	41.9	8.4
<b>2002-2005</b>	12.7	4.2	<b>2008-2016</b>	86.2	10.8
<b>2002-2008</b>	27.9	4.6	<b>2008-2018</b>	105.5	10.6
<b>2002-2010</b>	40.5	5.1	<b>2008-2019</b>	110.5	10.4
<b>2002-2013</b>	69.8	6.3	<b>2010-2013</b>	29.3	9.8
<b>2002-2016</b>	114.0	8.1	<b>2010-2016</b>	73.5	12.3
<b>2002-2018</b>	133.4	8.3	<b>2010-2018</b>	92.9	11.6
<b>2002-2019</b>	138.4	8.3	<b>2010-2019</b>	97.9	11.3
<b>2016-2018</b>	19.4	9.7	<b>2013-2016</b>	44.2	14.7
<b>2016-2019</b>	24.4	9.1	<b>2013-2018</b>	63.6	12.7
<b>2018-2019</b>	5.0	7.5	<b>2013-2019</b>	68.6	12.1

A taxa média global de migração entre 1999 e 2019 foi de cerca de 8 m/ano. Os resultados sugerem que as taxas de migração aumentaram no tempo, embora de forma não linear. Até 2010, aqueles valores são da ordem de 5 a 6 m/ano. A partir de 2010 as taxas de movimentação aumentam significativamente, para valores da ordem de 8 a 10 m/ano, alcançando 14 m/ano em algumas janelas de tempo. Tal como no período anterior, observa-se incremento dos valores quando se consideram períodos sucessivamente mais recentes. Existem três hipóteses para interpretar este resultado: 1) a intensidade do vento pode ter aumentado, o que leva a incremento do potencial de transporte sólido eólico, justificando assim que a duna prograda mais rapidamente para sul e sudeste, tendo em conta que a área da duna se mantém semelhante ao longo do tempo (Tabela 6.19) e assumindo que não ocorreram variações apreciáveis da volumetria; ou 2) a duna sofreu uma diminuição de volume, sem alteração significativa do potencial de transporte sólido eólico do vento, permitindo que a mesma se movimente mais rapidamente, ou ainda 3) até 2010, o deslocamento da duna incorporou os efeitos de preenchimento de uma depressão, a qual, uma vez colmatada, possibilitou incremento posterior da velocidade de migração sem que o caudal sólido eólico se tenha modificado ao longo do tempo; o mesmo efeito pode ser obtido se a migração da duna a partir de 2010 ocorrer sobre uma elevação do substrato.

Para avaliar se a taxa de movimentação e a área da duna estariam de alguma forma relacionadas, projetaram-se estas duas variáveis com os resultados indicados na Figura 6.23 e na Tabela 6.19.

Tabela 6.19 - Área da duna da Crismina nos diferentes anos e respetivas taxas de movimentação em relação a 1999.

Ano	1999	2002	2005	2008	2010	2013	2016	2018
Área Duna Crismina (ha)	4.5	5.2	4.8	4.6	5.1	4.4	5.9	5.8
Taxa (m/ano)	-	4.5	4.4	4.6	4.9	6.0	7.5	7.7

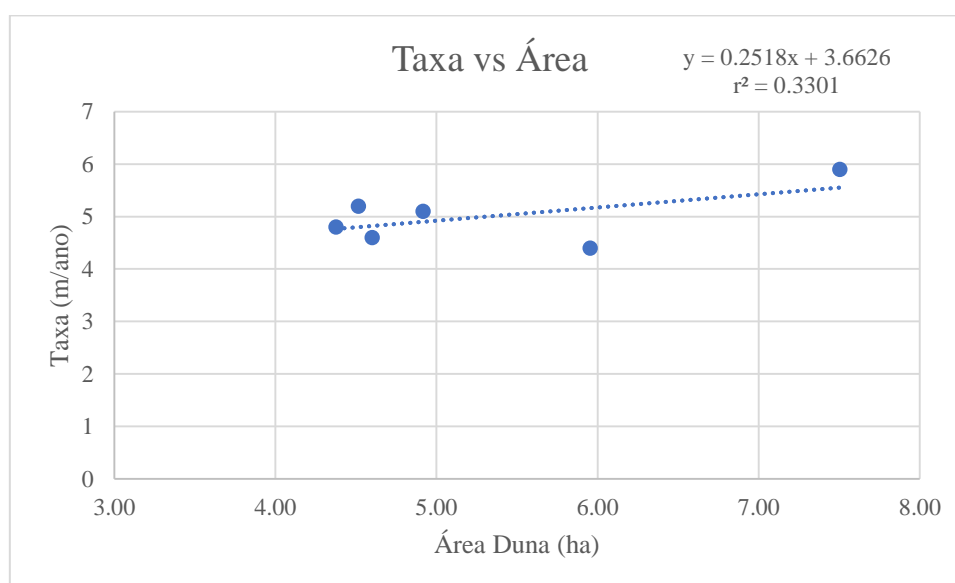


Figura 6.23 - Taxa de movimentação da duna da Crismina em função da sua área.

Os resultados indicam que a correlação entre ambas as variáveis é muito baixa, o que significa que a taxa de movimentação e a evolução da área da duna são independentes.

Uma das questões relevantes para as entidades que ocupam o solo a sul da área de estudo é a obtenção de uma estimativa do intervalo de tempo necessário para que a massa de areia da duna da Crismina afete diretamente as instalações do Clube Dom Carlos. Esta estimativa foi afetuada extrapolando linearmente para o futuro o valor médio das taxas de migração determinadas entre 2008 e 2018. Considerando aquele valor médio (11 m/ano) como representativo da evolução futura a partir de 2018, e uma distância de percurso de 345 m, obtém-se um resultado de 31 anos. Num cenário mais cauteloso, justificado pelo incremento observado das taxas de migração no tempo, adotou-se como valor de referência uma taxa de 15 m/ano (observado entre 2013 e 2016), o que conduz a um intervalo temporal de 23 anos.

É de notar que o braço sudeste da duna da Crismina está muito próximo do limite da área de estudo, estando mais próximo do parque de campismo Orbitur do que do Clube Dom Carlos. Nesta zona, salienta-se um *blowout* encostado ao parque de campismo e à estrada da Areia, que demorará menos tempo a sobrepor estas estruturas do que a duna da Crismina demorará a sobrepor o Clube Dom Carlos.

## 6.4 Avaliação e validação de MDT e MDS

Embora a precisão das coordenadas horizontal e vertical associada à medição no terreno com o equipamento DGPS utilizado neste estudo seja estimada em  $<0.01$  e  $<0.02$  m, respectivamente (Bastos *et al.*, 2018), os MDT e MDS obtidos a partir das imagens aéreas podem conter imprecisão superior. Neste subcapítulo discutem-se os resultados da validação dos MDT de 2008 e MDS de 2018 – utilizando como referência pontos e perfis homólogos levantados sobre substrato rígido, em campo (Figura 5.2 a Figura 5.5).

Mais adiante, apresentam-se os resultados da comparação de perfis levantados em substrato móvel, nomeadamente sobre a duna da Crismina e outros corpos eólicos. Os perfis PDS01 e PDS02 foram levantados no mesmo dia em que se concretizou o levantamento com drone da duna do Guincho (3 de outubro de 2018, Tabela 5.1). Assim, os pontos correspondentes a estes dois perfis podem também ser utilizados como instrumento de validação complementar do MDS de 2018.

O conjunto de pontos de validação, não estáticos no espaço e no tempo (Figura 5.6), levantados ao longo da zona de estudo foram comparados com pontos homólogos identificados no MDT de 2008 (data indefinida) e nos MDS de 12 de setembro de 2018 (P01 a P08) e 3 de outubro (P09 a P13) e os resultados apresentam-se na Figura 6.24 e na Tabela 6.20.

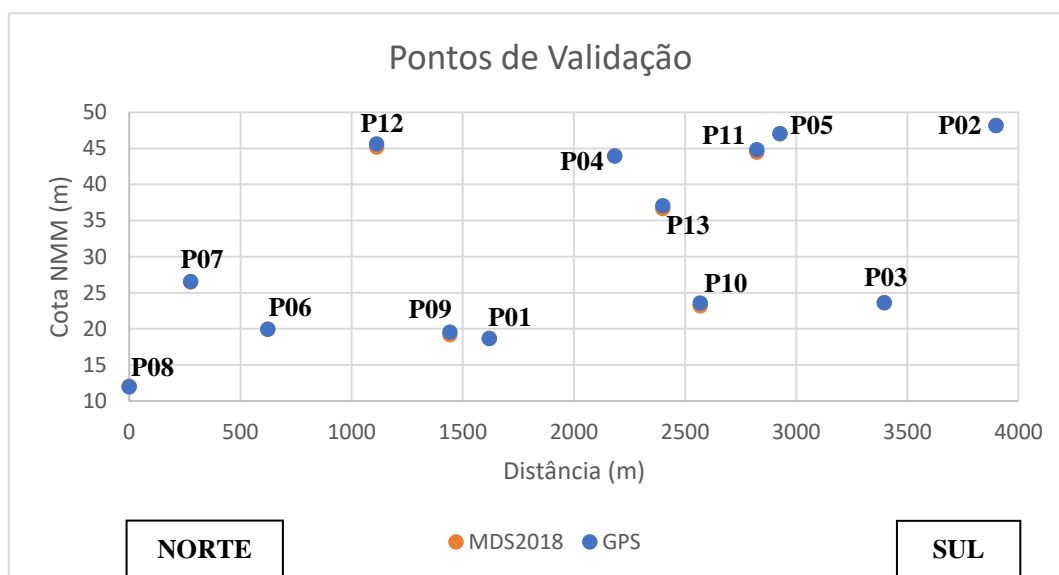


Figura 6.24 - Pontos de validação do MDS de 2018.

Tabela 6.20 - Erro e viés associado ao MDS de 2018, considerando pontos de validação medidos ao longo da zona de estudo.

Comparação	Erro Quadrático Médio (m)	Viés (m)	Desvio-padrão dos desvios (m)
<u>MDS 2018 - GPS</u>	0.002	-0.04	0.20

Como se pode observar na Tabela 6.20, os resultados obtidos na comparação dos pontos levantados com recurso a DGPS-RTK e os pontos homólogos no MDS de 2018 geram um erro e viés muito baixos (0.002 m e -0.04 m, respetivamente).

O conjunto de pontos de referência (pontos “Estrada” e “Controlo”) levantados ao longo da EN 247 (Figura 5.5) são idealmente estáticos no espaço e no tempo. Os resultados da comparação com pontos homólogos identificados no MDT de 2008 (data indefinida) e no MDS de 12 de setembro de 2018 apresentam-se na Figura 6.25, na Figura 6.26 e na Tabela 6.21.

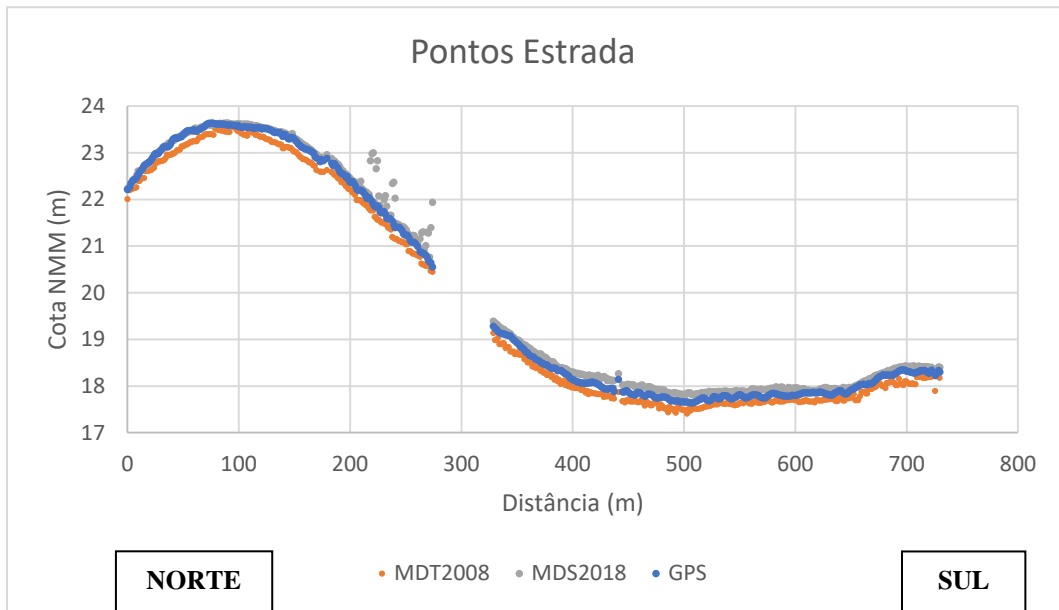


Figura 6.25 - Pontos Estrada.

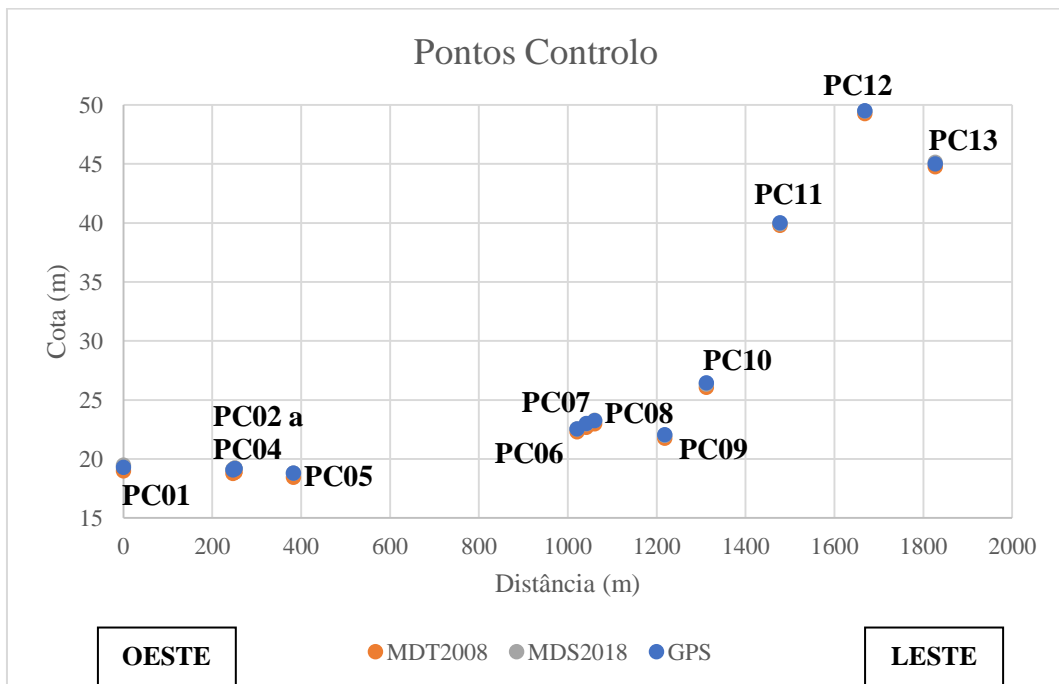


Figura 6.26 - Pontos de Controlo.

Tabela 6.21 – Erro e viés associado aos MDT de 2018 e MDS de 2018, considerando pontos de referência medidos na EN 247.

<i>Pontos de referência</i>	<i>Comparação</i>	<b>Erro Quadrático Médio (m)</b>	<b>Viés (m)</b>	<b>Desvio-padrão dos desvios (m)</b>
<i>Estrada</i>	<u>2008 - 2019</u>	0.2	-0.2	0.06
	<u>2018 - 2019</u>	0.1	0.1	0.14
<i>Pontos de controlo</i>	<u>2008 - 2019</u>	0.3	-0.2	0.04
	<u>2018 - 2019</u>	0.05	0.003	0.07

Em relação aos pontos “Estrada”, o modelo de 2008 subestima as cotas de forma sistemática em 0.2 m ao longo do troço da EN 247, o que poderá dever-se a obras de repavimentação. Por outro lado, o modelo de 2019 produz uma sobrestima global de 0.1 m, sendo este valor potenciado por diferenças significativas observadas num segmento com cerca de 100 m de comprimento (referenciado entre 200 e 300 m de distância a uma origem arbitrária na Figura 6.24, em que o MDS sobreavaliou claramente as cotas). Esta última perturbação afeta um segmento onde a estrada é usualmente transposta por areias provenientes de norte. Por outro lado, a refletância da superfície adjacente a este segmento é muito elevada e existe pouco contraste na textura da superfície, o que poderá ter conduzido a problemas de interpolação nesse local, conduzindo à geração de artefatos morfológicos no MDS que não têm expressão no terreno.

Do conjunto de pontos de controlo (Figura 6.26) conclui-se que o modelo de 2008 subestima as cotas em 0.3 m, de forma também sistemática, mas que as diferenças se reduzem substancialmente no caso MDS de 2018, onde o erro médio é muito pequeno (0.05 m) e o viés praticamente nulo.

A utilização destes pontos de referência permite assim inferir um valor de incerteza associado ao MDT de 2008 da ordem de +/- 0.3 m, e ao MDS de 2018 mais pequenos, da ordem de +/- 0.1 m.

Os resultados da comparação entre os perfis levantados em campo e perfis homólogos, extraídos do MDS de 2018 (Figura 5.2 a Figura 5.4) encontram-se na Tabela 6.22 e nas Figura 10.12 a Figura 10.38 do Anexo 5. Visto que todos estes pontos correspondem a substrato arenoso móvel e se reportam a diferentes momentos, as diferenças podem não corresponder a erros, pelo que se adotou a designação de “diferença média quadrática” em vez de “erro médio quadrático” na Tabela 6.22.

Tabela 6.22 – Resultados da comparação de pontos e perfis medidos no campo com elementos homólogos interpolados do MDS de 2018. As estatísticas indicadas referem-se a valores de cota (m).

<i>Perfil</i>	<i>Figura</i>	Diferença Quadrática Média	Viés	Desvio-padrão	<i>Perfil</i>	<i>Figura</i>	Diferença Quadrática Média	Viés	Desvio-padrão
<i>BDuna1</i>	<i>10.13</i>	2.11	2.0	0.9	<i>PD01</i>	<i>10.26</i>	0.21	0.4	0.71
<i>BDuna2</i>	<i>10.14</i>	0.34	-0.02	0.4	<i>PD02</i>	<i>10.27</i>	0.18	0.1	0.38
<i>CDuna1</i>	<i>10.15</i>	1.78	-1.6	0.8	<i>PDS01</i>	<i>10.29</i>	0.37	-0.3	0.39
<i>CDuna2</i>	<i>10.16</i>	0.34	-0.7	0.3	<i>PDS02</i>	<i>10.30</i>	0.36	-0.5	0.53
<i>PDN01</i>	<i>10.18</i>	0.03	-0.01	0.05	<i>PDS03</i>	<i>10.31</i>	0.31	-0.8	0.59
<i>PDN02</i>	<i>10.19</i>	0.23	-0.2	0.3	<i>PDS04</i>	<i>10.32</i>	0.27	-0.04	0.67
<i>PDN03</i>	<i>10.20</i>	0.07	-0.09	0.09	<i>PDS05</i>	<i>10.33</i>	0.36	-0.1	0.36
<i>PDN04</i>	<i>10.21</i>	0.16	0.2	0.3	<i>PDS06</i>	<i>10.34</i>	0.32	-0.1	1.77
<i>PDN05</i>	<i>10.22</i>	0.06	0.04	0.3	<i>PDS07</i>	<i>10.35</i>	0.46	-0.2	1.74
<i>PDN06</i>	<i>10.23</i>	0.10	0.09	0.2	<i>PDS08</i>	<i>10.36</i>	0.23	-0.2	1.18
<i>PDN07</i>	<i>10.24</i>	0.09	0.1	0.2	<i>PDS09</i>	<i>10.37</i>	0.25	0.06	0.49
<i>PDN08</i>	<i>10.25</i>	0.13	-0.005	0.8	<i>PDS10</i>	<i>10.38</i>	0.26	0.2	0.42

No perfil “BDuna1”, a comparação resultou numa diferença de cota de cerca de 2 m (Tabela 6.22), o que se poderá justificar pelo avanço do sopé e do talude de precipitação da duna entre maio e outubro de 2018, sendo que a forma da curva que representa a distribuição de cotas se manteve semelhante.

Já no perfil “BDuna2” não se registaram diferenças significativas, o que significa que a superfície topográfica ao longo do perfil não se alterou significativamente entre outubro de 2018 e janeiro de 2019.

No caso da linha de crista da duna (“CDuna1”, Figura 10.15 do Anexo 5) a diferença é cerca de 1.8 m e o viés é de -1.60 m, concluindo-se que este resultado é compatível com o avanço da crista (e do talude sotavento) da duna para sul, entre 3 de outubro de 2018 e 29 de janeiro de 2019.

No perfil “CDuna2” (Figura 10.16), a diferença e o viés apresentam valores pequenos, na ordem de 0.3 m e -0.7 m, respetivamente. Pode-se inferir que a diferença se relaciona com aumento da cota entre outubro de 2018 e janeiro de 2019, em associação com a migração deste setor da crista para nascente.

Os resultados obtidos na zona norte correspondem a perfis que se desenvolvem no todo ou em parte sobre segmentos de superfície vegetada (particularmente aqueles que foram objeto de intervenções de restauro) e, nalguns casos, o mesmo perfil estende-se sobre areia nua.

A comparação dos perfis “PDN01”, “PDN03” e “PDN05” resultou bem, o que se observa pelos valores de erro e viés respetivos. Estes perfis atravessam ou localizam-se nas vizinhanças próximas de numerosas manchas, mais ou menos extensas, de vegetação e a superfície apresenta fortes contrastes de cor e textura, pelo que se reúnem condições favoráveis a que o *software* de restituição produza resultados próximos da realidade. Assim, a comparação sugere que a superfície topográfica evoluiu muito pouco (diferenças quadráticas e viés muito reduzidos, inferiores a 0.07 m e a 0.09 m, respetivamente) e no sentido de agradação, embora de reduzida magnitude.

No caso dos perfis “PDN04”, “PDN06” e “PDN07” observam-se diferenças mais substanciais entre perfis interpolados e medidos (diferença quadrática média de 0.09 a 0.16 m) sempre associados a viés positivos. A distribuição espacial das diferenças é heterogénea ao longo do perfil e aumentam no extremo mais próximo da praia onde a superfície se desenvolve em areia nua. Em contraste, os segmentos sobre manchas de vegetação mostram diferenças pequenas. No primeiro caso, não é possível distinguir com clareza se as diferenças resultam de artefactos do MDT ou representam, pelo menos em parte, modificações das irregularidades que afetam a superfície topográfica, representadas no terreno por dunas de obstáculo, *nebkas* e dunas amontoadas, que se formam, migram, desfazem e reformam continuamente. Atendendo à elevada dimensão vertical das irregularidades observadas nos perfis interpolados, que contrasta fortemente com a reproduzida nos perfis medidos em campo, conclui-se que as diferenças deverão ser essencialmente espúrias.

Os perfis “PDN02” e “PDN08” são casos particulares. No primeiro caso (Figura 10.19), os resultados são congruentes com efeito de agradação e migração para SE do corpo dunar escassamente vegetado que limita a depressão alongada utilizada como acesso à praia. No segundo caso (Figura 10.25), há diferenças muito substanciais numa distância muito pequena, que poderiam ser interpretadas como colmatção de depressão interdunar. Porém, dada a sua localização em terreno arenoso não vegetado, é também possível que as diferenças resultem de um artefacto do MDT.

Imediatamente a sul da EN 247, a comparação dos perfis “PD01” e “PD02” sugere que a generalidade das diferenças são espúrias. Em “PD01” pode observar-se que, apesar desta dificuldade, a frente de progradação do *blowout* (com corredor de deflação alongado para norte) se manteve estável no tempo. No caso de “PD02” apenas se infere que os traços fundamentais da morfologia se mantiveram.

Conclui-se que, de forma geral, nas áreas vegetadas da zona norte e sul, a evolução da superfície terá sido no sentido de alguma agradação, embora de pequena magnitude e, localmente, observa-se advecção de massas de areia para SE. Nas áreas ocupadas por areia nua, os artefactos produzidos pelo MDT são de magnitude suficientemente elevada para impedir uma caracterização e quantificação, objetivas, das diferenças.

## 6.5 Balanço Volumétrico

Neste subcapítulo apresentam-se e discutem-se os resultados dos balanços sedimentar e volumétrico obtidos da comparação das imagens e dos MDT de 2008 e 2018. Os valores apresentados devem ser entendidos como aproximações à realidade, dadas as incertezas associadas aos levantamentos de 2018 e ao MDT de 2008. Por outro lado, nem a dimensão nem os limites espaciais das manchas comparadas em cada um destes MDT são estritamente iguais.

Na Figura 6.27 observa-se o resultado da distribuição espacial do balanço sedimentar obtido em cada uma das áreas identificadas anteriormente (subcapítulo 5.3.4), aplicando a ferramenta *Cut Fill*, e na Tabela 6.23 apresentam-se os valores de acreção (ganhos), erosão (perdas) e o balanço para cada área.

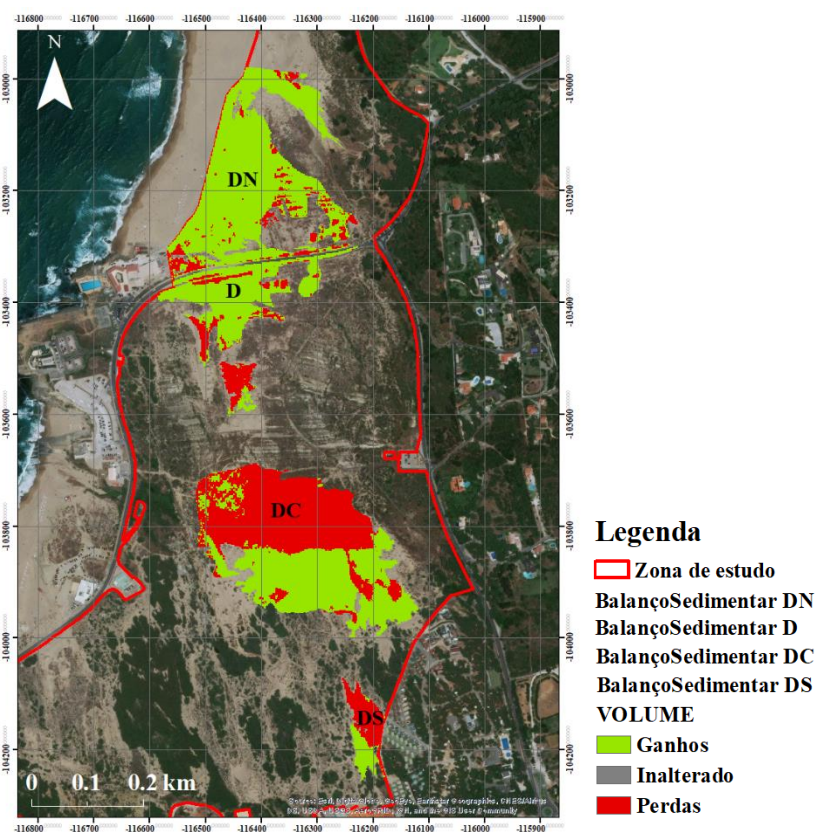


Figura 6.27 - Balanço sedimentar para as áreas definidas. Imagem de base disponibilizada pela ESRI.

Tabela 6.23 - Balanço sedimentar 2008-2018 por áreas indicadas na Figura 6.26.

Zona	Área (m <sup>2</sup> )			Balanço	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Volume/Área (m)
	2008	2018	Total				
DN				Acreção (Ganhos)	4.8x10 <sup>4</sup>	7.8x10 <sup>4</sup>	1.62
	4.7x10 <sup>4</sup>	3.6x10 <sup>4</sup>	8.2x10 <sup>4</sup>	Erosão (Perdas)	5.5x10 <sup>3</sup>	2.1x10 <sup>3</sup>	0.37
				Balanço (Ac-Er)	---	7.6x10 <sup>4</sup>	---
D				Acreção (Ganhos)	1.9x10 <sup>4</sup>	2.2x10 <sup>4</sup>	1.19
	1.8x10 <sup>4</sup>	1.7x10 <sup>4</sup>	3.5x10 <sup>4</sup>	Erosão (Perdas)	6.4x10 <sup>3</sup>	9.2x10 <sup>3</sup>	1.42
				Balanço (Ac-Er)	---	1.3x10 <sup>4</sup>	---
DC				Acreção (Ganhos)	3.4x10 <sup>4</sup>	1.6x10 <sup>5</sup>	4.61
	4.6x10 <sup>4</sup>	5.7x10 <sup>4</sup>	1.0x10 <sup>5</sup>	Erosão (Perdas)	3.9x10 <sup>4</sup>	1.6x10 <sup>5</sup>	4.00
				Balanço (Ac-Er)	---	1.5x10 <sup>2</sup>	---
DS				Acreção (Ganhos)	2.4x10 <sup>3</sup>	7.3x10 <sup>3</sup>	3.00
	2.1x10 <sup>3</sup>	6.5x10 <sup>3</sup>	8.6x10 <sup>3</sup>	Erosão (Perdas)	4.2x10 <sup>3</sup>	1.6x10 <sup>4</sup>	3.83
				Balanço (Ac-Er)	---	-8.7x10 <sup>3</sup>	---

Na área DN observa-se, essencialmente, ganho sedimentar. Os elementos de superfície em erosão localizam-se maioritariamente perto do limite interno da área e têm expressão espacial e volumétrica global muito reduzidas. É possível que a pequena mancha de erosão a oeste, junto ao restaurante Muchaxo, corresponda a um efeito de deflação potenciado pela presença daquele edifício. Note-se ainda que a espessura média correspondente à erosão é da mesma ordem de grandeza da incerteza associada ao método. A razão entre volume e área em acreção é muito significativa, cerca de quatro vezes superior à da erosão, e corresponde a uma espessura média de acreção superior a 1.5 m.

A variação de área entre os três polígonos (global, de 2008 e de 2018) não parece suficiente para justificar, por si só, este resultado. Julga-se assim que corresponda principalmente a um efeito de agradação, real e significativa da superfície. A distribuição espacial da magnitude da agradação não foi avaliada através desta metodologia de comparação, pelo que se desconhece em que proporção afetou o sistema de dunas frontais e o campo eólico intervencionado.

Os dados na Figura 6.27 e Tabela 6.23, no que respeita à área DN, e os resultados obtidos e discutidos acima sugerem que houve transferência de pelo menos  $7.6 \times 10^4 \text{ m}^3$  de areia da praia do Guincho para o campo dunar, ao longo de um comprimento de 320 m, o que permite inferir uma taxa de transporte sólido da ordem de  $24 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ . Parte deste transporte foi dirigido para nascente, em correspondência com um rumo secundário do regime de ventos, em frequência e magnitude. A investigação da evolução do coberto vegetal, a organização morfotológica da região em estudo e as observações de terreno sugerem que não haverá perdas significativas de areias eólicas para leste da área de estudo. Assumindo que a fronteira sul, materializada pela EN 247 não está fechada, apenas parte do sedimento fornecido pela praia terá ficado retido na área DN, tendo outra parte sido perdida para a área D, a favor da nortada, uma vez transposta aquela fronteira. Uma vez que essa transposição existe, mesmo que temporária e intermitente como discutido acima, a magnitude da fonte sedimentar corresponde ao transporte eólico de areias da praia do Guincho para o sistema dunar da Crismina tem necessariamente que exceder o valor de  $24 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$  e a sua estimativa requer inclusão do balanço inferido para as áreas D, DC e DS.

Merece também uma nota a interferência de que a permanência do areal que constitui a praia do Guincho requer assim alimentação abundante de areias para lá transportadas por deriva litoral, caso contrário seria inexoravelmente esvaziada de sedimento.

No caso da área D o contraste entre acumulação e erosão não é tão pronunciado, há um equilíbrio entre a acreção e a erosão. Os ganhos excedem as perdas por um fator de 3, em termos de área, e de 2.5 em termos de volume. A espessura média de agradação é de 1.2 m e a de erosão é de 1.4 m. Atendendo ao contraste de área ocupada por cada um dos tipos de evolução e à sua distribuição espacial, infere-se que a erosão se concentrou em locais bem definidos, correspondentes a estruturas de deflação alongadas a favor da nortada que, para produzirem os resultados quantitativos acima, obrigaram a escavação profunda da superfície. A maioria dos ganhos corresponde à faixa localizada imediatamente a sul da En 247, o que se justifica pela grande disponibilidade de sedimentos a norte que, aliada ao vento, prevalecente das bandas também de norte, permite que areias transponham a estrada e continuem em progressão para sul. A fiada estreita de elementos de superfície com sinal erosivo e orientação paralela à EN 247 e localizada imediatamente a sul pode representar um efeito de deflação localizada, associada a episódio de sub-alimentação sedimentar da região norte.

A construção das intervenções de retenção de areias numa faixa paralela e localizada imediatamente a sul da EN 247 inibiu temporariamente a alimentação sedimentar da parte sul desta área. Em consequência, as três pequenas manchas de areia não vegetada observáveis nas imagens anteriores à intervenção (Figura 6.12 a Figura 6.15) como unidades de superfície separadas entre si e desligadas da mancha principal adjacente à estrada, iniciaram um processo de expansão superficial e de crescimento preferencial para sul. Nas imagens mais recentes, parte do campo de estruturas de retenção apresenta-se já afogado por areias vindas de norte (de DN) e as manchas de areia nua a sul da EN 247 referidas acima fundiram-se para originar duas manchas principais, nas quais a densidade de vegetação (tipicamente nula, a norte) tende a aumentar para sul. No limite sul da zona D observam-se duas manchas de erosão triangulares, com vértice apontado a sul correspondentes a unidades de superfície com sinal consistente de erosão, marginadas por cintura estreita de elementos em agradação, particularmente visível junto ao vértice. Esta disposição sugere o desenvolvimento de corredores alongados de deflação e atividade deposicional a sotavento, com deposição e progradação de um lobo de crescimento a favor da nortada.

A duna da Crismina (área DC), como descrito acima, evolui essencialmente por adveção, isto é, as transformações observadas ao longo do tempo correspondem essencialmente ao deslocamento de uma massa de areia para sul e sudeste, acompanhada de alterações menores, quer da área ocupada, quer do declive dos taludes barlavento e de precipitação, independentemente das variações do desenvolvimento planar da linha de crista ou de sopé. Os elementos de superfície em erosão e em agradação orçam pelo mesmo volume e, em termos de área, observa-se um pequeno incremento. A razão entre o volume e a área tanto para a acreção como para a erosão é também muito parecida. Como seria de esperar numa duna em translação para sul e sudeste, na zona mais a norte concentram-se os elementos indicados com sinal erosivo sucedendo o inverso na zona a sul.

A área DS é a mais pequena em termos de superfície ocupada e também a única em que se observou predomínio da erosão sobre a acreção (Figura 6.27 e Tabela 6.23), com a primeira a orçar pelo dobro da segunda, quer em termos de área, quer em termos de volume. A razão volume/área é elevada (cerca de 3) sugerindo encaixe e aprofundamento de uma estrutura de deflação alingada com o vento prevalecente. Esta estrutura confina a sotavento com a estrada e as observações de terreno e testemunhos colhidos localmente indicam que é ocasionalmente invadida por areia eólica. Do mesmo modo, a areia que transpõe a estrada penetra e invade com facilidade os terrenos do parque de campismo, no setor adjacente à estrada. Tal sugere que o sinal negativo do balanço obtido nesta área corresponde aos volumes de areia que, necessariamente, as entidades tutelares da estrada e do parque têm removido ao longo dos anos. Por outro lado, não existe uma área fonte para manter este corredor ativo para barlavento do corredor eólico alimentado. Os resultados apresentados e discutidos acima sugerem que as dimensões deste corredor têm vindo a aumentar, merecendo realce o crescimento do respetivo comprimento para barlavento. Este fato só pode ser explicado no contexto de diminuição da eficácia de retenção de areias oferecida pela vegetação. Por outro lado, observa-se que em todas as imagens consultadas (com exceção da de 2002) a região ocupada pelo corredor de deflação correspondia à superfície coberta por vegetação herbácea/arbustiva com densidade superior a 50%. As razões determinantes do fornecimento para barlavento da vegetação neste local específico não são óbvias, mas sugere-se que possam ter sido desencadeadas e eventualmente potenciadas pelo pisoteamento das dunas e da vegetação (por pessoas e cavalos, a julgar pelas pegadas que povoam os numerosos trilhos abertos por pedestres e animais).

Tendo em atenção os resultados acima expostos e discutidos, e assumindo que a entrada de areias no campo dunar se efetua exclusivamente através de uma janela com cerca de 320 m de largura, ao longo da praia do Guincho, pode estimar-se uma magnitude global de transporte sólido de  $8.8 \times 10^4 \text{ m}^3$ , o que equivale a  $28 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ .

Na Figura 6.28 observa-se o resultado da distribuição espacial do balanço sedimentar obtido para a área total comum ao MDT de 2008 e MDS de 2018 (subcapítulo 5.3.4), aplicando a ferramenta *Cut Fill*, e na Tabela 6.24 apresentam-se os valores de acreção (ganhos), erosão (perdas) e do balanço.

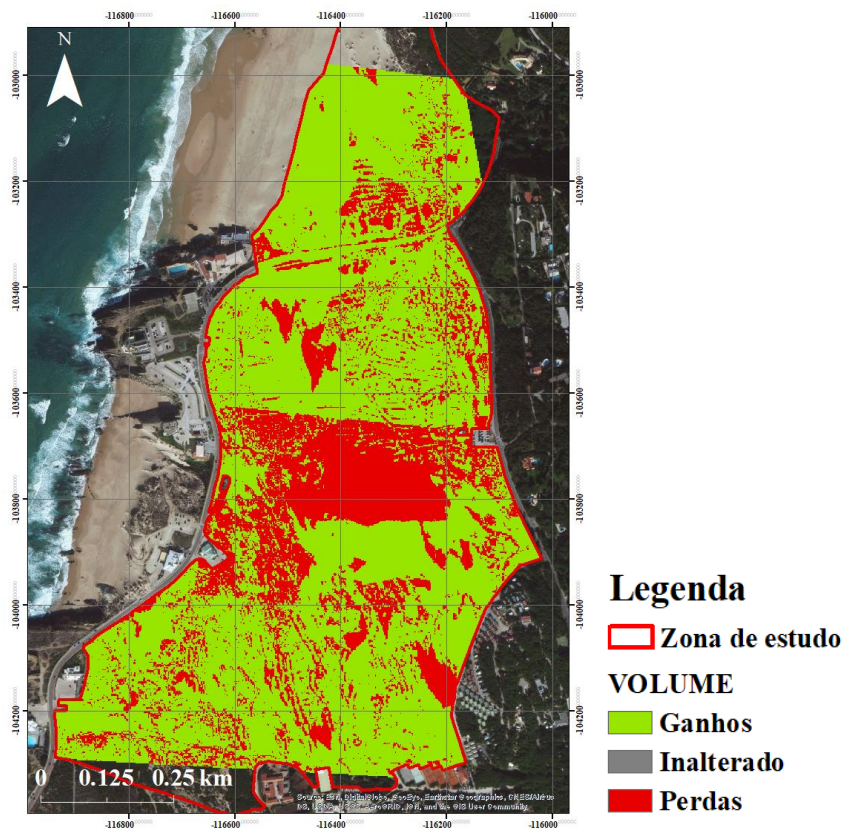


Figura 6.28 - Balanço sedimentar para a área total. Imagem de base disponibilizada pela ESRI.

Tabela 6.24 - Balanço sedimentar 2008-2018 para a área total indicada na Figura 6.27..

<i>Balanço</i>	<i>Área (m<sup>2</sup>)</i>	<i>Volume (m<sup>3</sup>)</i>	<i>Volume/Área (m)</i>
<i>Acreção (Ganhos)</i>	5.0x10 <sup>5</sup>	5.9x10 <sup>5</sup>	1.18
<i>Erosão (Perdas)</i>	1.9x10 <sup>5</sup>	2.3x10 <sup>5</sup>	1.21
<i>Balanço (Ac-Er)</i>	---	3.6x10 <sup>5</sup>	---

Olhando para o balanço sedimentar de toda a zona de estudo nota-se que a razão entre volumes e áreas afetadas por acreção e erosão é idêntica, podendo sugerir que o sistema está em equilíbrio. Porém, os resultados da comparação volumétrica indicam um incremento de  $3.6 \times 10^5 \text{ m}^3$ . Uma vez subtraídas as variações correspondentes aos domínios DN, D, DC e DS, resulta um valor de  $2.7 \times 10^5 \text{ m}^3$ ; este valor é 3 vezes superior ao estimado para os quatro domínios particulares referidos acima e sugere que, apesar de a expressão morfológica das transferências sedimentares na generalidade do campo não ser muito evidente, elas existem de facto e com magnitude não negligenciável. Se se aceitar este último valor como real e também justificado exclusivamente por entrada de areias através da fronteira entre praia e dunas na praia da Crismina, a taxa média de transporte sólido eólico naquela fronteira deverá orçar por  $2.7 \times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$  (equivalente a  $85 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ ). Atendendo às incertezas associadas à determinação de volumes, julga-se que esta última estimativa poderá corresponder a um valor máximo.

Na Figura 6.29 ilustra-se o resultado da comparação do MDT de 2008 e do MDS de 2018 (mapa de diferenças de elevação) obtido com a ferramenta *Surface Volume*.

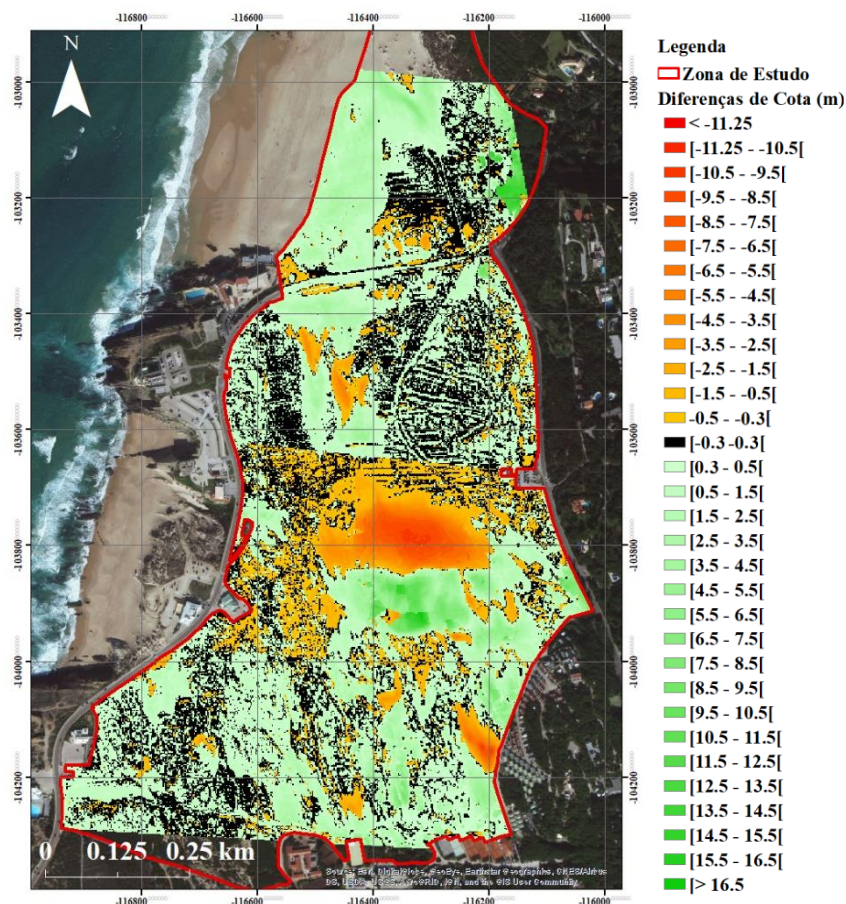


Figura 6.29 - Diferenças de elevação entre o MDT de 2008 e o MDS de 2018. Imagem de base disponibilizada pela ESRI.

Uma vez que o MDS de 2018 se associa a uma incerteza que pode alcançar 0.3 m, e como se desconhece o erro associado ao MDT de 2008, optou-se por considerar sem significado as diferenças inferiores a +/- 0.3 m (pontos representados a preto).

Como se pode observar na Figura 6.29 as zonas onde se notam maiores diferenças entre 2008 e 2018 correspondem às áreas definidas anteriormente como DN, D, DC e DS e as tendências de evolução determinadas em cada um destes domínios são congruentes com os resultados discutidos anteriormente. Cerca de metade da área de estudo é identificada nesta representação como tendo experimentado evolução não significativa ou de pequena magnitude, independentemente do sinal. Esta característica sugere que a totalidade da superfície tenha sido objeto de romobilização eólica, mas que esse processo afetou, de forma intermitente, com resultante global pequena, positiva ou negativa, unidades de superfície de pequena dimensão e, na mesma unidade, o sinal da evolução pode ter variado ao longo do tempo. Conclui-se assim que esta parte da superfície foi efetivamente atuada pelo vento, e foi também sede de transporte sólido.

Na região nordeste da área de estudo encontra-se uma mancha correspondente a uma diferença de elevação positiva, de cerca de 16 m em valor máximo que não tem explicação fácil. Admite-se que possa corresponder a crescimento da vegetação arbórea ou a migração para nascente da crista e do talude de escorregamento de dunas que ali invadem a margem direita de um vale profundamente embutido no substrato calcário.

Para complementar os resultados representados na Figura 6.29, foram traçados perfis representativos da morfologia das áreas indicadas acima, que auxiliam a interpretação do mapa de diferenças de elevação. As Figura 6.30, Figura 6.31 e Figura 6.32 exibem esses resultados para a zona DN e as Figura 6.33 a Figura 6.41 mostram os resultados obtidos para as restantes três áreas.

Estes perfis devem ser interpretados com cautela retendo-se os traços principais da morfologia e da sua evolução. No detalhe, os MDT contêm erros não sistemáticos, resultantes de dificuldades de interpolação dos dados de base que geram formas espúrias, sem correspondência no terreno. Estas são as mais frequentes nas áreas arenosas despidas de vegetação.

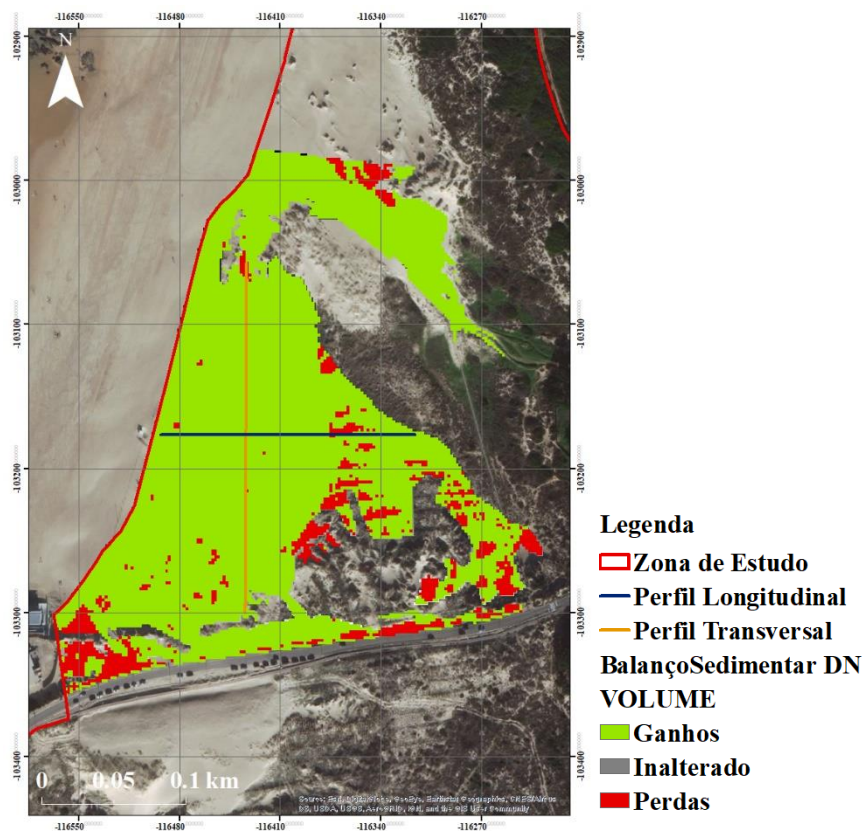


Figura 6.30 – Localização dos perfis traçados na área DN sobre fragmento (ampliado) do mapa de diferenças de elevação. Imagem de base disponibilizada pela ESRI.

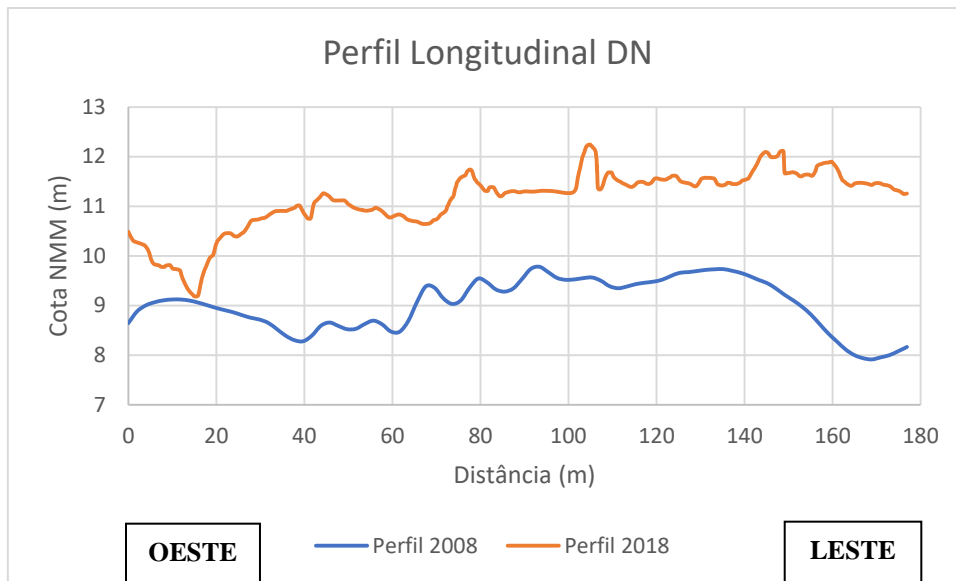


Figura 6.31 - Perfil longitudinal (W-E) da área DN.

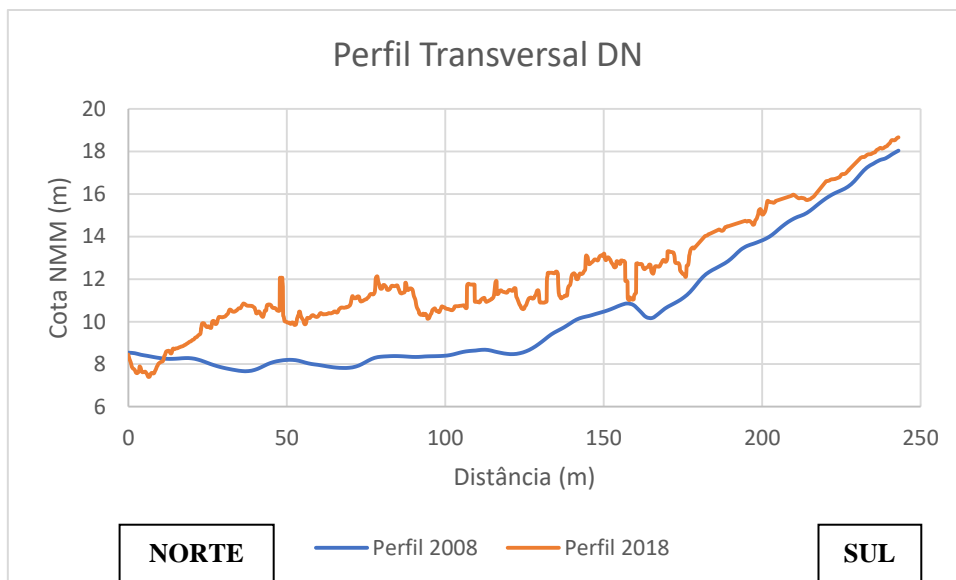


Figura 6.32 - Perfil transversal (N-S) da área DN.

O perfil W-E na área DN ilustra acreção e aumento da largura do corpo dunar frontal adjacente à praia, acompanhado de migração para nascente da crista, originando uma alteração profunda da morfologia numa faixa que se estende cerca de 40 m para terra do sopé da duna frontal. Mais para o interior, observa-se essencialmente acreção dos corpos dunares, para além de reorganização morfológica a escala espacial pequena, cuja interpretação não é óbvia. A acreção é o aspeto que sobressai da comparação do perfil N-S em 2008 e 2018 o qual experimentou, em traços gerais, translação em cota de cerca de 2 m.

As Figura 6.33, Figura 6.34 e Figura 6.35 representam a área D, localizada imediatamente a sul da EN 247.

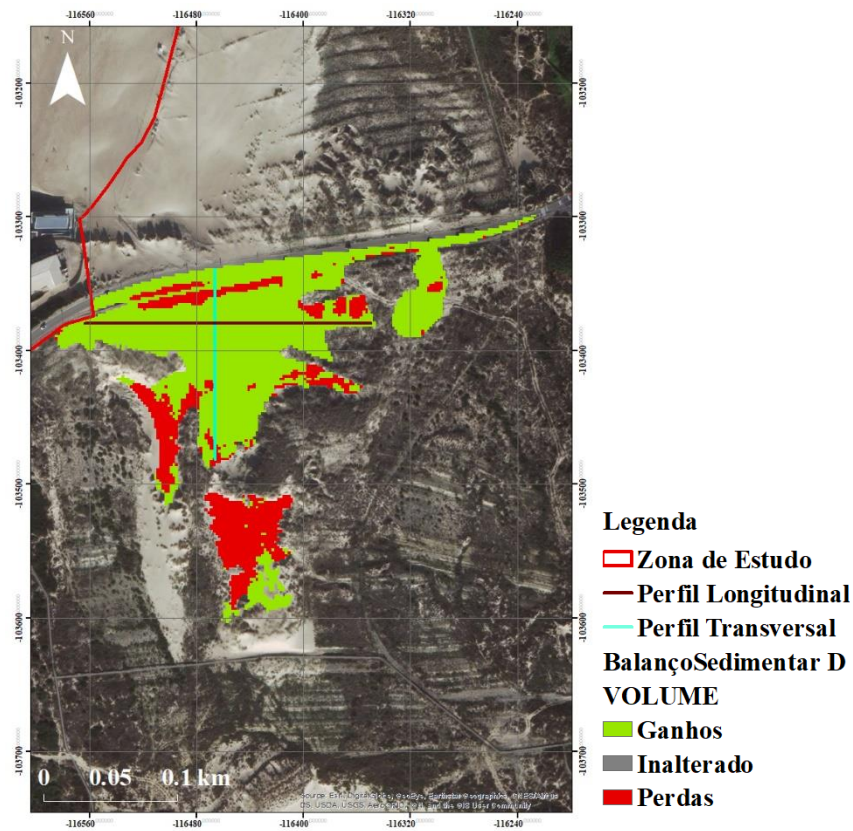


Figura 6.33 - Localização dos perfis traçados na área D sobre fragmento (ampliado) do mapa de diferenças de elevação. Imagem de base disponibilizada pela ESRI.

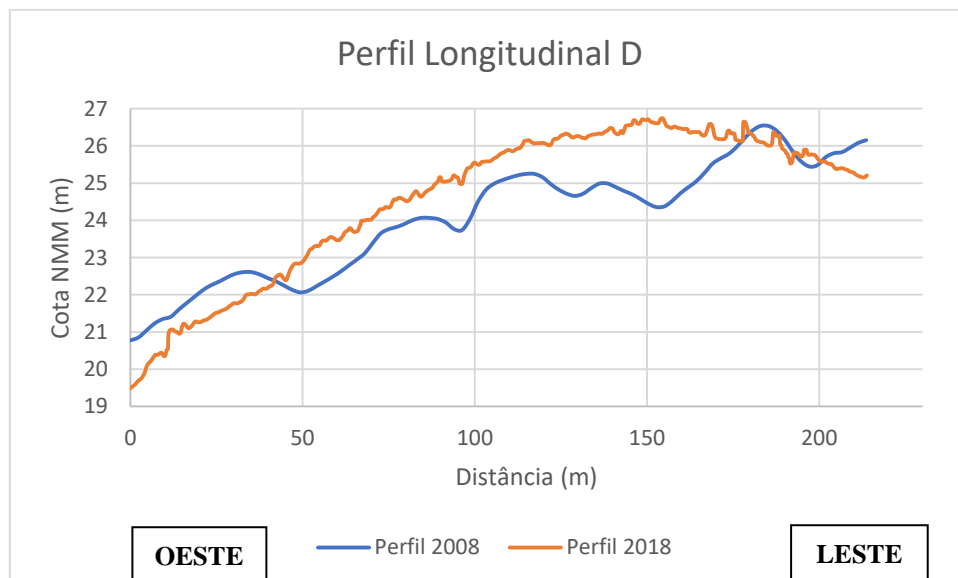


Figura 6.34 - Perfil longitudinal (W-E) da área D.

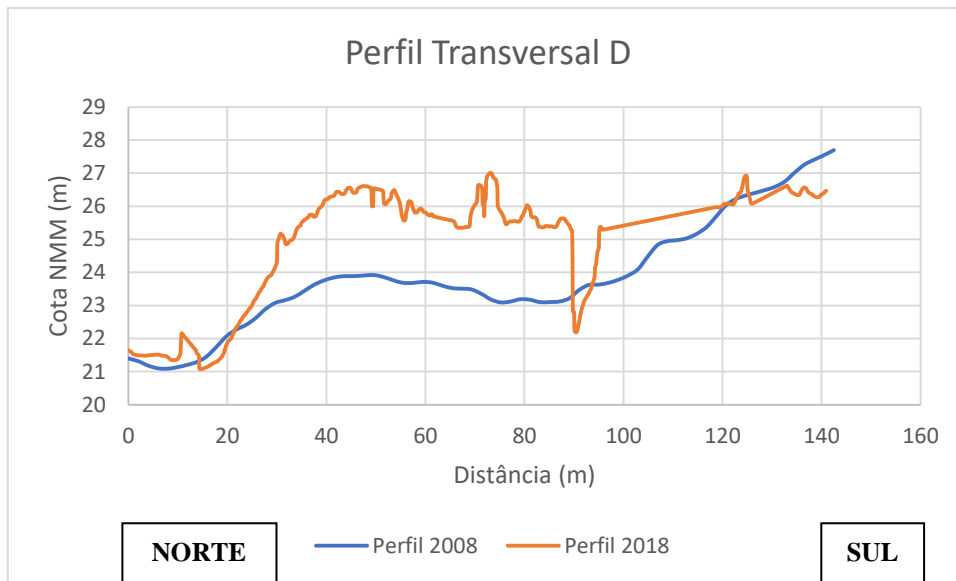


Figura 6.35 - Perfil transversal (N-S) da área D.

Ao longo do perfil W-E verifica-se um aumento de cota, sendo este mais acentuado nos primeiros 60 m contados a partir do extremo ocidental do perfil. Este resultados é compatível com a acumulação de um corpo eólico, à custa de transposição de areias da área norte, na metade poente da região indicada como acreção na Figura 6.33 e sua amalgamação com uma duna pre-existente na metade nascente. No perfil N-S registam-se modificações que correspondem essencialmente a acreção de um corpo dunar pre-existente, que pouco ou nada se deslocou para sul, levando a um aumento significativos do talude barlavento. Tal como no perfil W-E o aumento de volume implícito nesta modificação pode-se justificar pelo transporte e retenção de sedimento arenoso proveniente da área norte.

Da Figura 6.36 à Figura 6.38 correspondem aos resultados obtidos na duna da Crismina (área DC).

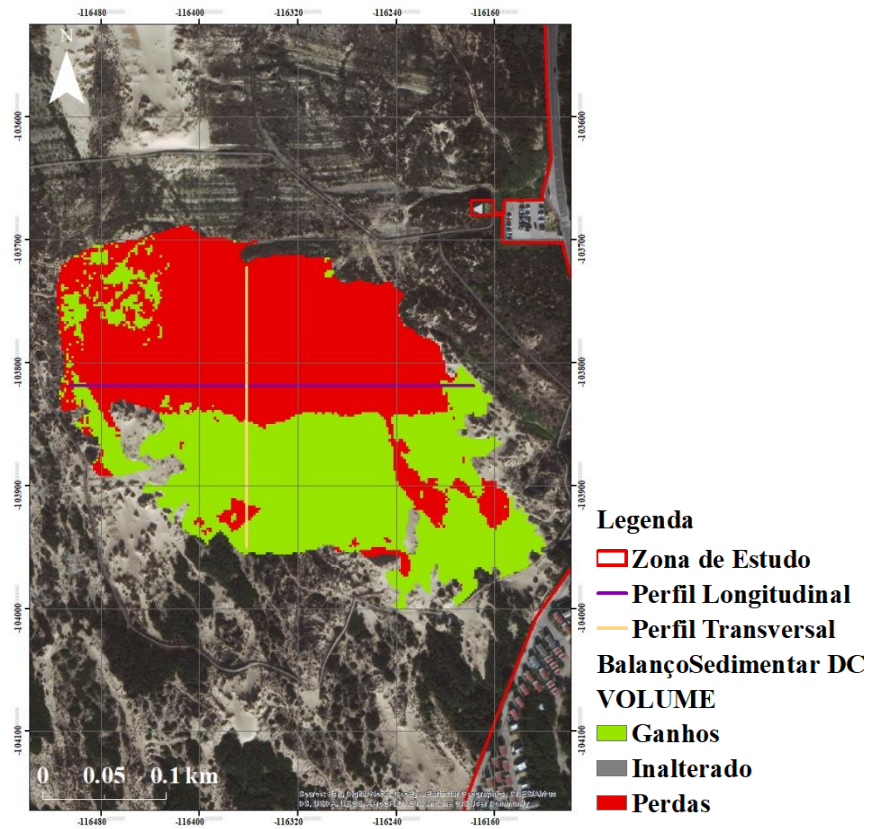


Figura 6.36 - Localização dos perfis traçados na área DC sobre fragmento (ampliado) do mapa de diferenças de elevação. Imagem de base disponibilizada pela ESRI.

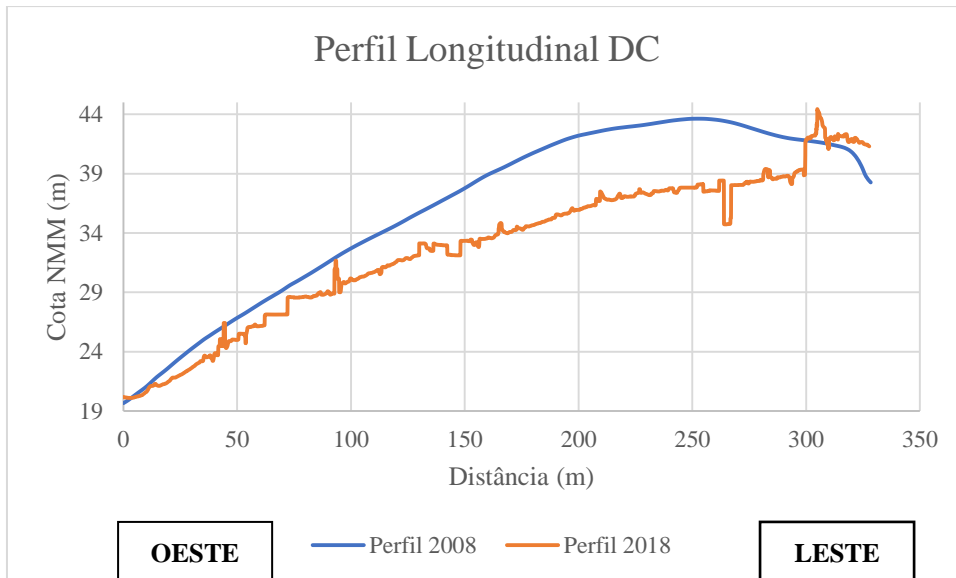


Figura 6.37 - Perfil longitudinal (W-E) da área DC.

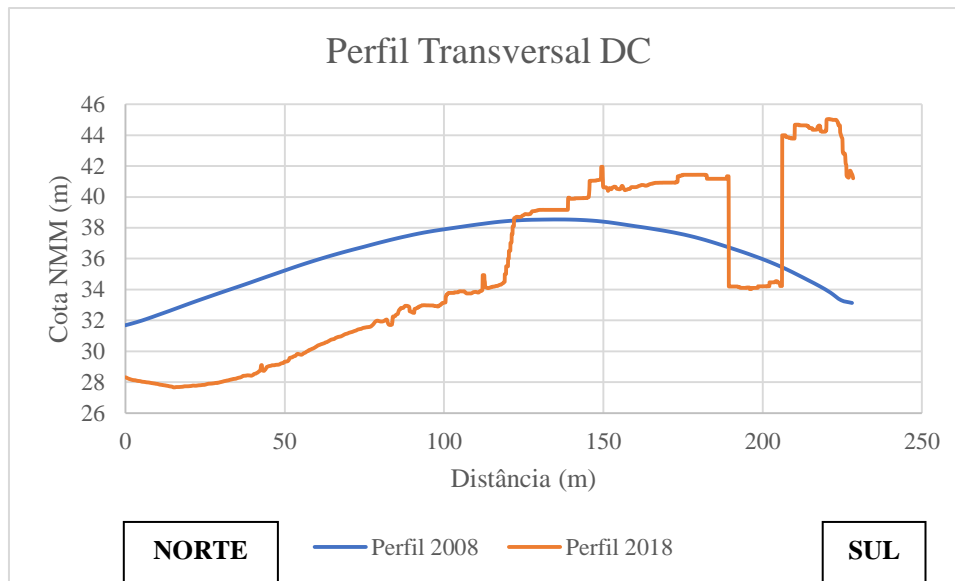


Figura 6.38 - Perfil transversal (N-S) da área DC.

A evolução do perfil W-E sugere que a inclinação da vertente virada a poente diminuiu, o que poderá ter resultado de deslocamento da massa de areia para nascente, acompanhada de mobilização de uma espessura de areia daquela vertente tanto maior quanto maior for a cota considerada ou, mais provavelmente, de um efeito de deslocamento em massa da duna para sul, levando a que o perfil intersete a vertente barlavento da duna em locais diferentes. Pode-se concluir que a morfologia da duna não alterou muito e que manteve as cotas idênticas entre 2008 e 2018. Em contraste no perfil N-S, observa-se uma alteração significativa nas cotas e morfologia da duna que vão ao encontro dos resultados obtidos pelo mapeamento: apesar dos artefactos morfológicos que perturbam o perfil obtido do MDT de 2018, a evolução ilustra movimentação em massa da duna para sul.

As Figura 6.39, Figura 6.40 e Figura 6.41 representam a área DS, a sudeste da área de estudo, junto ao parque de campismo Orbitur.

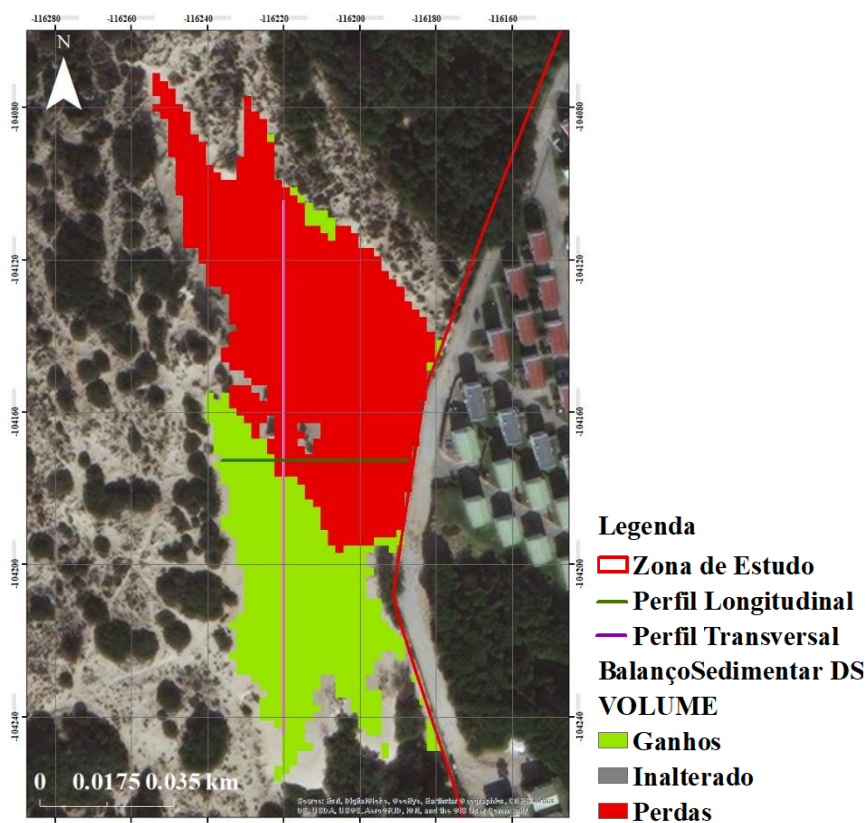


Figura 6.39 - Localização dos perfis traçados na área DS sobre fragmento (ampliado) do mapa de diferenças de elevação. Imagem de base disponibilizada pela ESRI.

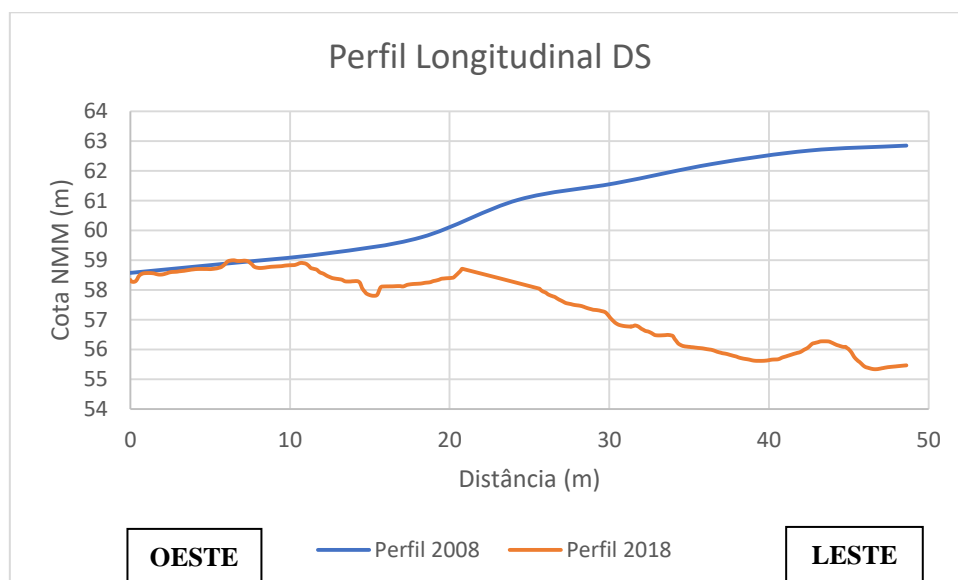


Figura 6.40 - Perfil longitudinal (W-E) da área DS.

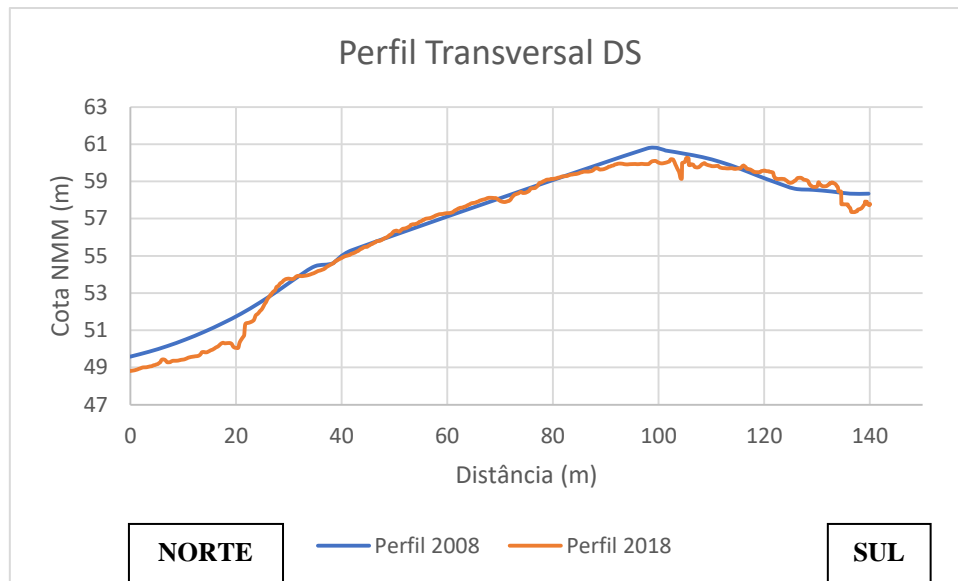


Figura 6.41 - Perfil transversal (N-S) da área DS.

No perfil W-E observa-se erosão pronunciada ao longo da generalidade deste perfil. Pelo contrário, no perfil N-S observa-se redução de cotas (erosão) nos 25 m mais a norte e pouco incremento (acrecção) no resto do perfil. Este padrão de evolução é compatível com a formação, expansão lateral e aprofundamento de um corredor de deflação alongado para NW, na sequência do desaparecimento do coberto vegetal que ocupava e fixava em 2008 numerosas e pequenas dunas amontoadas. A redução da vegetação levou à expansão e coalescência de manchas de areia eólica não vegetada, promovendo a reativação da superfície e a instalação de um corredor de deflação. As areias removidas daquele corredor erosivo formaram um lobo acrecionário, a sul, e acumulam-se também contra o muro de suporte da estrada, a SE, que é ocasionalmente transposta.

Os resultados obtidos e apresentados nesta seção são congruentes com os ilustrados na Figura 6.27 e discutidos acima. Na restante área existem, é certo, variações de elevação, mas de pequena magnitude e afetando unidades de superfície espacialmente descontínuas e pequenas, em termos de área.

Os resultados obtidos para os balanços sustentam a hipótese de que existe um fornecimento sedimentar contínuo do sistema praia para o sistema dunar e que a magnitude deste fornecimento estará contida no intervalo a  $9 \times 10^3$  a  $2.7 \times 10^4$   $m^3 \cdot ano^{-1}$ , efetuado essencialmente (senão exclusivamente) no setor da praia do Guincho.

## 7. Conclusões

Este estudo debruça-se sobre o campo de dunas Crismina-Guincho, um campo dunar ativo do ponto de vista do transporte sólido eólico que ocupa a parte norte do corredor eólico do Guincho-Guia. A mobilidade das formas e sedimentos eólicos foi estudada a escala temporal intermédia, de ordem decenal, combinando observações e medições de terreno com elementos morfológicos e sobre a ocupação do solo, retirados de ortofotomapas, existentes ou construídos no âmbito deste trabalho. O tema central do trabalho tem também implicações de carácter socio-económico, visto que a mobilidade das dunas é objeto de preocupação por parte das entidades gestoras deste território inserido no Parque Natural Sintra-Cascais e também de utilizadores que ocupam superfícies no interior ou localizadas nas vizinhanças do campo de dunas (i.e., Clube Dom Carlos, parque de campismo Orbitur), que não convivem de forma pacífica com a mobilidade característica destes sedimentos e formas eólicas.

O estudo da textura de areias das praias da Crismina e do Guincho e ainda das areias que povoam o campo de dunas indica que os sedimentos são semelhantes entre si (existe praticamente 100% de compatibilidade textural) e as praias podem funcionar como fornecedor de sedimentos para o sistema dunar.

A análise do regime de ventos (aqui estudado entre 2005 e 2019) indica que o vento sopra de todos os rumos do círculo azimutal mas que o vento eficaz (com rumo prevalente de NNW-SSE) originará transporte com resultante preferencial para sul e sudeste. O transporte sólido eólico resultante destes ventos é também praticamente unidirecional (para S e SE), justificando a movimentação da duna da Crismina na mesma direção. Para além deste rumo, merece referência um rumo de transporte secundário, dirigido para nascente, que se materializa no terreno pela existência de taludes de precipitação virados a leste em alguns corpos dunares, fixados ou não pela vegetação e também pelo avanço na mesma direção do manto de areias que cobriram as estruturas de retenção dunar implantadas a norte da estrada do Guincho-Areias.

Da análise da evolução da ocupação do solo, sobressaem quatro regiões, designadas por DN, D, DC e DS onde se concentram as mais importantes modificações morfológicas e do coberto vegetal ocorridas entre 1999 e 2016. A região DN diminuiu de área entre 1999 e 2016, devido à instalação de paliçadas nesse intervalo, sendo que a sua morfologia variou ao longo do tempo. Não se registaram grandes diferenças a nível de área ocupada pela região D mas a sua morfologia alterou-se, sendo que esta estrutura se foi alongando para sul. Na região DC as diferenças são mais notórias, tanto a nível de área como de ocupação do coberto vegetal: a sua área aumentou de 4.5 para 5.9 ha de 1999 para 2016, respetivamente, mas este incremento pode significar que existiu superfície arenosa disponível para deflação; salienta-se ainda a sua movimentação para S-SE, encontrando-se hoje muito próxima da estrada Guincho-Areia, junto ao parque de campismo Orbitur. A região DS aumentou a sua área significativamente, estando também no limite junto à estrada da Areia e do parque de campismo. A restante superfície também evoluiu, mas de forma mais discreta, quer no espaço quer no tempo.

De entre todas as formas eólicas, a duna da Crismina (DC) será a mais relevante, pela sua persistência no tempo, envergadura e mobilidade. Os resultados indicam que a taxa de migração desta duna é da ordem de 8 m/ano, variando entre máximo de 14.7 m/ano e mínimo de 4.2 m/ano. A análise da variação volumétrica e da superfície desta duna sugere que a movimentação é auto-sustentada, e que esta massa de areia alcançará o limite norte dos terrenos afetos ao Clube Dom Carlos num intervalo de 20 a 30 anos. Os resultados obtidos para este corpo eólico sugerem que a taxa de transporte sólido eólico requerida para justificar a evolução observada serão da ordem de  $24 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ . Será recomendável manter monitorização da progradação deste corpo e eventualmente, implementar medidas para mitigar a sua mobilidade, uma vez que se esta se tem vindo a deslocar a ritmo acelerado, para sul e para nascente, pelo que atingirá a estrada Guincho-Areia e o parque de campismo Orbitur, primeiramente, e em cerca de 20 a 30 anos atingirá o limite norte dos terrenos do Clube Dom Carlos, colocando em risco as respetivas estruturas.

A sul, a forma eólica mais relevante corresponde a uma estrutura de deflação (designada por DS neste trabalho) que experimentou expansão superficial e entalhe profundo do corredor de deflação. As areias libertadas por deflação originaram um lobo de acreção apontado a SE. Parte destas areias justificam o crescimento e expansão deste lobo, mas outra parte é conduzida pelo vento para o parque de campismo Orbitur, cobrindo também a estrada. Estas areias são removidas para manter a transitabilidade da estrada e condições de uso do parque, a intervalos irregulares. Este é o segundo caso que merece monitorização e, eventualmente, medidas de estabilização da superfície.

A norte da duna da Crismina observam-se duas áreas com alterações relevantes da morfologia e do coberto vegetal: áreas DN e D. Na área DN, onde se registaram algumas oscilações do coberto vegetal entre 1999 e 2016 devido, essencialmente, à instalação de paliçadas, em 2010, o que evitou, durante um certo tempo, o transporte de areias desde a praia do Guincho para o campo dunar, levando a que a área D também diminuísse a superfície de areal, permitindo a instalação de vegetação rasa. No entanto, a partir de 2013 é possível observar que a areia nua começa a tomar conta novamente destas áreas. A área DN, apesar da diminuição de superfície, aumentou significativamente de volume 2008 e 2018. A área D, manteve superfície praticamente invariante entre 2008 e 2018.

Os elementos colhidos no âmbito deste estudo sugerem que a contribuição da praia da Crismina como fonte sedimentar para o campo de dunas foi reduzida, no intervalo de tempo considerado, uma vez que não se registaram diferenças morfológicas e do coberto vegetal, ao longo dos anos, na região SW da zona de estudo na sua área de influência. Tal significa que a única fonte sedimentar relevante é a praia do Guincho e o balanço sedimentar deduzido a partir da evolução morfológica das áreas DN e D sugere que aquela evolução requer uma entrada de areia no sistema da ordem de  $9 \times 10^3$  a  $2.7 \times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ .

Os valores apresentados acima carecem de validação e, para este efeito, será importante desenhar e manter um programa de monitorização com realização de levantamentos aerofotogramétricos frequentes. Desta forma assegurar-se-ia a aquisição de uma base de dados consistente, necessária à consolidação do conhecimento sobre estas dunas, sobre a sua evolução, conhecimento que é necessário para fundamentar medidas de intervenção.

## 8. Considerações Finais

A duna da Crismina ocupa uma grande área e é sede de transporte sólido eólico de magnitude muito elevada, o que dificulta a estabilização da mesma através de estruturas de retenção, como as paliçadas. O forte regime de ventos, aliado à mobilização de areias da vertente barlavento, a norte, para a face de precipitação, manterá ativa a progradação deste corpo dunar. A estabilização deste corpo obriga a uma combinação de operações de revegetação da totalidade da superfície da duna, eventualmente complementada com a implantação de algumas estruturas de retenção. A eficácia de uma intervenção desta natureza não se alcança na fase de construção nem sequer nos meses que sucedem à conclusão dos trabalhos de instalação: requer vigilância e capacidade de intervenção rápida no sentido de reparar ou altear barreiras físicas, e re-introduzir vegetação, por exemplo. Tal passa por desenhar e assegurar a concretização de um programa de monitorização, para além de assegurar a existência dos meios humanos e materiais que possibilitem executar as intervenções de correção em tempo útil.

Relativamente às intervenções de retenção de areia já efetuadas pela Cascais Ambiente, conclui-se que as mesmas foram eficazes durante algum tempo (cerca de 2 anos), mas depois foram afogadas por areia, devido ao elevado caudal sólido que continuamente compete com as estruturas e a vegetação pela ocupação do espaço. Não é claro se as operações de reabilitação das paliçadas foram abandonadas, ou concretizadas a intervalos de tempo demasiado grandes, justificando assim a perda de eficácia. Mais uma vez, a monitorização do estado da superfície a intervalos regulares e criteriosamente dimensionados, poderá fundamentar reintervenção atempada e programada com o conseqüente aumento da eficácia destas soluções de intervenção.

Na duna frontal do Guincho, apesar das várias tentativas de estabilização (através da construção de paliçadas), o contínuo fornecimento sedimentar da praia facilmente leva à acumulação de areias e ao soterramento destas estruturas e, posteriormente, à expansão e crescimento de mantos de areia para sul e nascente.

Uma opção de gestão do território estudado no âmbito do presente trabalho será a de deixar o sistema eólico evoluir naturalmente. Esta opção mantém os valores naturais do sistema e permite que ele evolua, mas terá impactos significativos em estruturas construídas, como o parque de campismo da Orbitur, o Clube Dom Carlos, a estrada Guincho-Areia e o troço da EN 247 (já hoje frequentemente transposto por areias) entre o restaurante Muchaxo e o cruzamento da estrada Guincho-Areia. A circulação rodoviária nos troços de estrada afetados pela mobilização eólica de areias pode ser mantida desde que se assegure a limpeza e remoção de areias, com recurso a maquinaria adequada. Outra opção seria a de realocar mais para leste a via rodoviária de acesso à serra de Sintra, eliminando a circulação no troço entre a praia do Guincho e o cruzamento com a estrada Guincho-Areia. No caso dos espaços em risco hoje ocupados pelo Clube Dom Carlos e Orbitur, a sua realocação afigura-se mais problemática e dispendiosa. Porém, os elementos colhidos no âmbito do presente trabalho indicam que esses espaços serão inexoravelmente afetados num intervalo temporal reduzido, não sendo possível compatibilizar sem conflito modelos de ocupação estática da superfície com a mobilidade natural, característica dos corpos arenosos que os envolvem.

Uma opção de intervenção que minimize os conflitos com as ocupações acima descritas passa necessariamente pela adoção de medidas que reduzam ou inibam o transporte sólido real e, em particular, diminuam significativamente (ou anulem) a progradação da duna da Crismina, bem como a expansão e mobilidade do lobo frontal da estrutura de deflação designada neste trabalho por DS. Este tipo de opção inclui a instalação de estruturas de retenção e de vegetação dunar quer na duna da Crismina quer mais a sudeste, junto ao parque de campismo sobre a estrutura DS. Em ambos os casos sugere-se que as intervenções se estendam progressivamente de sotavento para barlavento, até que se alcance uma densidade de cobertura vegetal suficientemente elevada para inibir o arranque de partículas e o transporte sólido eólico se reduza a valores negligenciáveis. A adoção de um modelo de intervenção deste tipo obriga ao desenho e manutenção de um programa de monitorização para acompanhamento permanente das evoluções morfológicas e volumétricas, bem como da evolução do coberto vegetal introduzido. Os resultados dos levantamentos sucessivos deverão ser processados e interpretados rapidamente, de forma a permitir re-intervenções de correção em tempo útil. Admitida como mais eficaz para estabilizar estas formas eólicas, esta opção conduzirá necessariamente à artificialização e perda de mobilidade dos dois principais elementos do sistema dunar, pelo que os impactos associados serão, neste caso, sobre valores naturais e ambientais, que incorporam o nome do centro de interpretação ambiental ali construído. Acresce ainda que a estabilização destes dois elementos morfosedimentares não implica que a restante superfície do campo dunar não possa vir a ser localmente reativada (como aconteceu no passado no caso da estrutura DS), conduzindo à instalação e expansão de novas áreas de acumulação e erosão. Intervir no sentido de estabilizar o sistema implica assim intervir, monitorizar e re-intervencionar, em permanência, toda a superfície do campo dunar.

A ocupação do solo pela vegetação desempenha um papel importante no que diz respeito à (re)ativação dos processos eólicos, cuja magnitude é significativamente diminuída na presença de um coberto vegetal denso e saudável. Cabe aqui salientar que durante os trabalhos de campo e nas imagens disponíveis se observaram numerosos trilhos no campo de dunas, abertos por pisoteamento da vegetação e da responsabilidade de pedestres e cavalos. Aliás, durante os trabalhos de campo, observaram-se cavaleiros montados, em passeio no campo de dunas e, por outro lado, aqueles trilhos, para além de numerosos e organizados em rede densa, são recentes, o que indica elevada frequência do pisoteamento, mesmo em zonas identificadas como interditas. Estes dois exemplos ajudam a compreender a ineficácia de algumas intervenções de revegetação, bem como a multiplicação no espaço, e persistência, no tempo, da reativação localizada de pequenas superfícies do areal. Algumas serão naturalmente recobertas por vegetação mas outras poderão entrar em deflação persistente, alimentando novos corpos dunares e mantos de areia ou encorajando a formação e expansão de novos *blowouts*. O trabalho de conservação e informação desenvolvido pela Cascais Ambiente melhorou a qualidade e preservação do espaço ocupado pelo campo de dunas, graças à colocação de passadiços, vedações e sinaléticas. No entanto, as observações acima ilustram a conveniência de reforçar ações de educação ambiental, bem como densificar a sinalética e informação já existentes e incrementar a vigilância. Trata-se de medidas de baixo custo, eficazes a escalas temporais longas, que não substituem mas complementam as duas grandes opções de intervenção acima indicadas.

Observou-se também ao longo da periferia do espaço ocupado pelo campo de dunas e também no interior da zona de estudo a existência de numerosas acumulações de entulho, que poluem e prejudicam o meio envolvente. Parte destes depósitos serão provavelmente antigos, correspondem a despejos (supõe-se clandestinos) e recomenda-se a sua remoção. Outra parte resulta das operações de limpeza da EN 247, nos locais onde ocorre atravessamento de areias: as máquinas que removem estas areias e as lançam para a berma capturam também fragmentos de rocha dispersos no solo e elementos pétreos da calçada marginal. A deflação da componente arenosa destes materiais expõe e concentra localmente acumulações de entulhos que prejudicam a qualidade estética e são incompatíveis com o carácter “natural” do Parque.

## 9. Referências Bibliográficas

- Anderson, J. L., Walker, I. J. (2006). *Airflow and sand transport variations within a backshore-parabolic dune plain complex: NE Graham Island, British Columbia, Canada*. *Geomorphology* 77. Pp. 17-34.
- Andrade, C. F. (1990). *O Ambiente de Barreira da Ria Formosa, Algarve, Portugal*. Dissertação de Doutoramento. Universidade de Lisboa. 642p.
- Araújo, V. D. (2006). *Caracterização Geológica Tridimensional e Monitoramento de Dunas no Litoral Oriental do Rio Grande do Norte*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande e do Norte. 111p.
- Baize, D. (1988). *Soil Sciences Analyses. A guide to current use*. John Wiley & Sons, 192 p.
- Bastos, A. P., Lira, C., Calvão, J., Catalão, J., Andrade, C., Pereira, A. J., Taborda, R., Rato, D., Pinho, P., Correia, O. (2018). *UAV Derived Information Applied to the Study of Slow-changing Morphology in Dune Systems*. *Journal of Coastal Research, Special Issue*, 85. pp. 226-230.
- Brooks, A., Agate, E. (2005). *Sand Dunes: A Practical Handbook*. British Trust for Conservation Volunteers. Doncaster. 109p.
- Burns, J. H. R., Delpart, D. (2017). *Comparison of Commercial Structure-From-Motion Photogrammetry Software Used for Underwater Three-Dimensional Modeling of Coral Reef Environments*. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W3. pp. 127-131.
- Carvalho, A. M. G. (2005). *Geologia Sedimentar*. Volume II – Sedimentologia. Edição nº 24 004, Âncora Editora. Lisboa.
- Cascais Ambiente (2016). *Projeto de Recuperação do Sistema Dunar Cresmina/Guincho*. Relatório Síntese de Intervenção 2010/2016. Cascais.
- Collinson, J. D., Thompson, D. B. (1984). *Sedimentary Structures*. George Allen & Unwin (Publishers) Ltd. London.
- Costa, J. C. (2009). *Morfodinâmica do sistema praia-duna como indicador de sensibilidade ambiental – península de Tróia (Setúbal, Portugal)*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Departamento de Biologia Animal. 70p.
- Davis, R. A. (1978). *Coastal Sedimentary Environments*. Springer-Verlag. 420p.
- Davis, R. A., Fitzgerald, D. M. (2004). *Beachs and Coasts*. Blackwell Publishing. 448p.
- Decreto Lei 292/81 de 15 de outubro (1981). *Diário da República nº237 – I Série*. Lisboa.
- Decreto Lei 565/99 de 21 de dezembro (1999). *Diário da República nº295 – I Série-A*. Ministério do Ambiente. Lisboa.

Dias, J. A. (2004). *A análise sedimentar e os conhecimentos dos sedimentos marinhos (Uma introdução à engenharia geológica)*. J. A. Dias, Ed. Universidade do Algarve. Algarve-Faro.

Expresso (2018). *Incêndio destruiu dunas do Guincho*. Acedido a 31 de janeiro de 2019, em: <https://expresso.pt/sociedade/2018-10-07-Incendio-destruiu-dunas-do-Guincho#gs.SKRKgzgc>.

Fernandez, G. B., Pereira, T. G., Thaís, B. R., Maluf, V., Moulton, M., Oliveira Filho, S. R. (2017). *Classificação Morfológica das Dunas Costeiras entre o Cabo Frio e o Cabo Búzios, Litoral do Estado do Rio de Janeiro*. Revista Brasileira de Geomorfologia, v.18, nº3. 28p.

Flor, G. (1990). *Tipología de dunas eólicas, procesos de erosión-sedimentación costera e evolución litoral de la Provincia de Huelva (Golfo de Cádiz occidental, sur de España)*. Estudios Geológicos. 46. pp. 99-109.

Folk, R. L., Ward W. C. (1957). *Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters*. Journal of Sedimentary Petrology 27. pp. 3–26.

Folk, R.L. (1974). *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Publishing, Austin, Texas, 184p.

Fonseca, J. E. R. (2011). *A dimensão dos sedimentos na caracterização das praias*. Tese de Mestrado. Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil. 187p.

Gallego Fernández, J. B., García Mora, M. R., Veja de Seoane, C. L. (2003). *Restauración de ecosistemas dunares costeros*. Colección Aula Abierta. Asociación Española de Ecología Terrestre. Universidad de Alcalá, Espanha.

Hesp, P. (1988). *Morphology, Dynamics and internal stratification of some established foredunes in southeast Australia*. Sedimentary Geology, 55 (1-2). pp. 17-41.

Hesp, P. (1999). *The Beach Backshore and Beyond*. In Handbook of beach and shoreface morphodynamics. Short, A.D. (Ed.). John Wiley & Sons, Ltd. pp. 145-169.

Hesp, P. (2002). *Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics*. Geomorphology 48. pp. 245–268.

Leal, N. (2009). *Geodiversidade no Parque Natural Sintra-Cascais*. XXIX Curso de Atualização de Professores em Geociências. Escola Superior de Educação de Lisboa. Pp 71-74.

Lobato Gómez, P. (coord) (2007). *Manual de Restauración de Dunas Costeras*. Ministério de Medio Ambiente. Dirección Geral de Costas. 258p.

Lourenço, C. S. (2012). *Dinâmica da Duna Frontal em Função das Intervenções Humanas*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro, Departamento de Ambiente e Ordenamento. 186p.

McKee, E. D. (2004). *A Study of Global Sand Seas*. University Press of the Pacific. 440p.

Nordstrom, K. F., Psuty, N., Carter, B. (1990). *Coastal Dunes – Form and Process*. John Wiley & Sons, Ltd. 392p.

Público (2002). *Chamas devastam outra vez zona do Abano*. Acedido a 31 de janeiro de 2019, em: <https://www.publico.pt/2002/07/29/jornal/chamas-devastam-outra-vez-zona-do-abano-173233>.

Pye, K., Tsoar, H. (2009). *Aeolian Sand and Sand Dunes*. Springer Berlin Heidelberg. 396p.

Ramalho, M. M., Rey, J.; Zbyszewski, G., Alves, C. A. M., Palácios, T., Moitinho de Almeida, F., Costa, C., Kullberg, M. (2001). *Carta Geológica de Portugal na escala 1/50 000*. Notícia explicativa da folha 34-C Cascais. Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa. 104p.

Rato, D. T. (2017). *Monitorização da Duna de São João da Caparica*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. 122p.

Rebêlo, L. P. (1995). *Dinâmica do Sistema Dunar do Guincho-Oitavos*. Dissertação de Mestrado em Geologia. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Rebêlo, L. P. (2004). *Evolução e Dinâmica dos Sistemas Dunares da Manta Rota e do Guincho-Oitavos: Dois Sistemas Distintos na Evolução das Dunas Costeiras em Portugal*. Instituto Geográfico e Mineiro, Lisboa. 205p.

Rebêlo, L. P., Brito, P. O. (2004). *A importância das dunas frontais na avaliação da evolução da linha de costa – O caso da Praia da Manta Rota*. V Encontro de Professores de Geociências do Algarve. Vila Real de Santo António. 6p.

Ribeiro, M. L., & Ramalho, M. M. (1997). *Notícia Explicativa da Carta Geológica Simplificada*. Instituto Geológico e Mineiro e Parque Natural de Sintra-Cascais, Lisboa.

Santos, M. S. (2006). *Caracterização e Quantificação do Transporte Eólico na Duna da Cresmina*. Relatório de Estágio, não publicado. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. 55p.

Sapo Vídeos (2014). *Incêndio no Parque Natural Sintra-Cascais em Agosto de 2000 (Reportagem TVI)*. Acedido a 31 de janeiro de 2019, em: <http://videos.sapo.pt/3ZGF1VAWlrprDGNwboC6>.

SIC Notícias (2010). *Fogo lavrou durante a noite, entre a Malveira e o Guincho, em área do Parque Natural de Sintra-Cascais*. Acedido a 31 de janeiro de 2019, em: <https://sicnoticias.sapo.pt/pais/2010-07-25-Fogo-lavrou-durante-a-noite-entre-a-Malveira-e-o-Guincho-em-area-do-Parque-Natural-de-Sintra-Cascais>.

Silva, C. F. (2015). *Dinâmica Sedimentar em Sistemas Dunares Litorais – Aplicação ao Sistema Dunar da Praia do Guincho, Cascais*. Dissertação de Mestrado em Arquitetura Paisagista. Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa. 120p.

Sousa, C. V. P. (2010). *Vulnerabilidade dos Sistemas Dunares da Praia do Meco*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. 138p.

Taborda, R., Andrade, C., Marques, F., Freitas, M. C., Rodrigues, R., Antunes, C., & Pólvora, C. (2009). *Plano Estratégico do Concelho de Cascais face às Alterações Climáticas*. Relatório não publicado. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. 48p.

UOPG8 (2008) – *Projecto de Requalificação e Valorização Ambiental do troço de costa Guincho-Guia (UOPG 8 do POOC Sintra-Sado)*. Parque Natural de Sintra-Cascais. Câmara Municipal de Cascais. Cascais Natura.

# 10. Anexos

## Anexo 1 - Legenda Litoestratigráfica

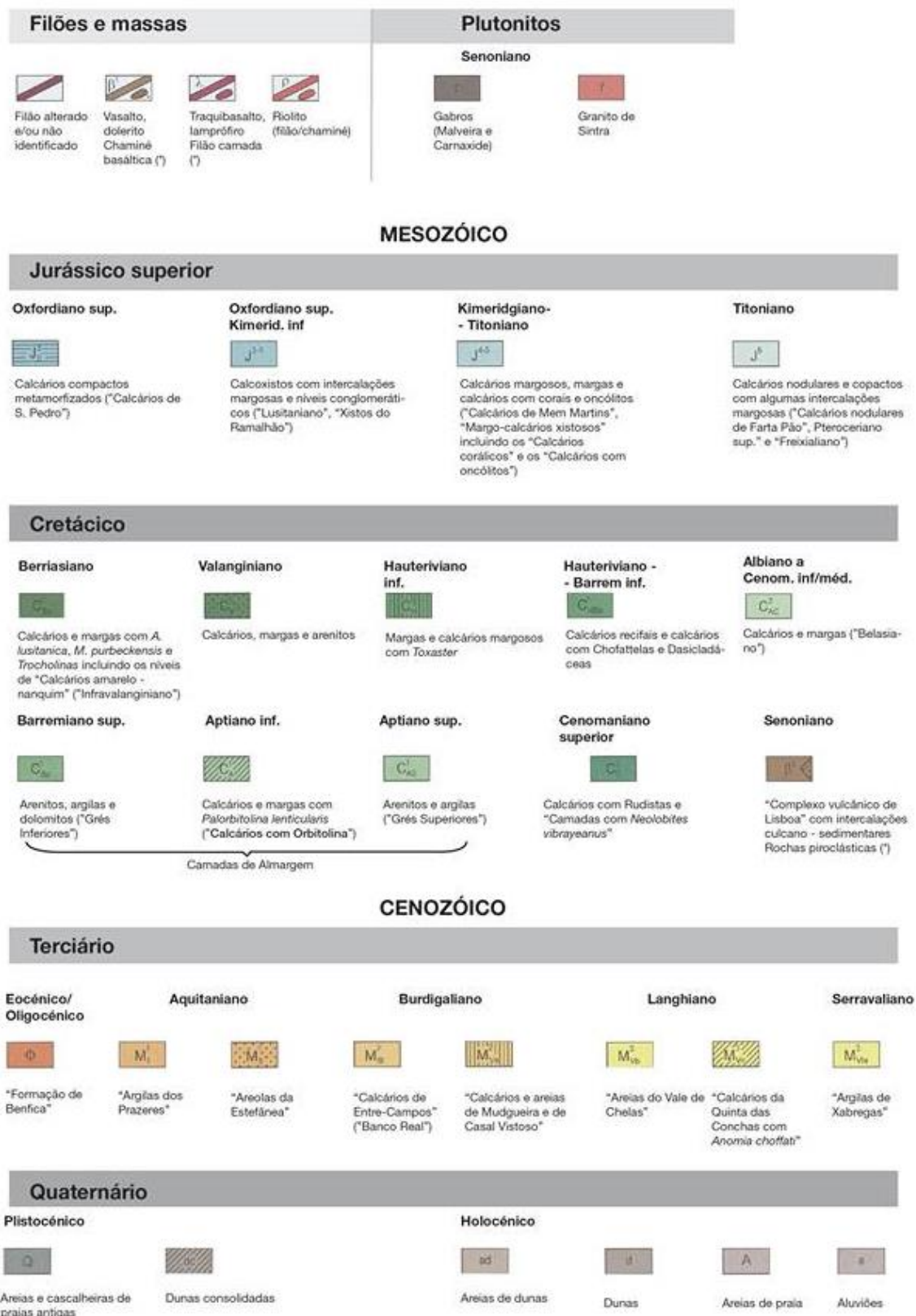


Figura 10.1 - Legenda litoestratigráfica da geologia do concelho de Cascais. Adaptado de Ramalho et al. (2001).

## Anexo 2 - Código Matlab construído para analisar o regime de ventos, total e por estações do ano

### Análise do Vento Total

```
%% Carregar ficheiro

close all
clear all
clc
nome = input('nome:');
bfc = xlsread(nome);

%% Definir variáveis

t = bfc(:,1);
rumo = bfc(:,2);
velocidade = bfc(:,3);

int = input('Amplitude dos intervalos (graus:'); %introduzir valor da amplitude

n_int = 360/int; %Cálculo do número de intervalos para a rosa dos ventos
alfarad_alt = degtorad(rumo); %Converte direções opostas para radianos

%% Definir variáveis

r_up=rumo+180;
r_up(r_up>360)=r_up(r_up>360)-360; %rumo upwind
r=90-r_up; %rumo para efeitos de projecção

figure(1)
wind_rose(r,velocidade,'di', [0 7 10 10], 'n',n_int, 'cmap', [summer]) %rumo upwind com definição
de classes
title ('Total', 'Fontweight', 'Bold', 'Fontname', 'Times New Roman', 'FontSize', 20);

%% Frequência de Ocorrência

Q1=[];
Q2=[];
Q3=[];
Q4=[];
Q5=[];
Q6=[];
Q7=[];
Q8=[];

for i=1:length(rumo);
if rumo(i,1) >= 0 & rumo(i,1) <= 22.5 & rumo(i,1) > 337.5;
    Q1=[Q1;rumo(i)];
end
if rumo(i,1) > 22.5 & rumo(i,1) <= 67.5;
    Q2=[Q2;rumo(i)];
end
if rumo(i,1) > 67.5 & rumo(i,1) <= 113.5;
    Q3=[Q3;rumo(i)];
end
if rumo(i,1) > 113.5 & rumo(i,1) <= 158.5;
```

```
Q4=[Q4;rumo(i);  
end  
if rumo (i,1) > 158.5 & rumo (i,1) <= 203.5;  
Q5=[Q5;rumo(i);  
end  
if rumo (i,1) > 203.5 & rumo (i,1) <= 248.5;  
Q6=[Q6;rumo(i);  
end  
if rumo (i,1) > 248.5 & rumo (i,1) <= 293.5;  
Q7=[Q7;rumo(i);  
end  
if rumo (i,1) > 293.5 & rumo (i,1) <= 337.5;  
Q8=[Q8;rumo(i);  
end  
end
```

## Análise do Vento por Estações do Ano

```
%% Carregar ficheiro

close all
clear all
clc

Data=load('DadosVento2019.txt');

rumo = Data(:,12);
velocidade = Data(:,13);
Anos=Data(:,3);
Mes=Data(:,2);
Dia=Data(:,1);
hora=Data(:,4);

ano=[2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019];

int = input('Amplitude dos intervalos (graus):'); %introduzir valor da amplitude

n_int = 360/int; %Cálculo do número de intervalos para a rosa dos ventos
alfarad_alt = degtorad(rumo); %Converte direções opostas para radianos

% Definir variáveis

r_up=rumo+180;
r=90-r_up; %rumo para efeitos de projeção.
Data(:,12) = r;

for i=1:length(ano);
    Pr_i(i)=find(Anos==ano(i) & Mes==3 & Dia==21 & hora==12); %Ano, mês, dia e hora em
    que inicia a estação (Primavera)
    if i<length(ano);
        In_i(i)=find(Anos==ano(i) & Mes==12 & Dia==21 & hora==12); %Ano, mês, dia e hora em
        que inicia a estação (Inverno)
        Ve_i(i)=find(Anos==ano(i) & Mes==6 & Dia==21 & hora==12); %Ano, mês, dia e hora em
        que inicia a estação (Verão)
        Ou_i(i)=find(Anos==ano(i) & Mes==9 & Dia==21 & hora==12); %Ano, mês, dia e hora em
        que inicia a estação (Outuno)
    end
end

clear i

for i=1:length(ano);
    In_f(i)=find(Anos==ano(i) & Mes==3 & Dia==21 & hora==9); %Ano, mês, dia e hora em que
    termina a estação (Inverno)
    if i<length(ano);
        Ve_f(i)=find(Anos==ano(i) & Mes==9 & Dia==21 & hora==9); %Ano, mês, dia e hora em
        que termina a estação (Verão)
        Ou_f(i)=find(Anos==ano(i) & Mes==12 & Dia==21 & hora==9); %Ano, mês, dia e hora em
        que termina a estação (Outuno)
        Pr_f(i)=find(Anos==ano(i) & Mes==6 & Dia==21 & hora==9); %Ano, mês, dia e hora em
        que termina a estação (Primavera)
    end
end
```

```

I_dir{1}=Data(1:In_f(1,1),12);
I_vel{1}=Data(1:In_f(1,1),13);

for j=1:length(In_i);
    k=j+1;
    I_dir{k}=Data(In_i(1,j):In_f(1,k),12);
    I_vel{k}=Data(In_i(1,j):In_f(1,k),13);
end

clear i k

for j=1:length(Ou_f);
    P_dir{j}=Data(Pr_i(1,j):Pr_f(1,j),12);
    P_vel{j}=Data(Pr_i(1,j):Pr_f(1,j),13);

    V_dir{j}=Data(Ve_i(1,j):Ve_f(1,j),12);
    V_vel{j}=Data(Ve_i(1,j):Ve_f(1,j),13);

    O_dir{j}=Data(Ou_i(1,j):Ou_f(1,j),12);
    O_vel{j}=Data(Ou_i(1,j):Ou_f(1,j),13);
end

P_dir{15}=Data(Pr_i(1,15):end,12);
P_vel{15}=Data(Pr_i(1,15):end,13);

Inv_dir_plot=[];
Inv_vel_plot=[];
Prim_dir_plot=[];
Prim_vel_plot=[];
Ver_dir_plot=[];
Ver_vel_plot=[];
Out_dir_plot=[];
Out_vel_plot=[];

for i=1:length(P_dir);
    if i<=14;
        file1_V=V_dir{1,i};
        file2_V=V_vel{1,i};
        Ver_dir_plot=[Ver_dir_plot;file1_V];
        Ver_vel_plot=[Ver_vel_plot;file2_V];

        file1_O=O_dir{1,i};
        file2_O=O_vel{1,i};
        Out_dir_plot=[Out_dir_plot;file1_O];
        Out_vel_plot=[Out_vel_plot;file2_O];
    end

    file1_P=P_dir{1,i};
    file2_P=P_vel{1,i};
    Prim_dir_plot=[Prim_dir_plot;file1_P];
    Prim_vel_plot=[Prim_vel_plot;file2_P];

    file1_I=I_dir{1,i};
    file2_I=I_vel{1,i};
    Inv_dir_plot=[Inv_dir_plot;file1_I];
    Inv_vel_plot=[Inv_vel_plot;file2_I];
end

```

```
figure
wind_rose(Prim_dir_plot,Prim_vel_plot,'di', [0 7 10 10], 'n', n_int, 'cmap', [summer]);
title ('Primavera', 'Fontweight', 'Bold', 'Fontname', 'Times New Roman', 'FontSize', 20);
```

```
figure
wind_rose(Ver_dir_plot,Ver_vel_plot,'di', [0 7 10 10], 'n', n_int, 'cmap', [summer]);
title ('Verão', 'Fontweight', 'Bold', 'Fontname', 'Times New Roman', 'FontSize', 20);
```

```
figure
wind_rose(Out_dir_plot,Out_vel_plot,'di', [0 7 10 10], 'n', n_int, 'cmap', [summer]);
title ('Outono', 'Fontweight', 'Bold', 'Fontname', 'Times New Roman', 'FontSize', 20);
```

```
figure
wind_rose(Inv_dir_plot,Inv_vel_plot,'di', [0 7 10 10], 'n', n_int, 'cmap', [summer]);
title ('Inverno', 'Fontweight', 'Bold', 'Fontname', 'Times New Roman', 'FontSize', 20);
```

%% Frequência de Ocorrência (Estações)

```
Q1P=[];
Q2P=[];
Q3P=[];
Q4P=[];
Q5P=[];
Q6P=[];
Q7P=[];
Q8P=[];
```

```
Prim_dir_plot=Prim_dir_plot+89.8748;
```

```
for i=1:length(Prim_dir_plot);
    if Prim_dir_plot(i,1) >= 0 & Prim_dir_plot(i,1) <= 45;
        Q1P=[Q1P;Prim_dir_plot(i)];
    end
    if Prim_dir_plot(i,1) > 45 & Prim_dir_plot(i,1) <= 90;
        Q2P=[Q2P;Prim_dir_plot(i)];
    end
    if Prim_dir_plot(i,1) > 90 & Prim_dir_plot(i,1) <= 135;
        Q3P=[Q3P;Prim_dir_plot(i)];
    end
    if Prim_dir_plot(i,1) > 135 & Prim_dir_plot(i,1) <= 180;
        Q4P=[Q4P;Prim_dir_plot(i)];
    end
    if Prim_dir_plot(i,1) > 180 & Prim_dir_plot(i,1) <= 225;
        Q5P=[Q5P;Prim_dir_plot(i)];
    end
    if Prim_dir_plot(i,1) > 225 & Prim_dir_plot(i,1) <= 270;
        Q6P=[Q6P;Prim_dir_plot(i)];
    end
    if Prim_dir_plot(i,1) > 270 & Prim_dir_plot(i,1) <= 315;
        Q7P=[Q7P;Prim_dir_plot(i)];
    end
    if Prim_dir_plot(i,1) > 315 & Prim_dir_plot(i,1) <= 360;
        Q8P=[Q8P;Prim_dir_plot(i)];
    end
end
```

```

Q1V=[];
Q2V=[];
Q3V=[];
Q4V=[];
Q5V=[];
Q6V=[];
Q7V=[];
Q8V=[];

Ver_dir_plot=Ver_dir_plot+89.8748;

for i=1:length (Ver_dir_plot);
    if Ver_dir_plot (i,1) >= 0 & Ver_dir_plot (i,1) <= 45;
        Q1V=[Q1V;Ver_dir_plot(i)];
    end
    if Ver_dir_plot (i,1) > 45 & Ver_dir_plot (i,1) <= 90;
        Q2V=[Q2V;Ver_dir_plot(i)];
    end
    if Ver_dir_plot (i,1) > 90 & Ver_dir_plot (i,1) <= 135;
        Q3V=[Q3V;Ver_dir_plot(i)];
    end
    if Ver_dir_plot (i,1) > 135 & Ver_dir_plot (i,1) <= 180;
        Q4V=[Q4V;Ver_dir_plot(i)];
    end
    if Ver_dir_plot (i,1) > 180 & Ver_dir_plot (i,1) <= 225;
        Q5V=[Q5V;Ver_dir_plot(i)];
    end
    if Ver_dir_plot (i,1) > 225 & Ver_dir_plot (i,1) <= 270;
        Q6V=[Q6V;Ver_dir_plot(i)];
    end
    if Ver_dir_plot (i,1) > 270 & Ver_dir_plot (i,1) <= 315;
        Q7V=[Q7V;Ver_dir_plot(i)];
    end
    if Ver_dir_plot (i,1) > 315 & Ver_dir_plot (i,1) <= 360;
        Q8V=[Q8V;Ver_dir_plot(i)];
    end
end

Q1O=[];
Q2O=[];
Q3O=[];
Q4O=[];
Q5O=[];
Q6O=[];
Q7O=[];
Q8O=[];

Out_dir_plot=Out_dir_plot+89.8748;

for i=1:length (Out_dir_plot);
    if Out_dir_plot (i,1) >= 0 & Out_dir_plot (i,1) <= 45;
        Q1O=[Q1O;Out_dir_plot(i)];
    end
    if Out_dir_plot (i,1) > 45 & Out_dir_plot (i,1) <= 90;
        Q2O=[Q2O;Out_dir_plot(i)];
    end
    if Out_dir_plot (i,1) > 90 & Out_dir_plot (i,1) <= 135;
        Q3O=[Q3O;Out_dir_plot(i)];
    end
end

```

```

    if Out_dir_plot (i,1) > 135 & Out_dir_plot (i,1) <= 180;
        Q4O=[Q4O;Out_dir_plot(i)];
    end
    if Out_dir_plot (i,1) > 180 & Out_dir_plot (i,1) <= 225;
        Q5O=[Q5O;Out_dir_plot(i)];
    end
    if Out_dir_plot (i,1) > 225 & Out_dir_plot (i,1) <= 270;
        Q6O=[Q6O;Out_dir_plot(i)];
    end
    if Out_dir_plot (i,1) > 270 & Out_dir_plot (i,1) <= 315;
        Q7O=[Q7O;Out_dir_plot(i)];
    end
    if Out_dir_plot (i,1) > 315 & Out_dir_plot (i,1) <= 360;
        Q8O=[Q8O;Out_dir_plot(i)];
    end
end

Q1I=[];
Q2I=[];
Q3I=[];
Q4I=[];
Q5I=[];
Q6I=[];
Q7I=[];
Q8I=[];

Inv_dir_plot=Inv_dir_plot+89.8748;

for i=1:length (Inv_dir_plot);
    if Inv_dir_plot (i,1) >= 0 & Inv_dir_plot (i,1) <= 45;
        Q1I=[Q1I;Inv_dir_plot(i)];
    end
    if Inv_dir_plot (i,1) > 45 & Inv_dir_plot (i,1) <= 90;
        Q2I=[Q2I;Inv_dir_plot(i)];
    end
    if Inv_dir_plot (i,1) > 90 & Inv_dir_plot (i,1) <= 135;
        Q3I=[Q3I;Inv_dir_plot(i)];
    end
    if Inv_dir_plot (i,1) > 135 & Inv_dir_plot (i,1) <= 180;
        Q4I=[Q4I;Inv_dir_plot(i)];
    end
    if Inv_dir_plot (i,1) > 180 & Inv_dir_plot (i,1) <= 225;
        Q5I=[Q5I;Inv_dir_plot(i)];
    end
    if Inv_dir_plot (i,1) > 225 & Inv_dir_plot (i,1) <= 270;
        Q6I=[Q6I;Inv_dir_plot(i)];
    end
    if Inv_dir_plot (i,1) > 270 & Inv_dir_plot (i,1) <= 315;
        Q7I=[Q7I;Inv_dir_plot(i)];
    end
    if Inv_dir_plot (i,1) > 315 & Inv_dir_plot (i,1) <= 360;
        Q8I=[Q8I;Inv_dir_plot(i)];
    end
end
end

```

### Anexo 3 - Imagens obtidas com UAV na área de estudo

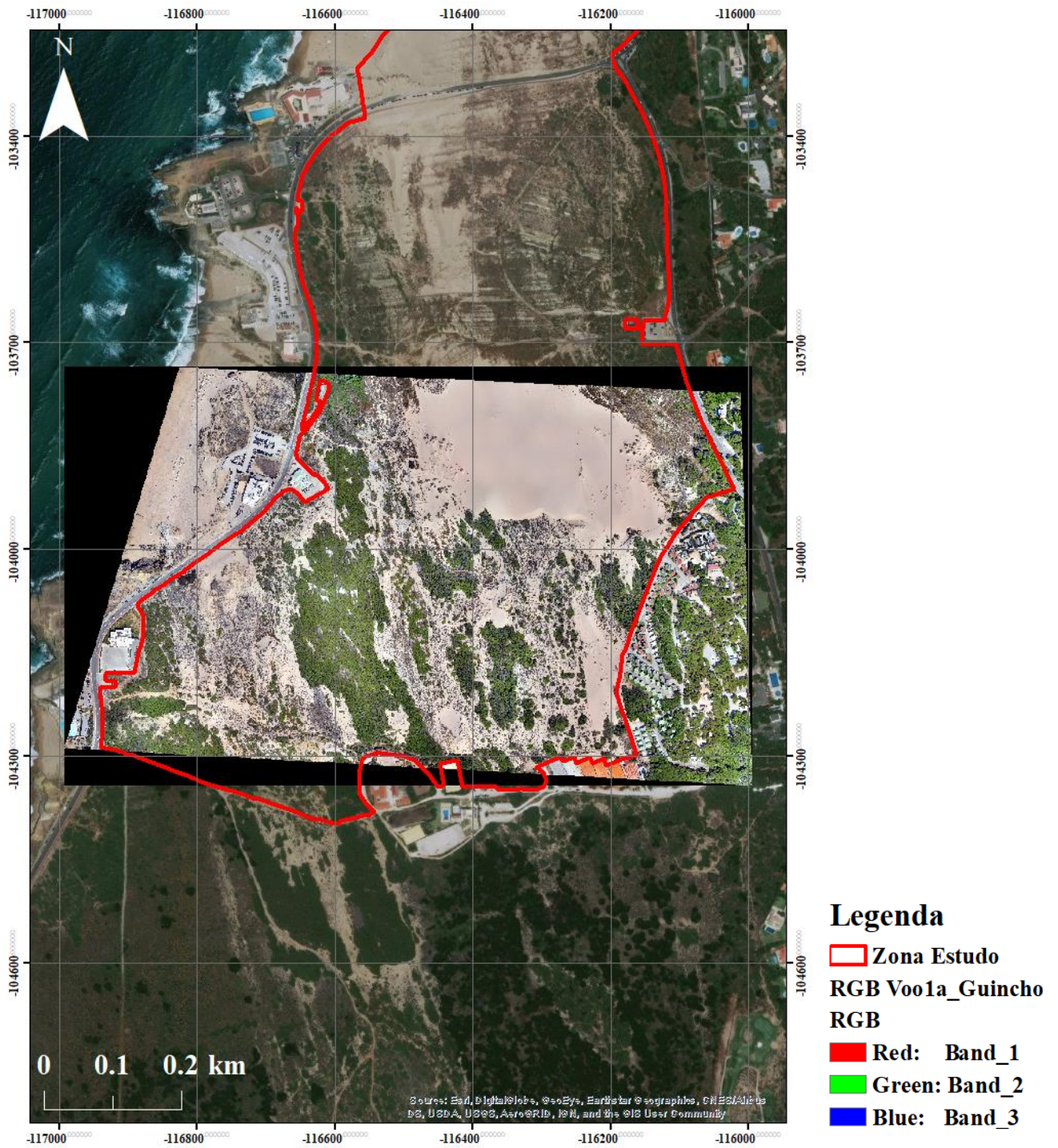


Figura 10.2 - Imagem RGB obtida com UAV (vôo 1a de 12 de setembro de 2018). Imagem de base disponibilizada pela ESRI..

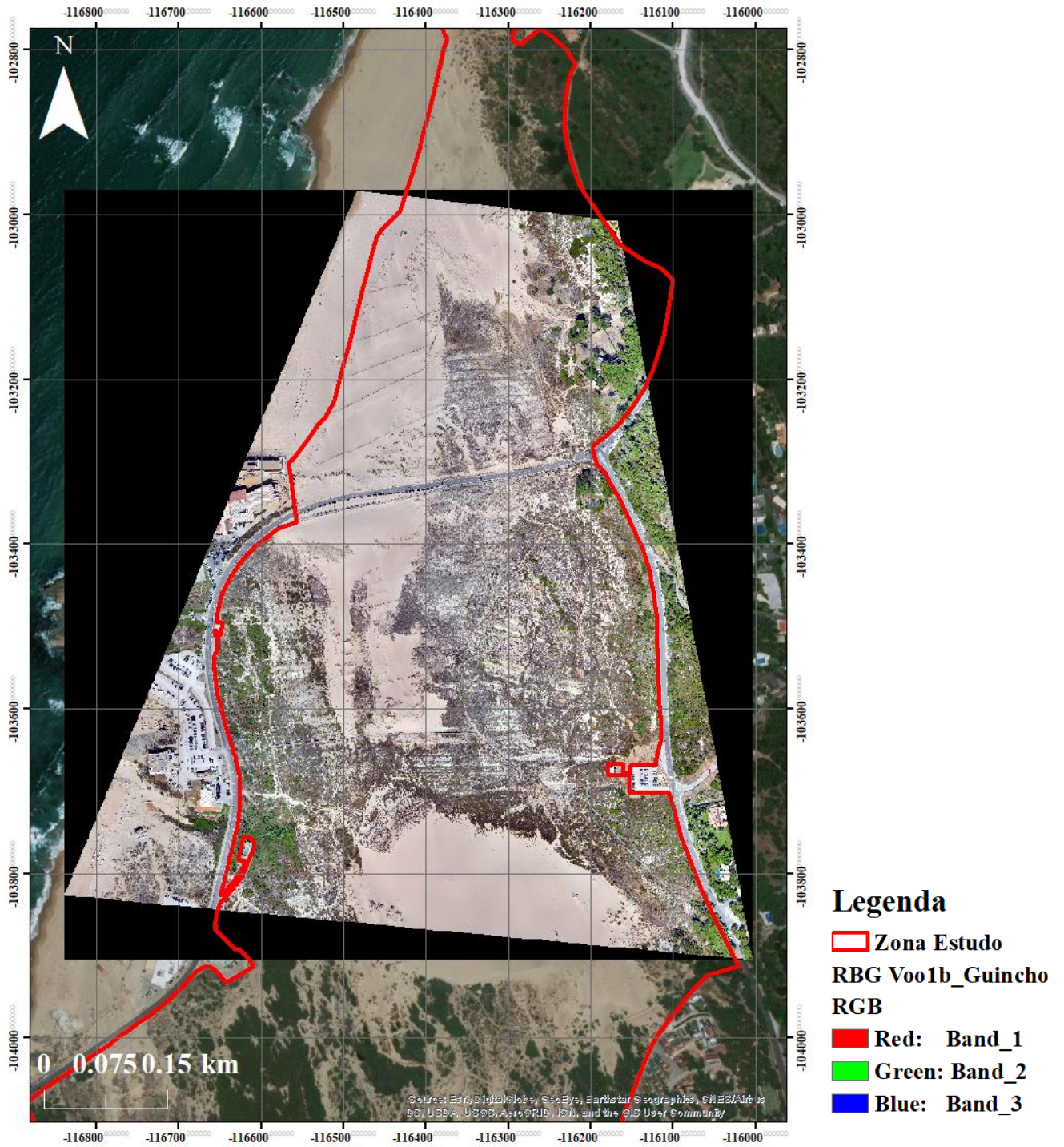


Figura 10.3 - Imagem RGB obtida com UAV (vôo 1b de 12 de setembro de 2018). Imagem de base disponibilizada pela ESRI.

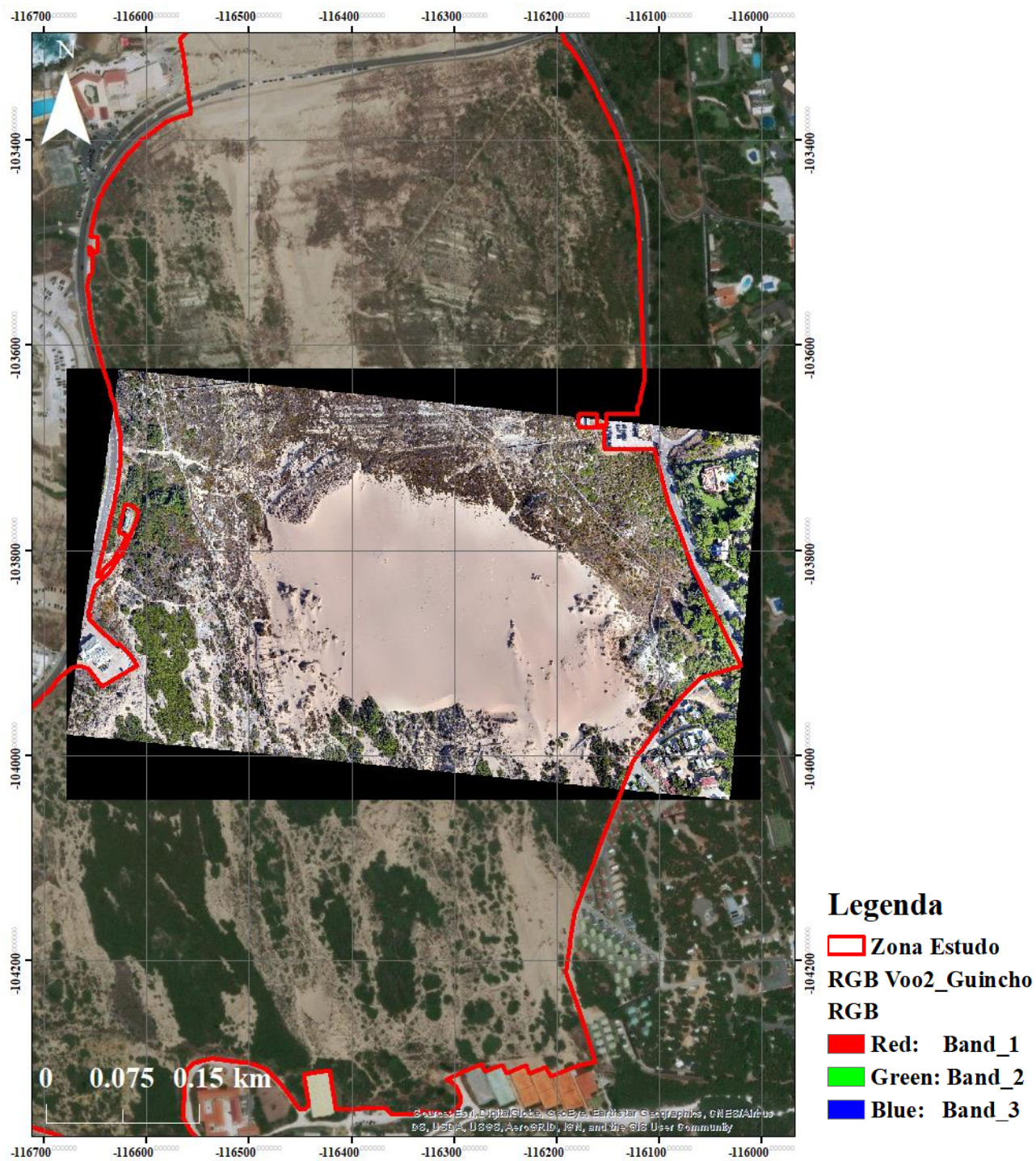


Figura 10.4 - Imagem RGB obtida com UAV (vôo de 3 de outubro de 2018). Imagem de base disponibilizada pela ESRI.

## Anexo 4 - Ortofotomapas utilizados

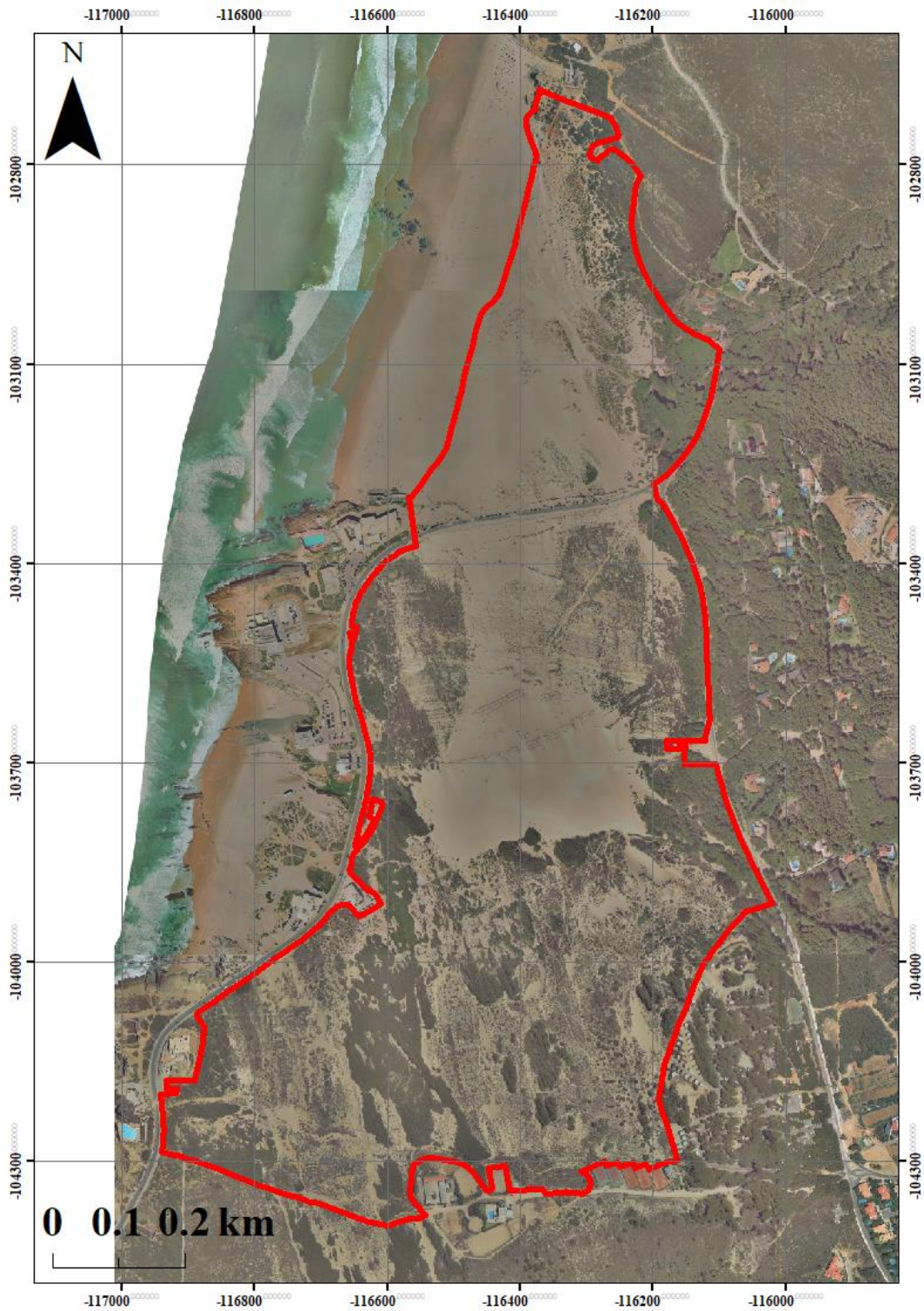


Figura 10.5 - Ortofotomapa 1999. Fonte: CMC.

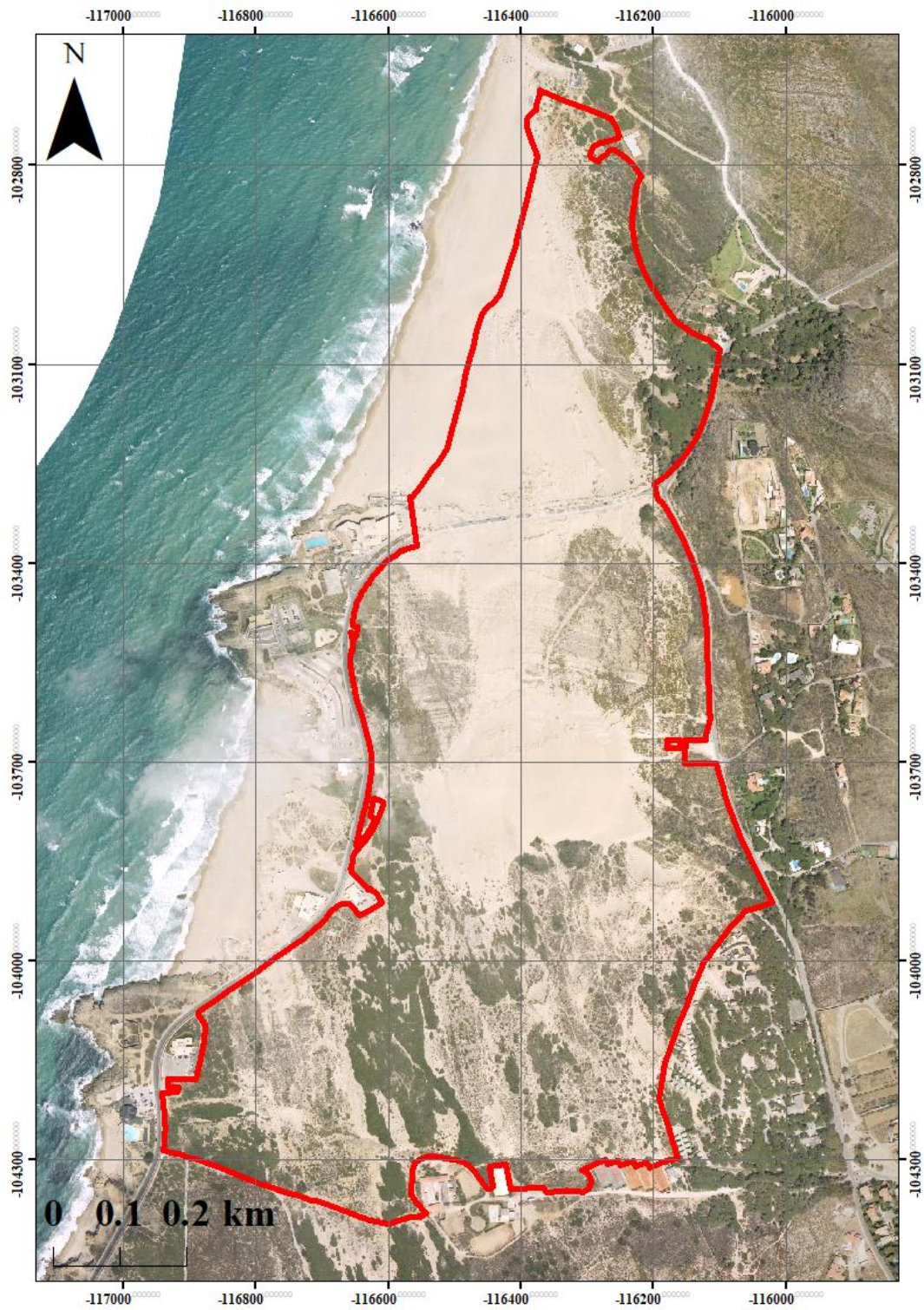


Figura 10.6 - Ortofotomapa 2002. Fonte: CMC.

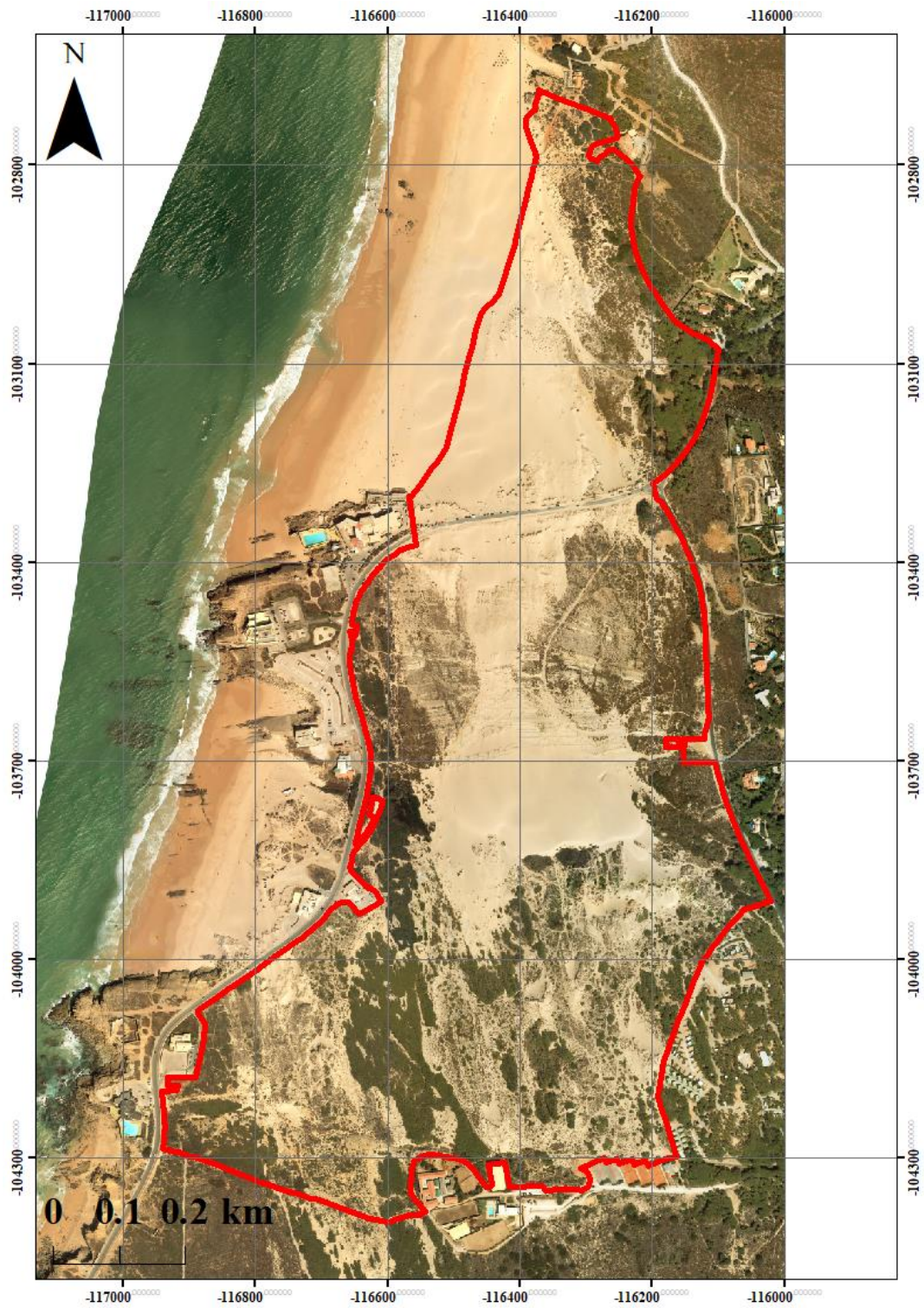


Figura 10.7 - Ortofotomapa 2005. Fonte: CMC.

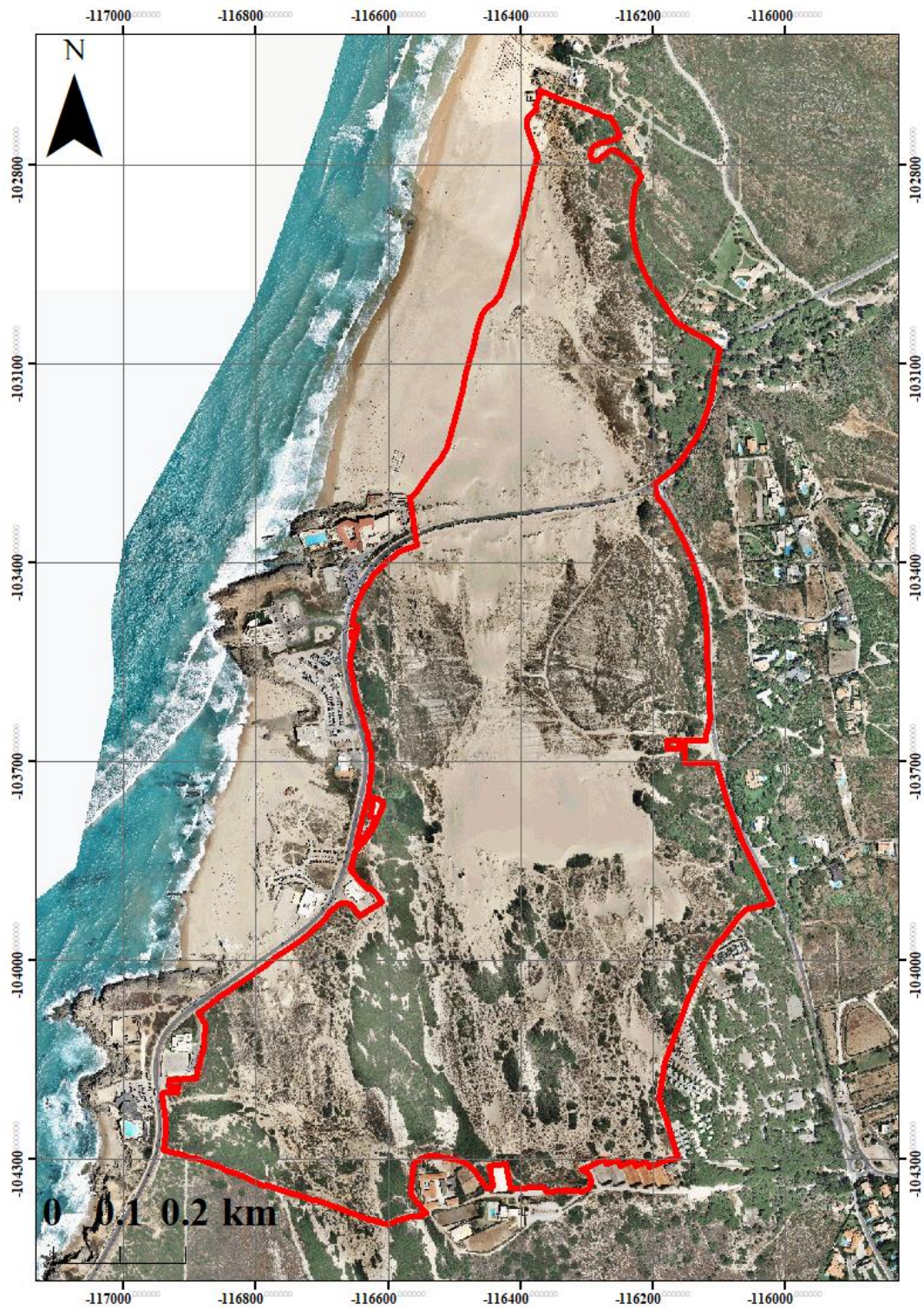


Figura 10.8 - Ortofotomapa 2008. Fonte: CMC.

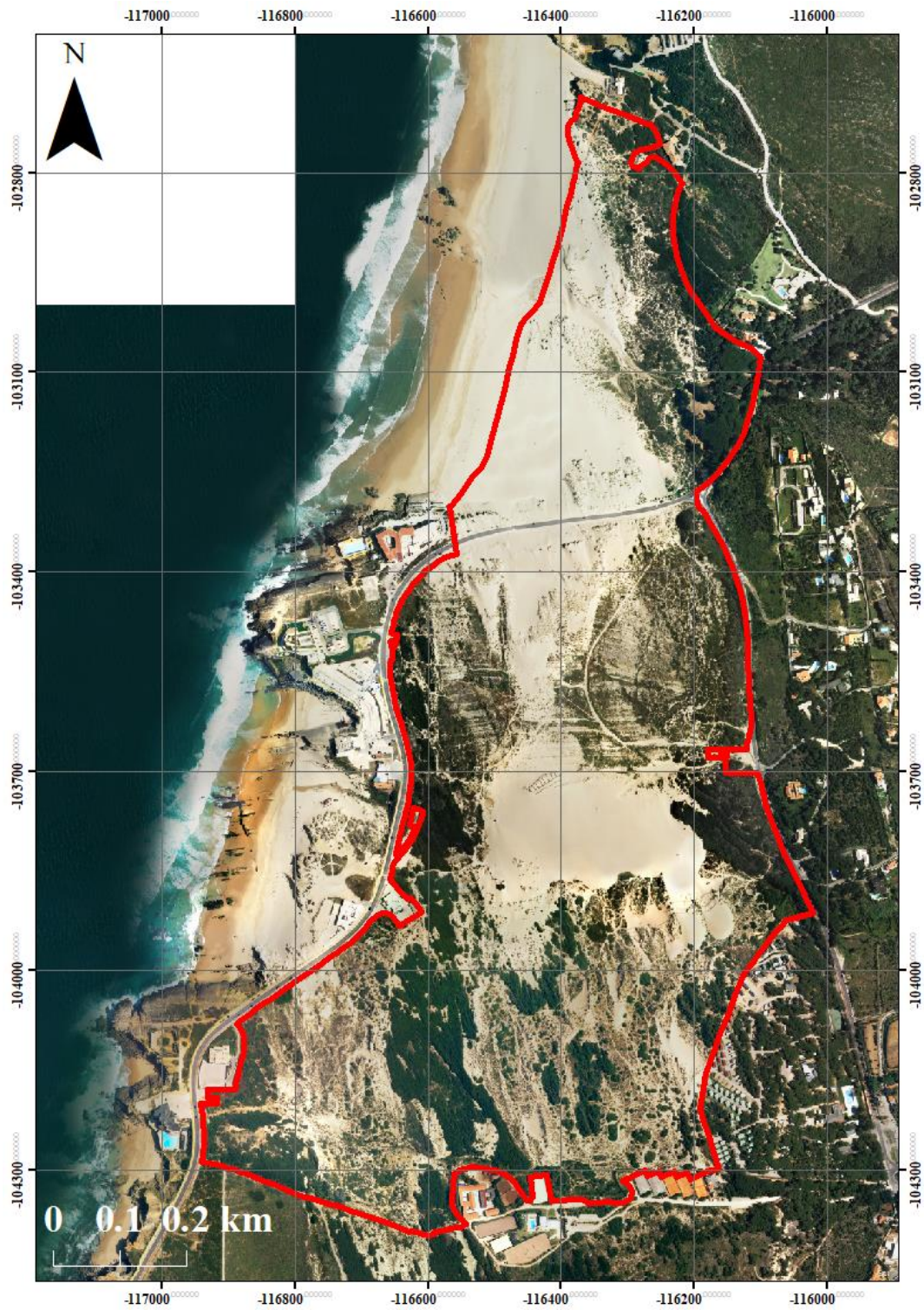


Figura 10.9 - Ortofotomapa 2010. Fonte: CMC.

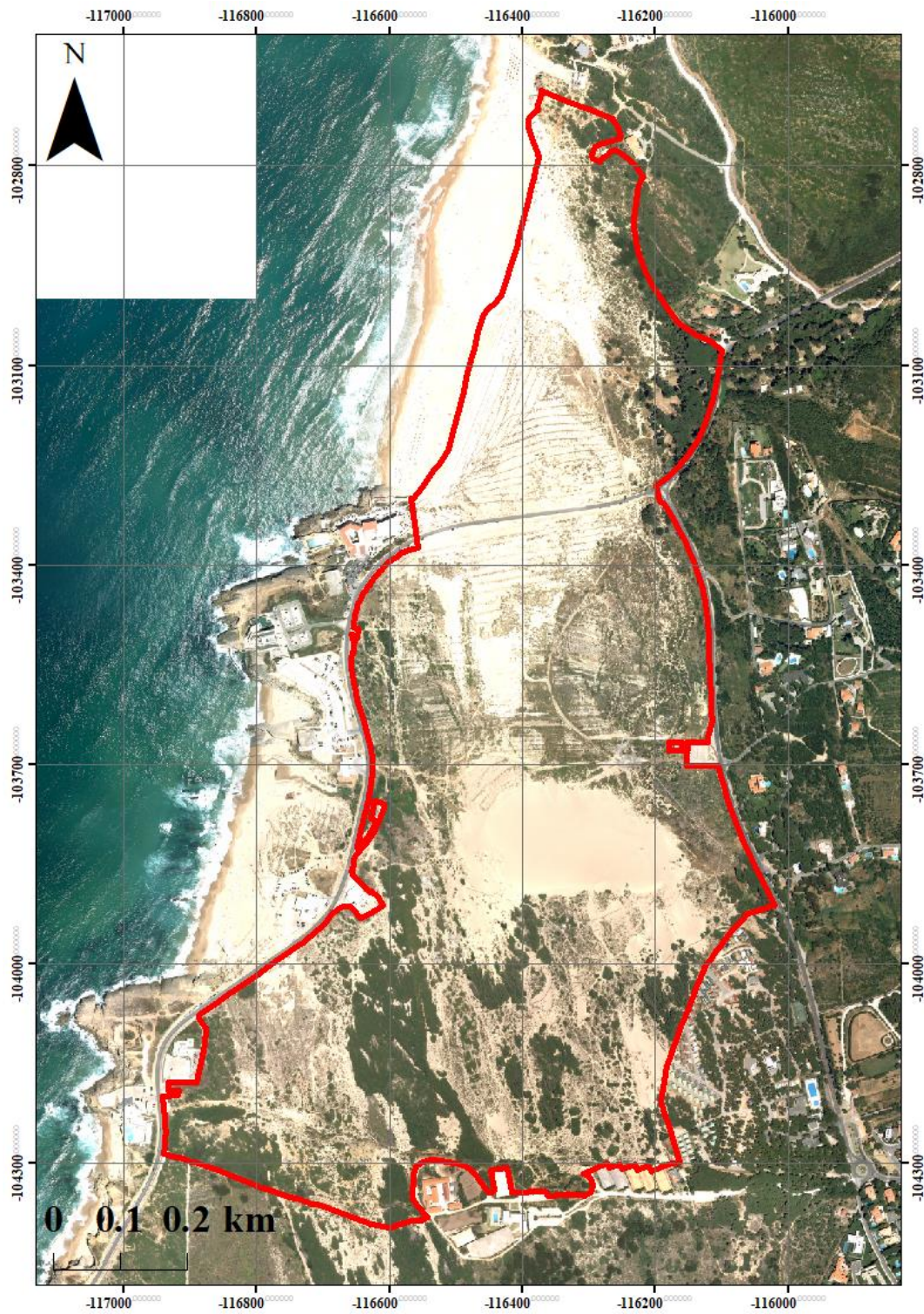


Figura 10.10 - Ortofotomapa 2013. Fonte: CMC.

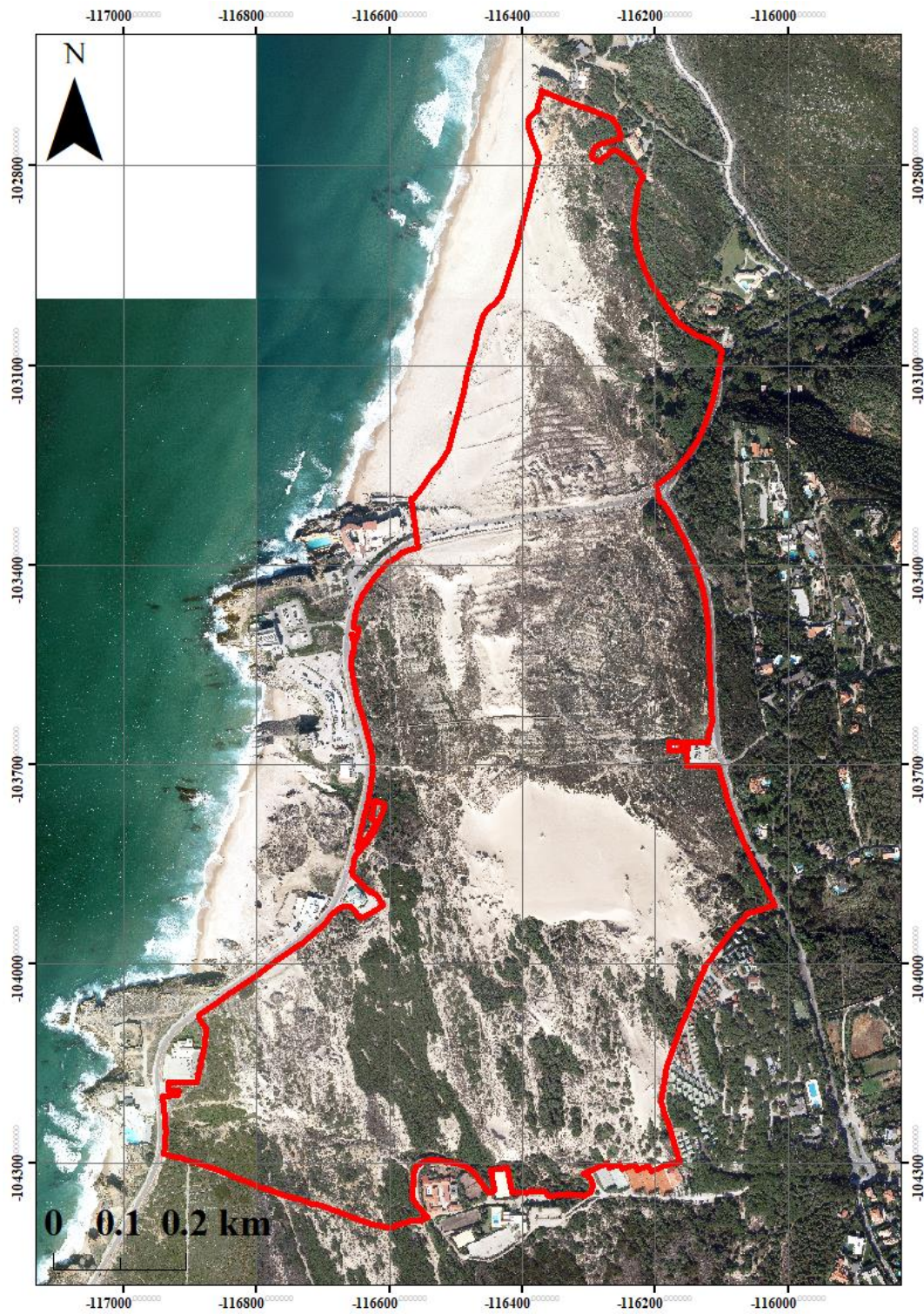


Figura 10.11 - Ortofotomapa 2016. Fonte: CMC.

## Anexo 5 - Comparação entre perfis levantados no terreno e interpolados a partir de MDT

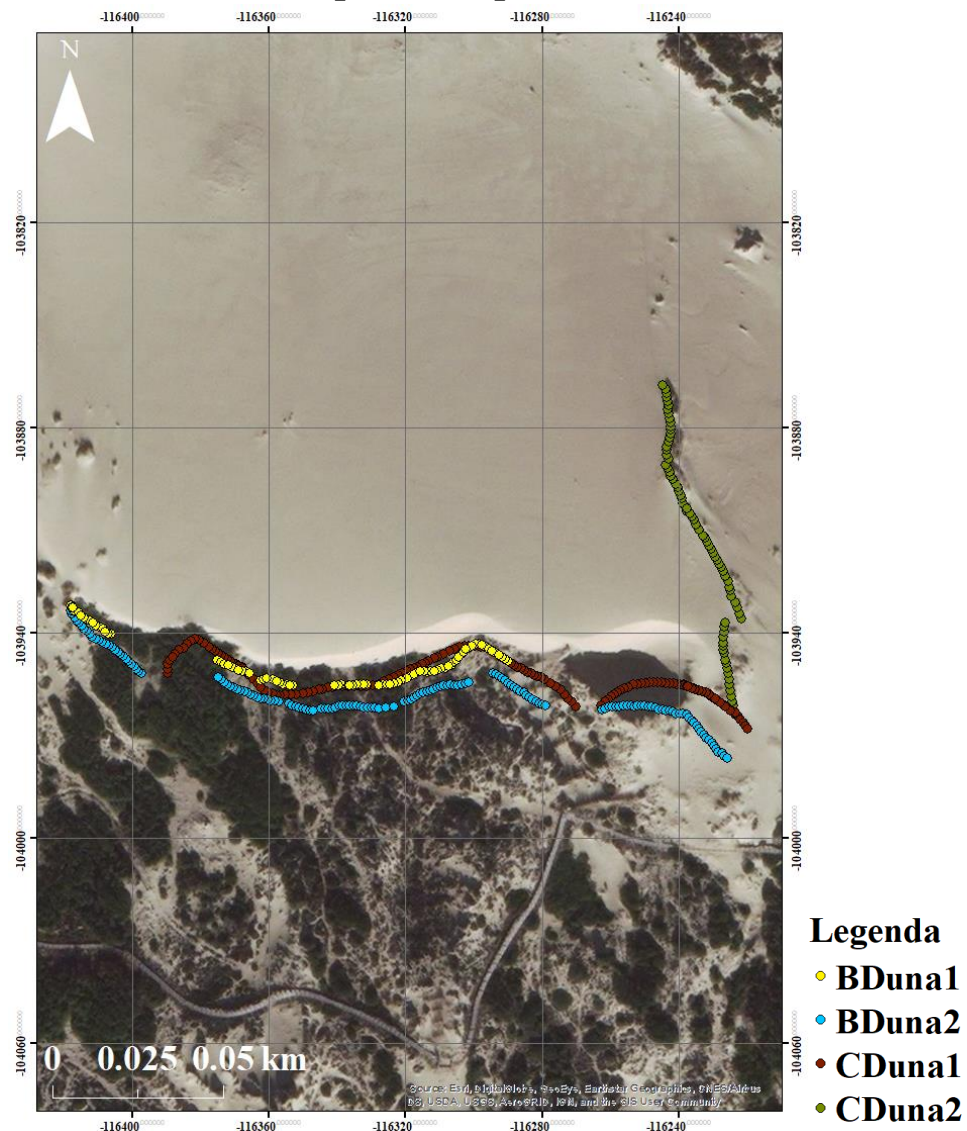


Figura 10.12 – Sopés e cristas da duna da Crimina. Imagem de base disponibilizada pela ESRI.

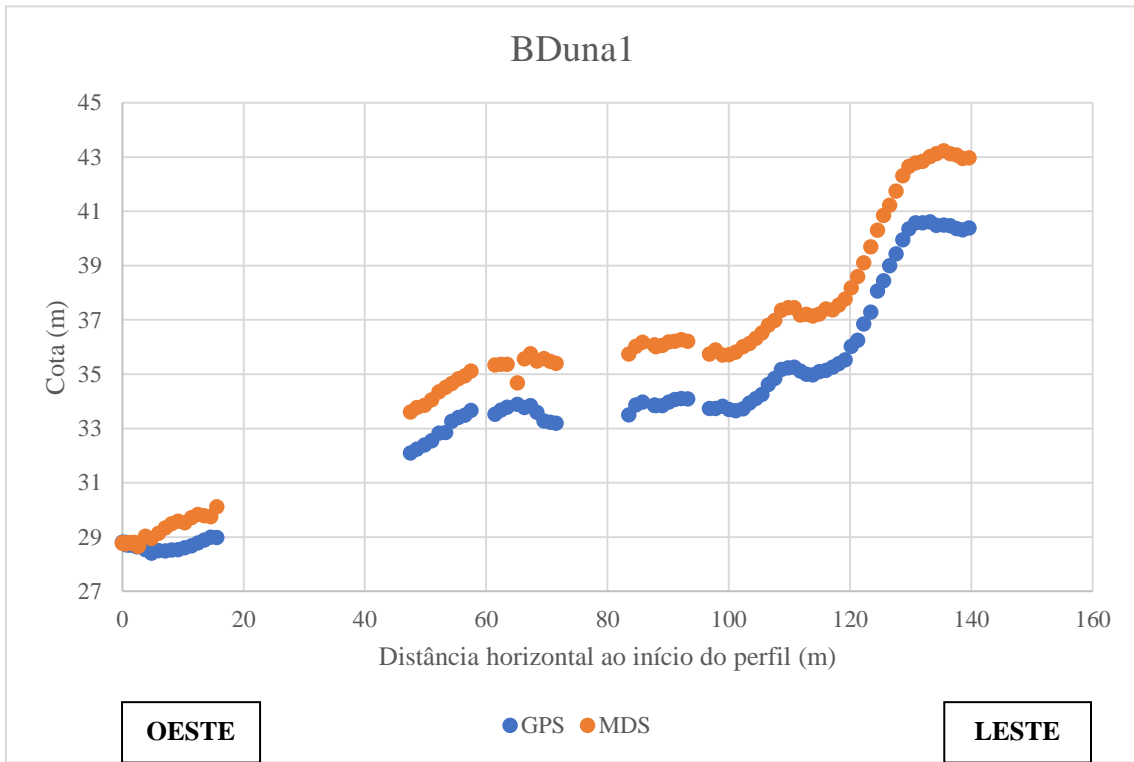


Figura 10.13 - Perfil BDuna1. GPS - dados medidos a 24 de maio de 2018; MDS de 3 de outubro de 2018.

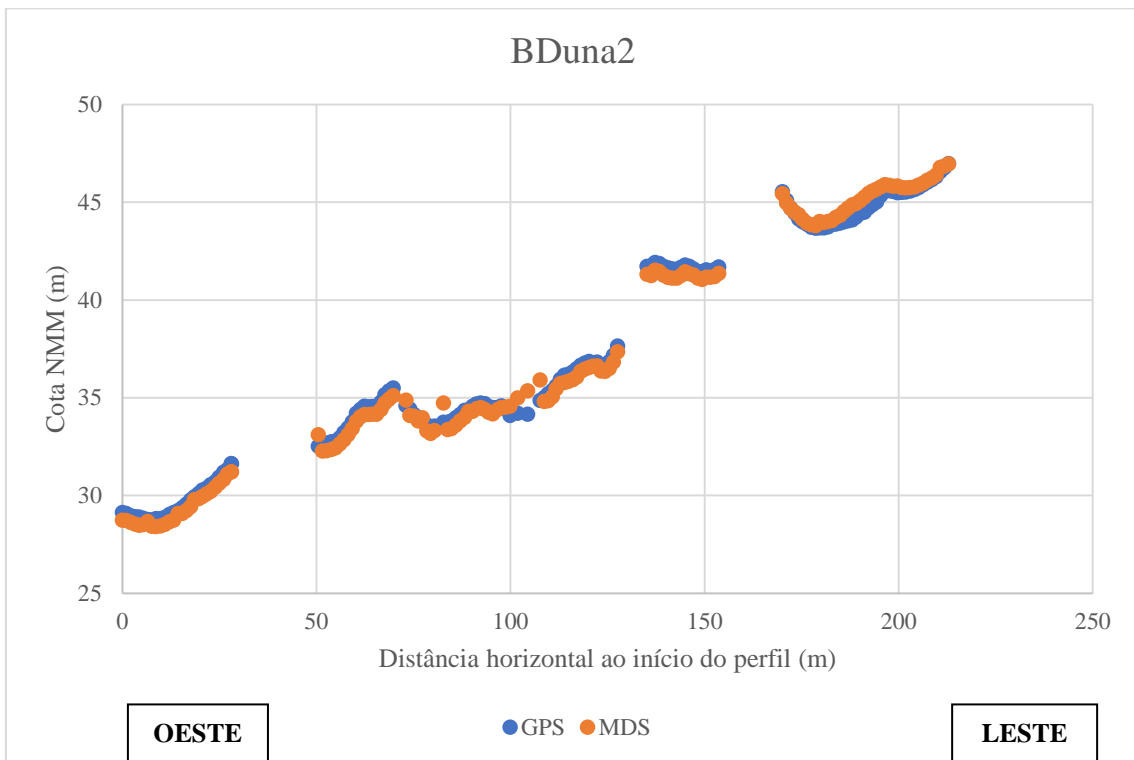


Figura 10.14 - Perfil BDuna2. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 3 de outubro de 2018.

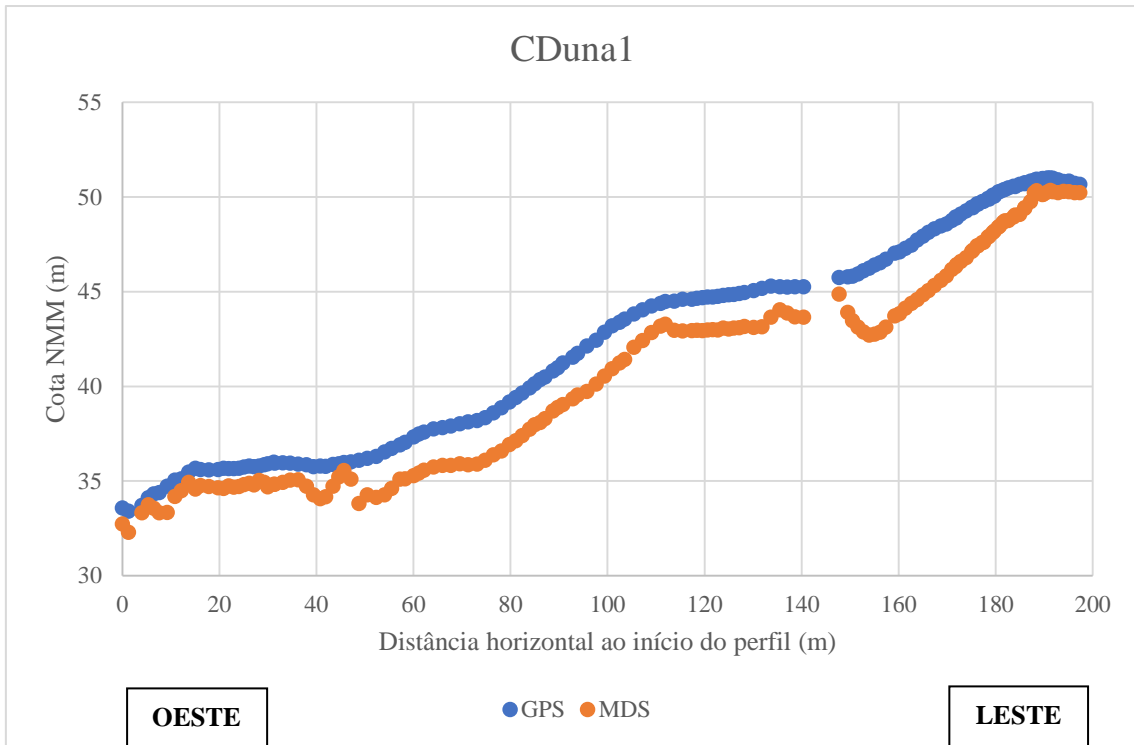


Figura 10.15 - Perfil CDuna1. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 3 de outubro de 2018.

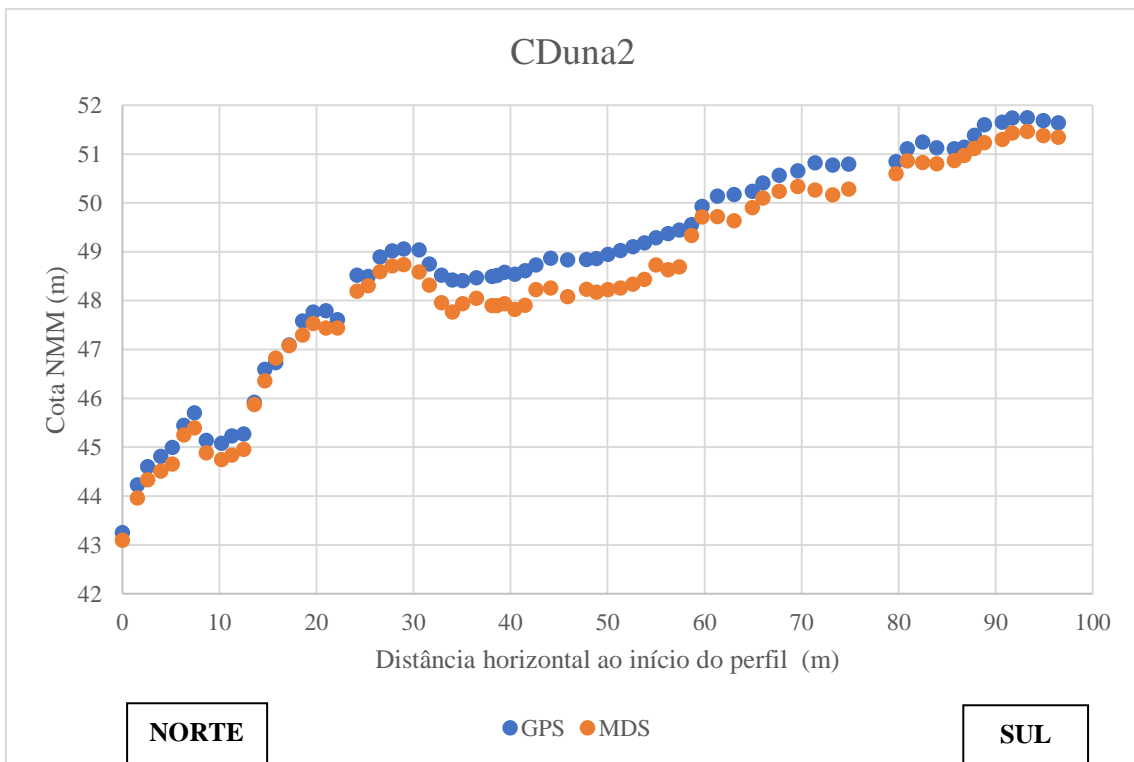


Figura 10.16 - Perfil CDuna2. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 3 de outubro de 2018.

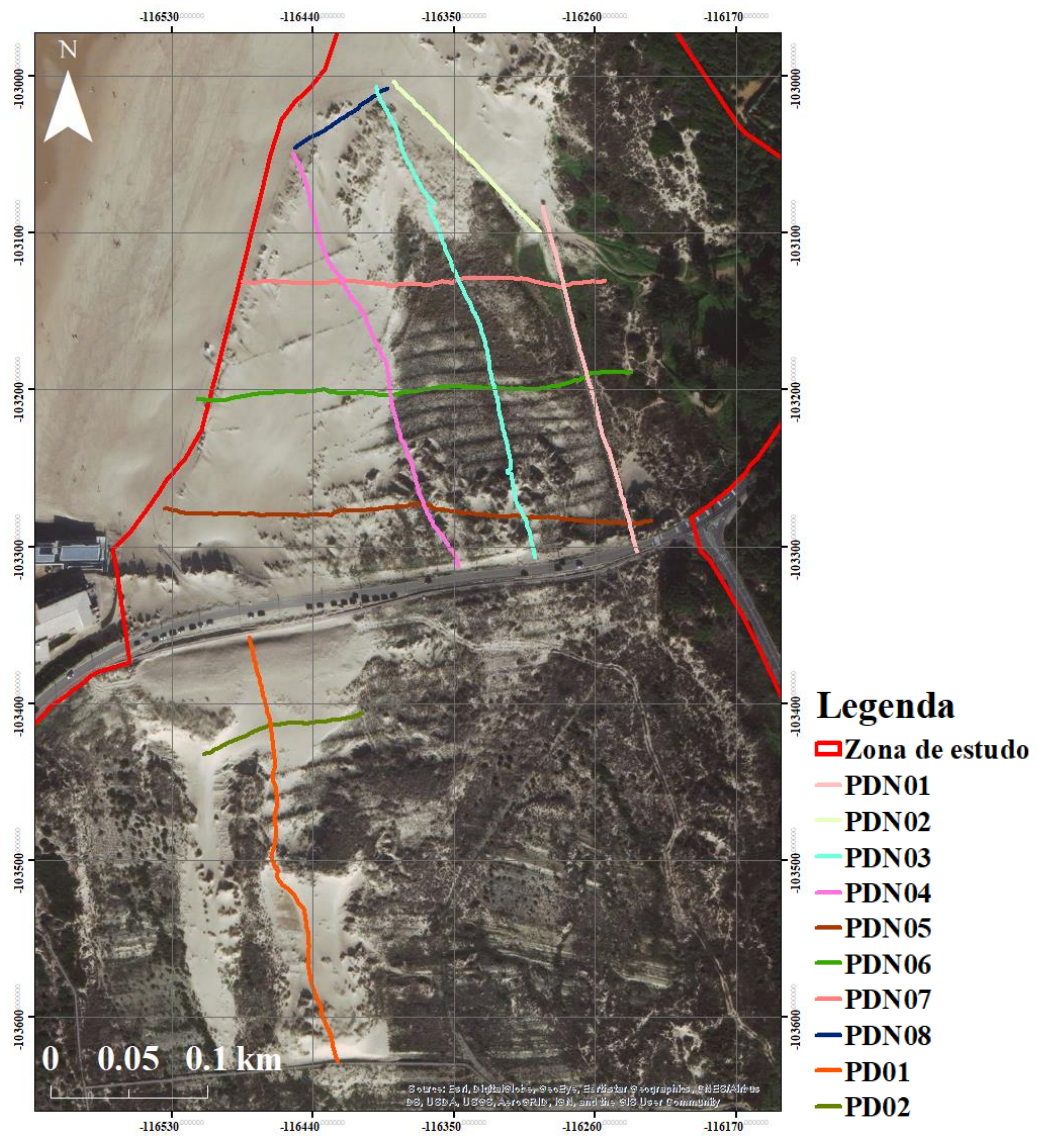


Figura 10.17 - Perfis a norte e a sul da EN 247. Imagem de base disponibilizada pela ESRI.

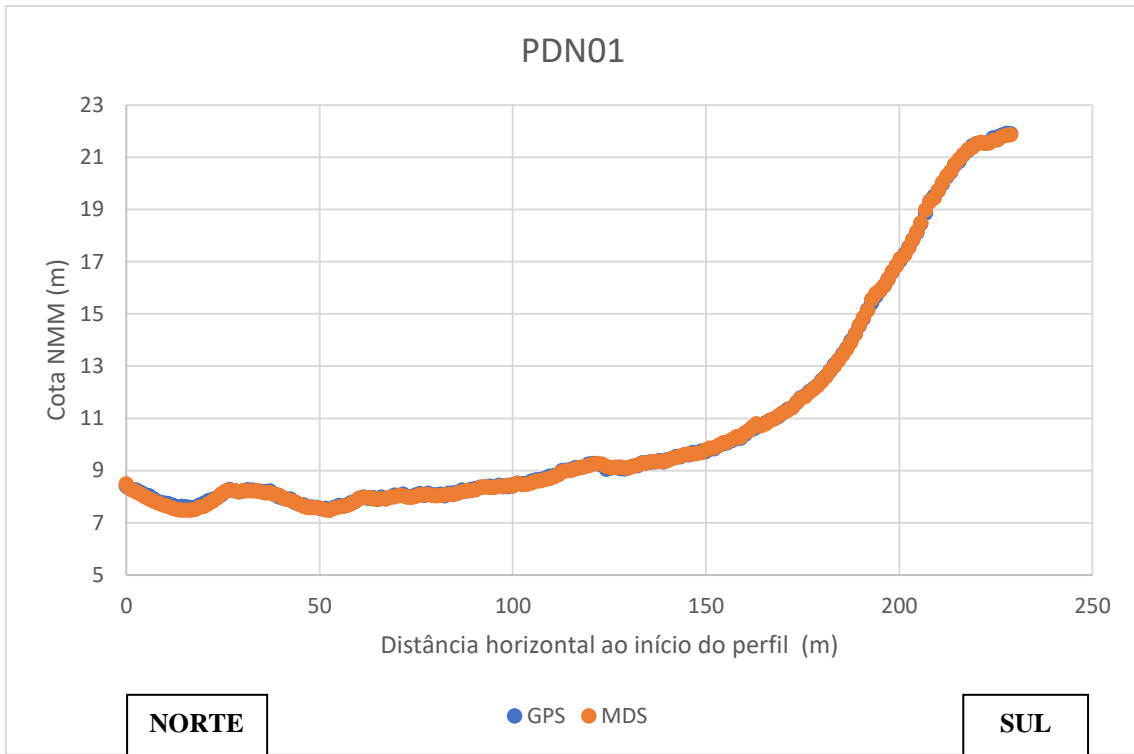


Figura 10.18 - Perfil PDN01. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 12 de setembro de 2018.

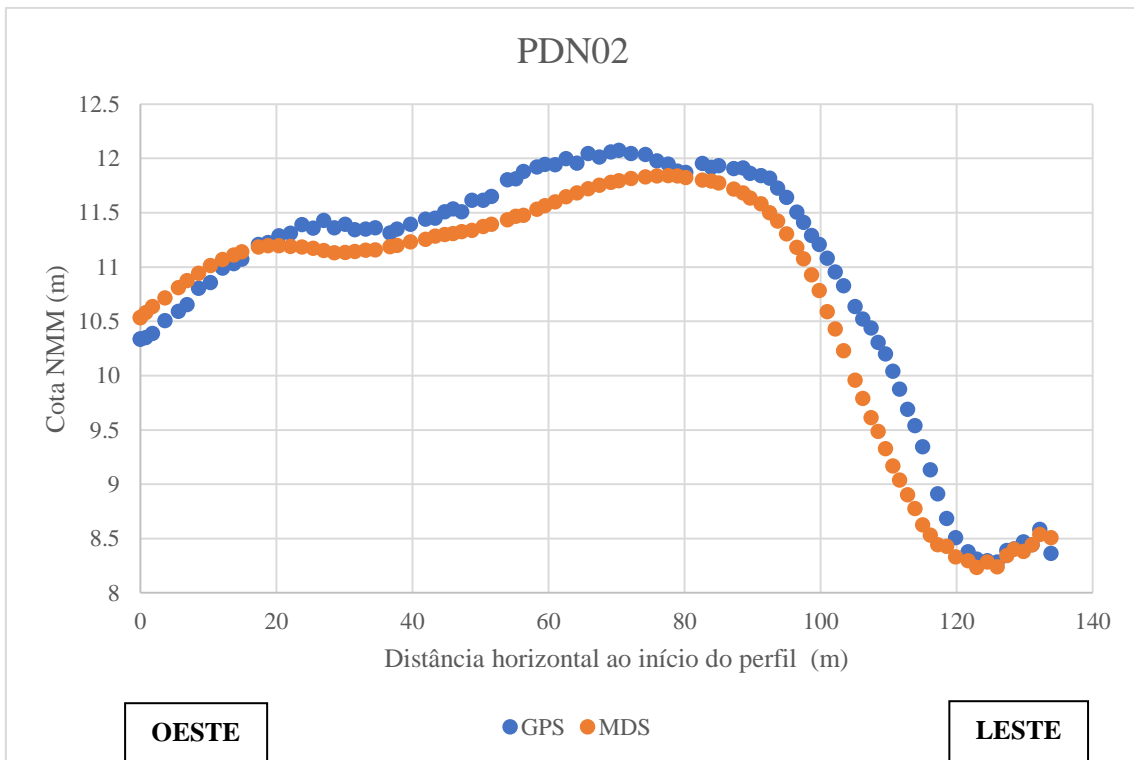


Figura 10.19 - Perfil PDN02. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 12 de setembro de 2018.

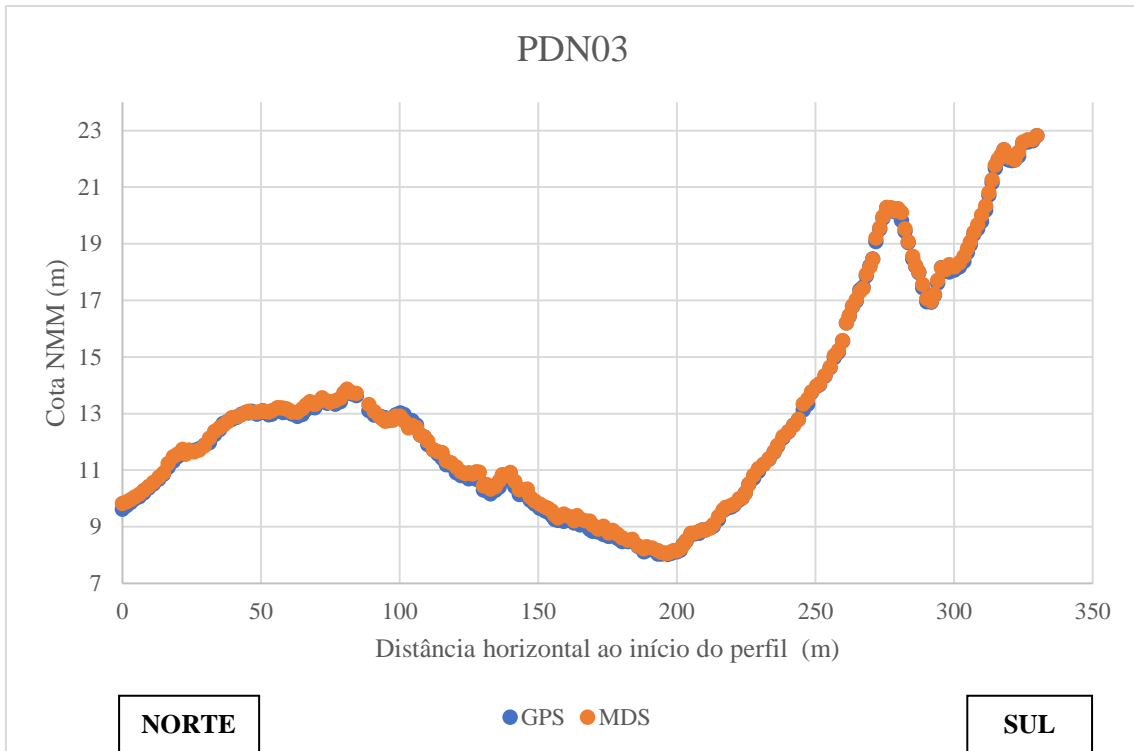


Figura 10.20 - Perfil PDN03. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 12 de setembro de 2018.

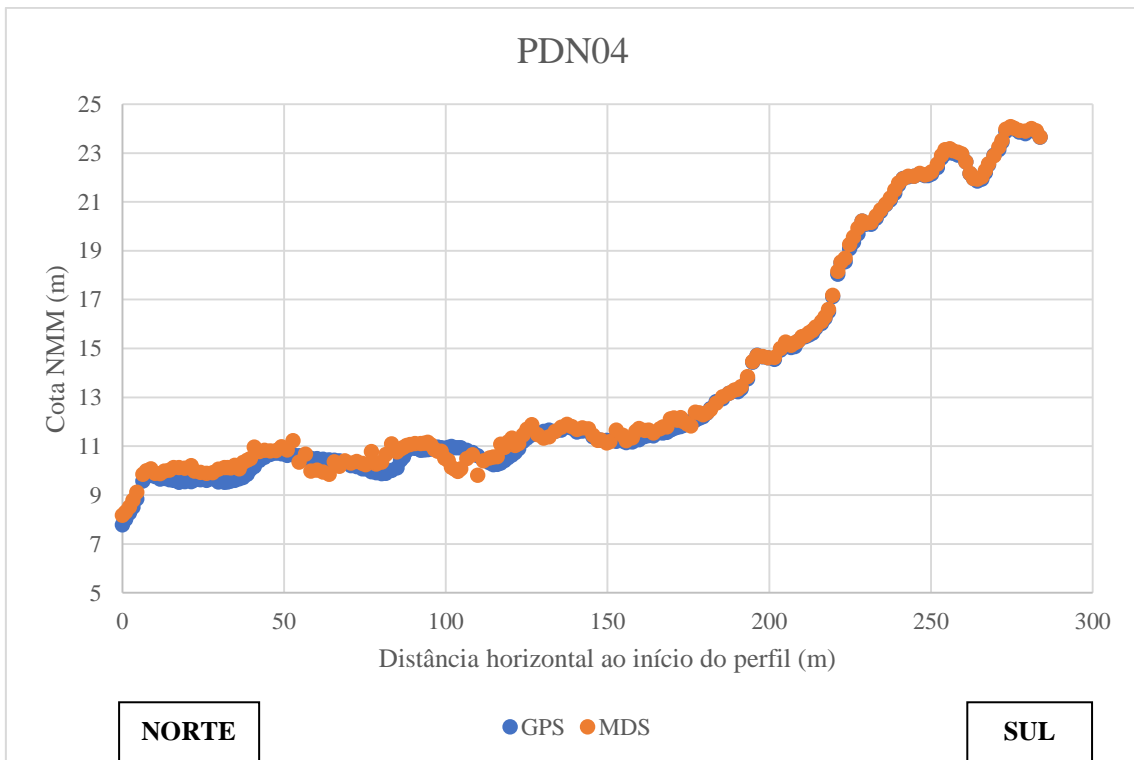


Figura 10.21 - Perfil PDN04. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 12 de setembro de 2018.

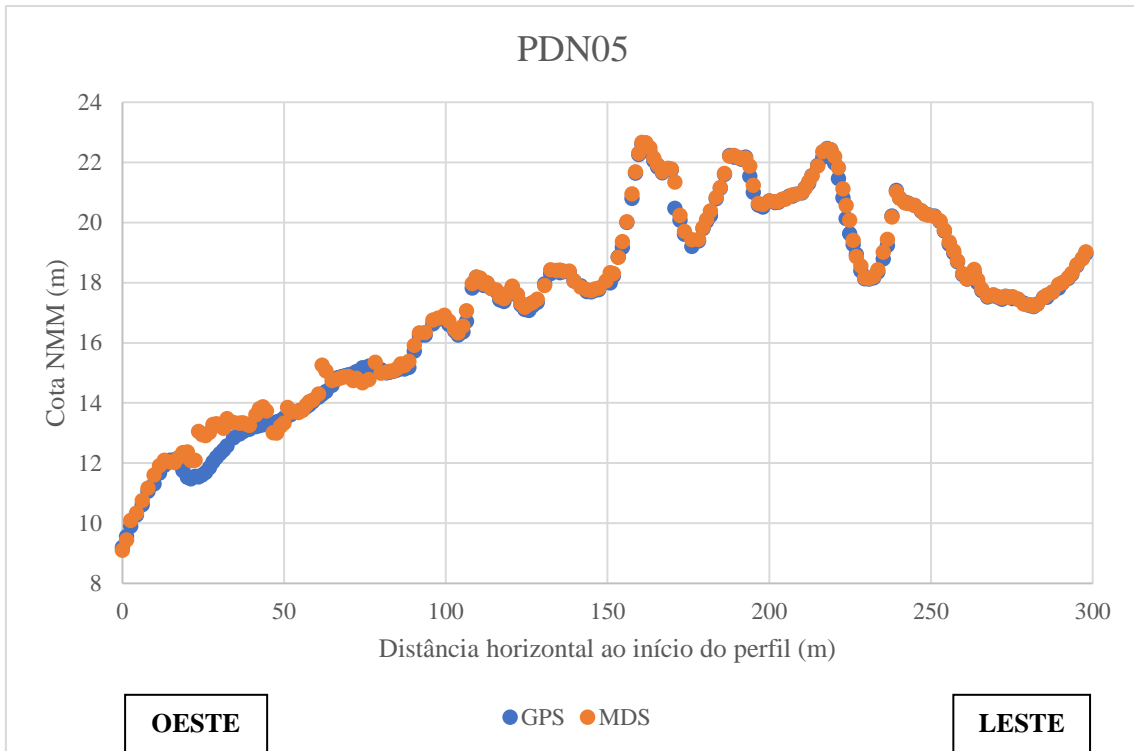


Figura 10.22 - Perfil PDN05. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 12 de setembro de 2018.

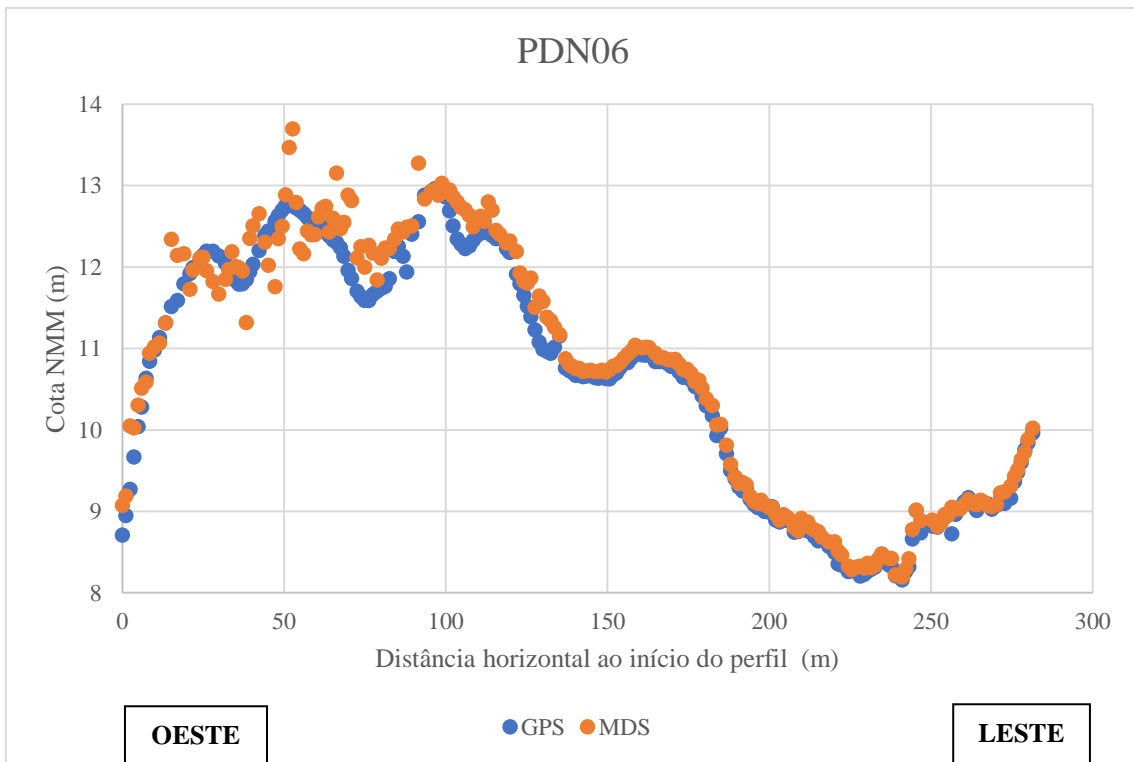


Figura 10.23 - Perfil PDN06. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 12 de setembro de 2018.

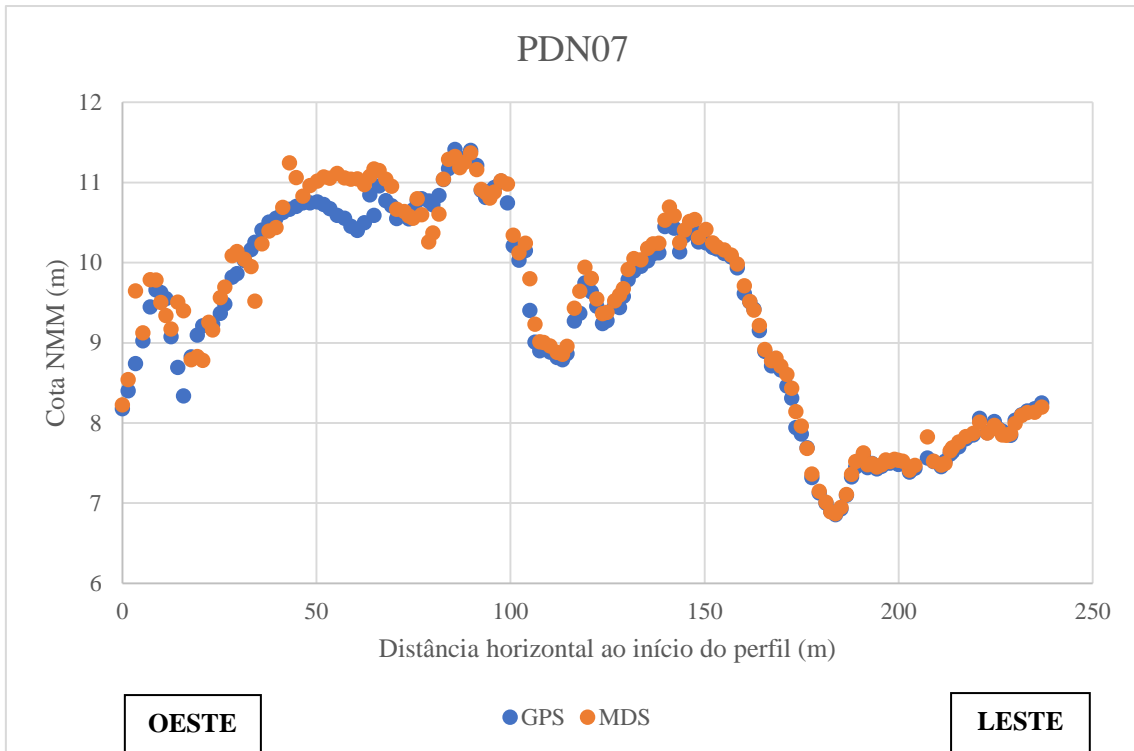


Figura 10.24 - Perfil PDN07. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 12 de setembro de 2018.

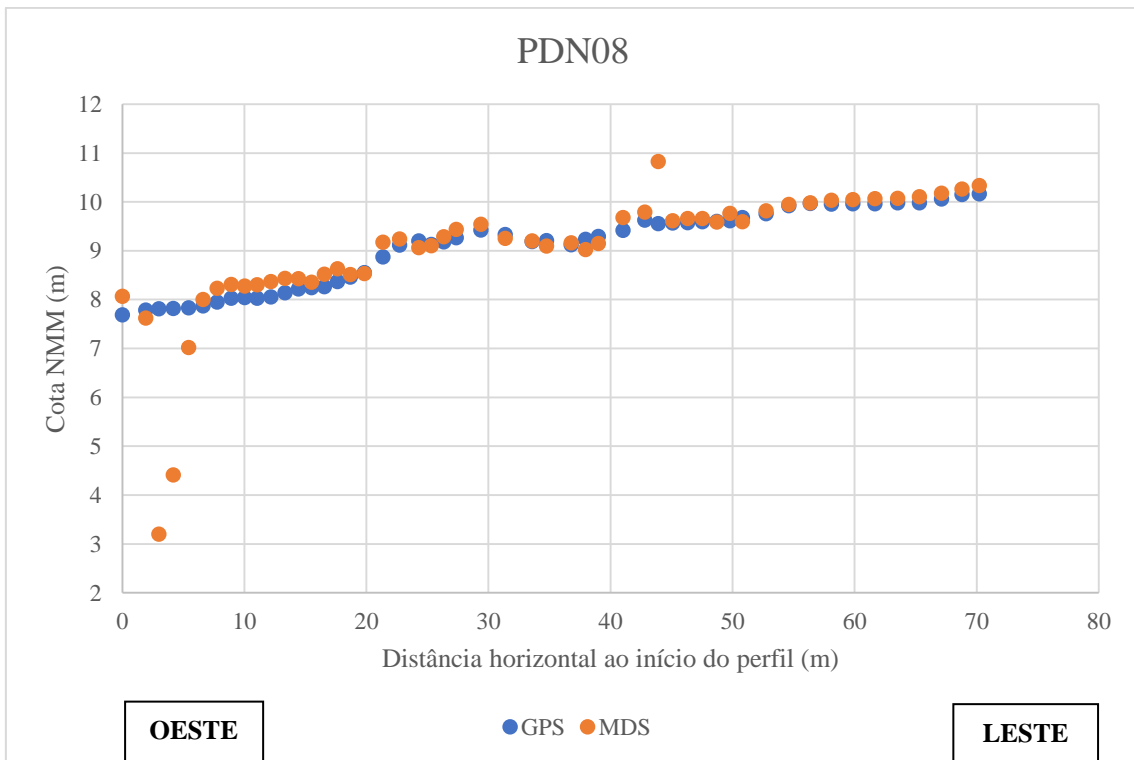


Figura 10.25 - Perfil PDN08. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 12 de setembro de 2018.

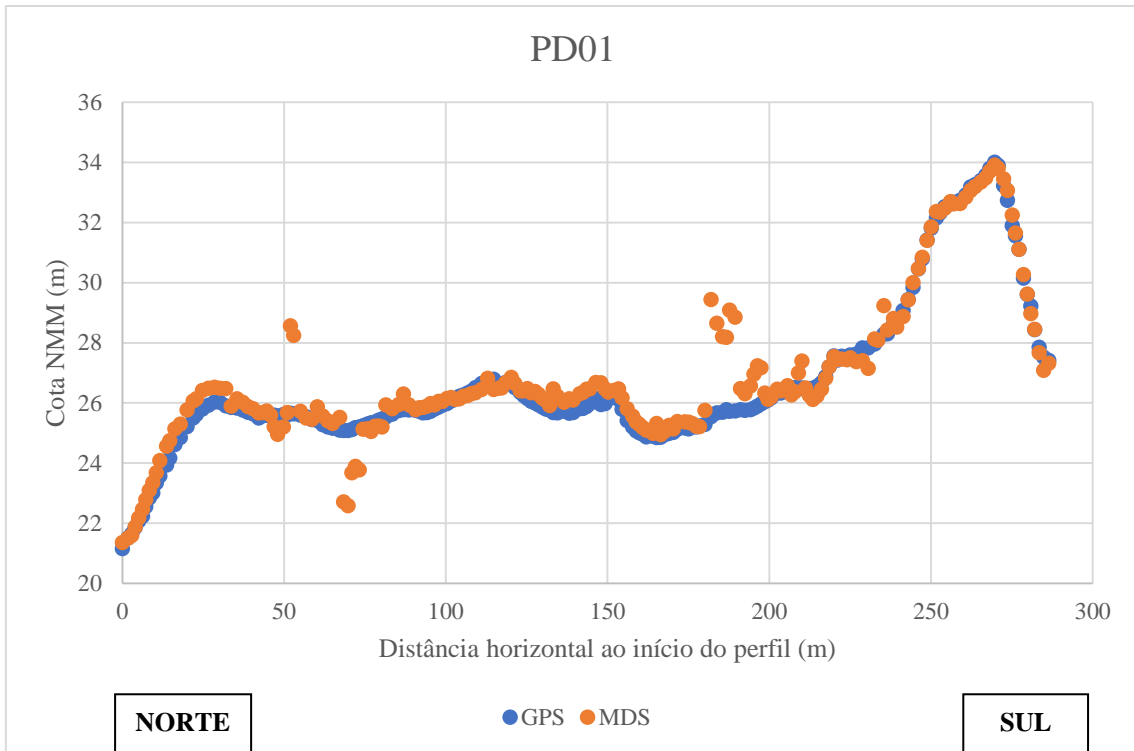


Figura 10.26 - Perfil PD01. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 12 de setembro de 2018.

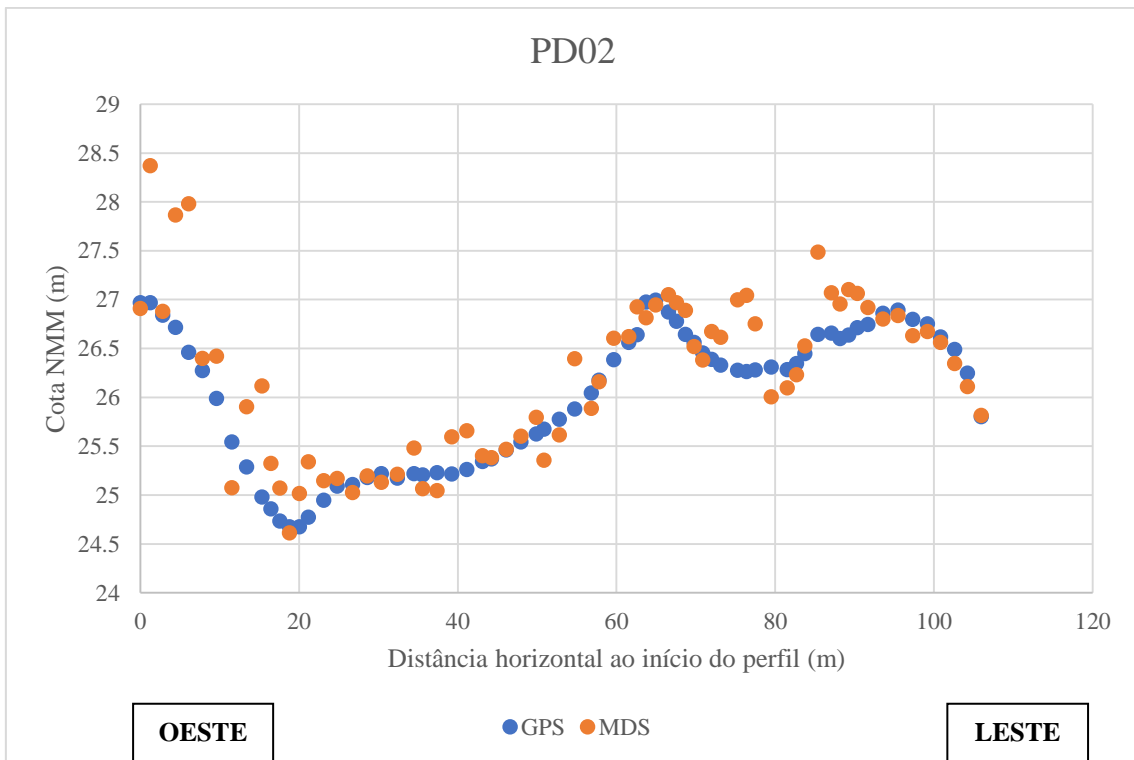


Figura 10.27 - Perfil PD02. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 12 de setembro de 2018.

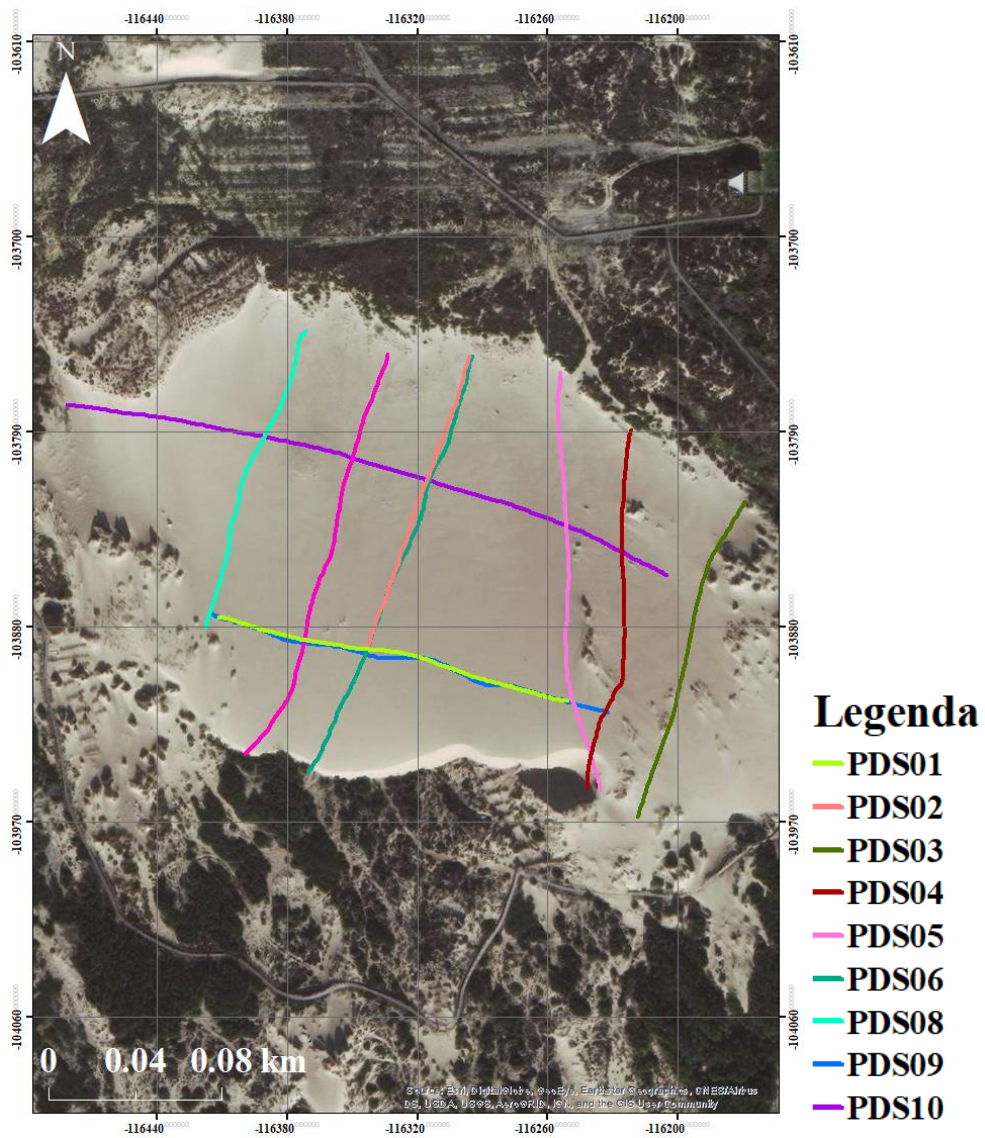


Figura 10.28 - Perfis na duna da Crismina. Imagem de base disponibilizada pela ESRI.

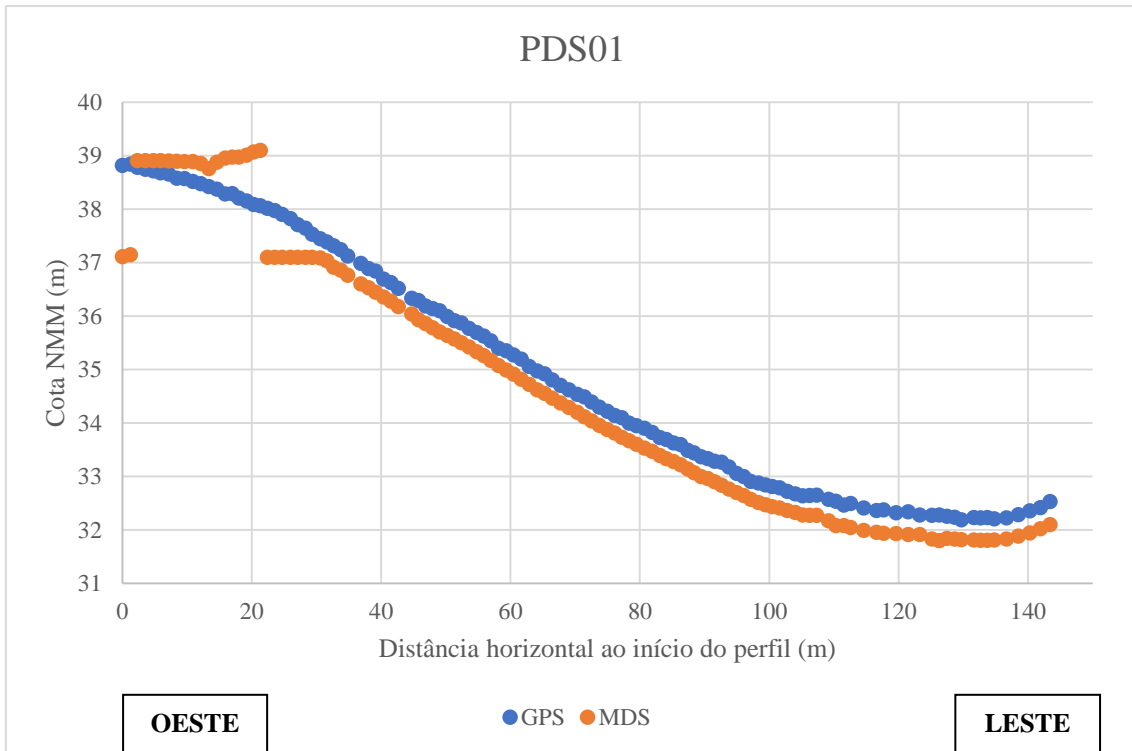


Figura 10.29 - Perfil PDS01. GPS - dados medidos a 3 de outubro de 2018; MDS de 3 de outubro de 2018.

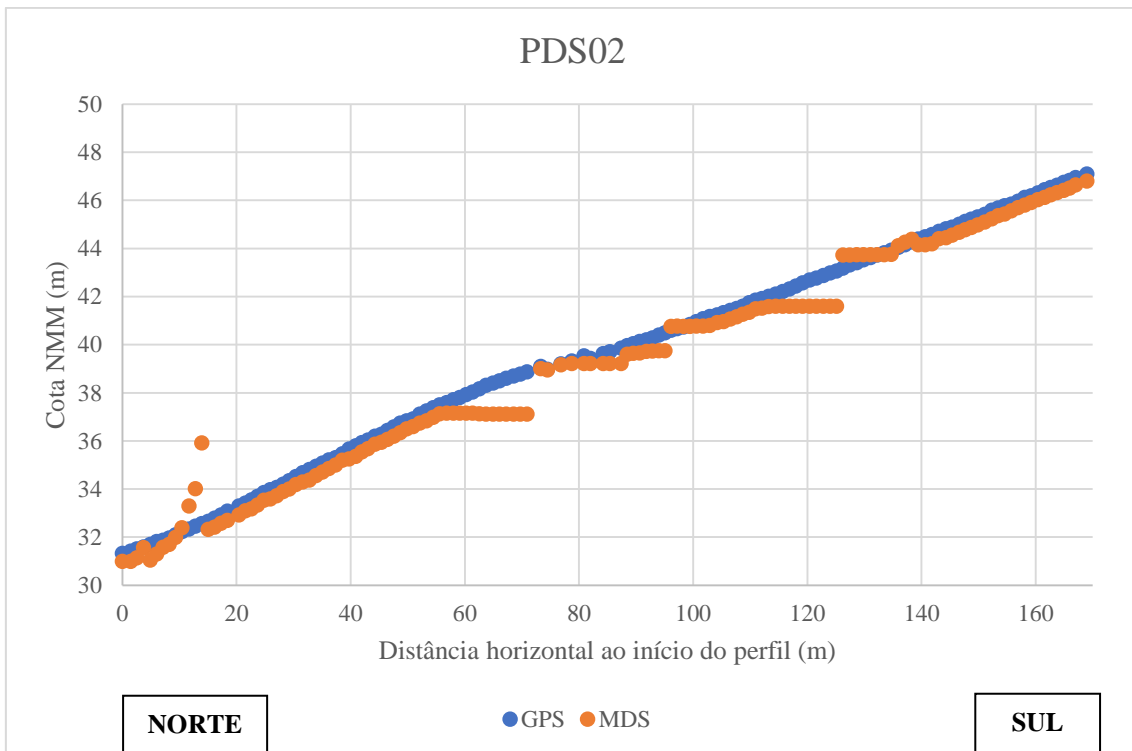


Figura 10.30 - Perfil PDS02. GPS - dados medidos a 3 de outubro de 2018; MDS de 3 de outubro de 2018.

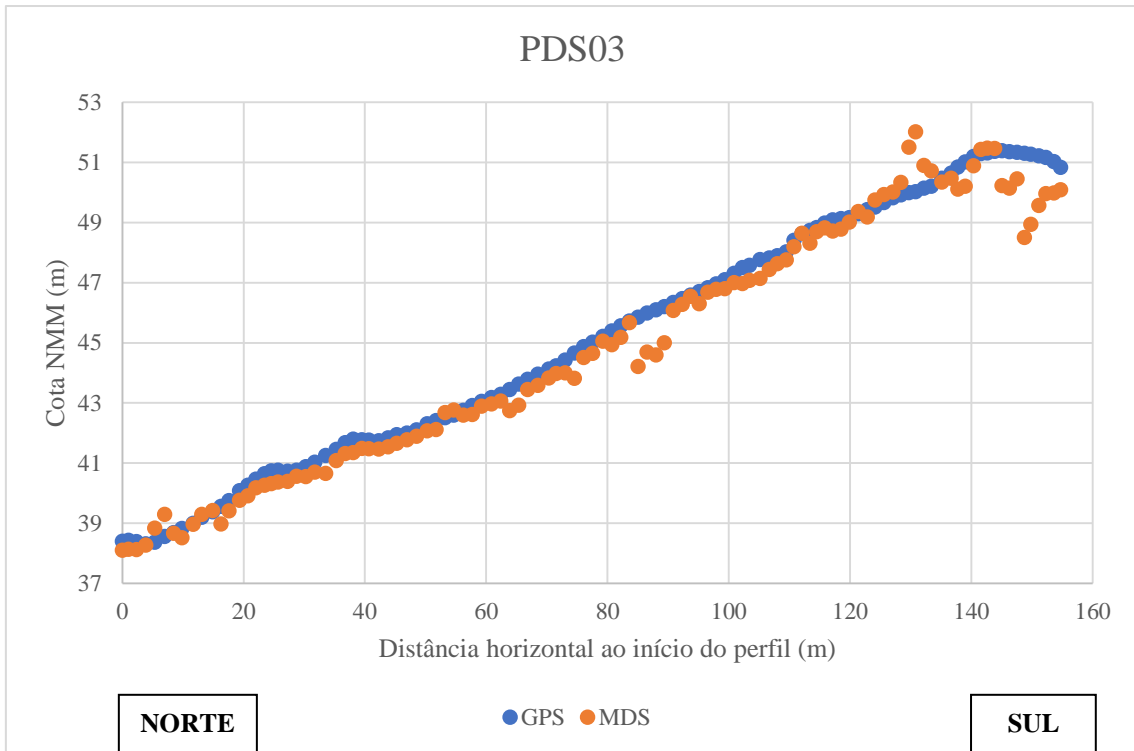


Figura 10.31 - Perfil PDS03. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 3 de outubro de 2018.

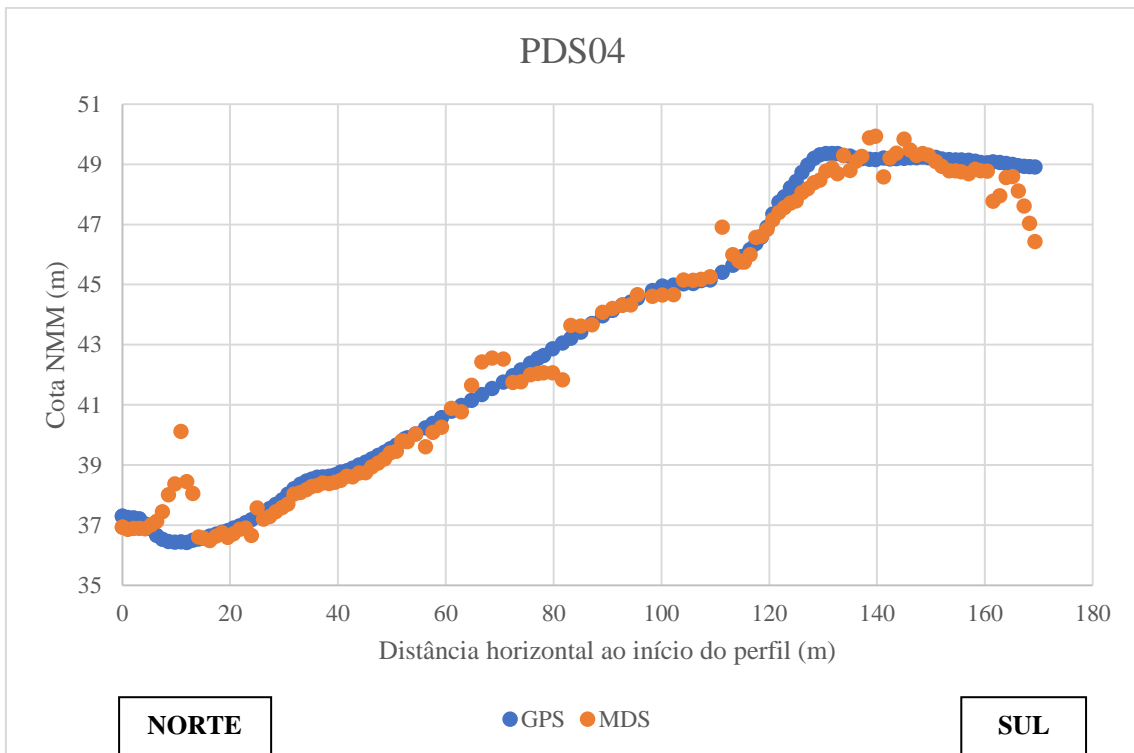


Figura 10.32 - Perfil PDS04. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 3 de outubro de 2018.

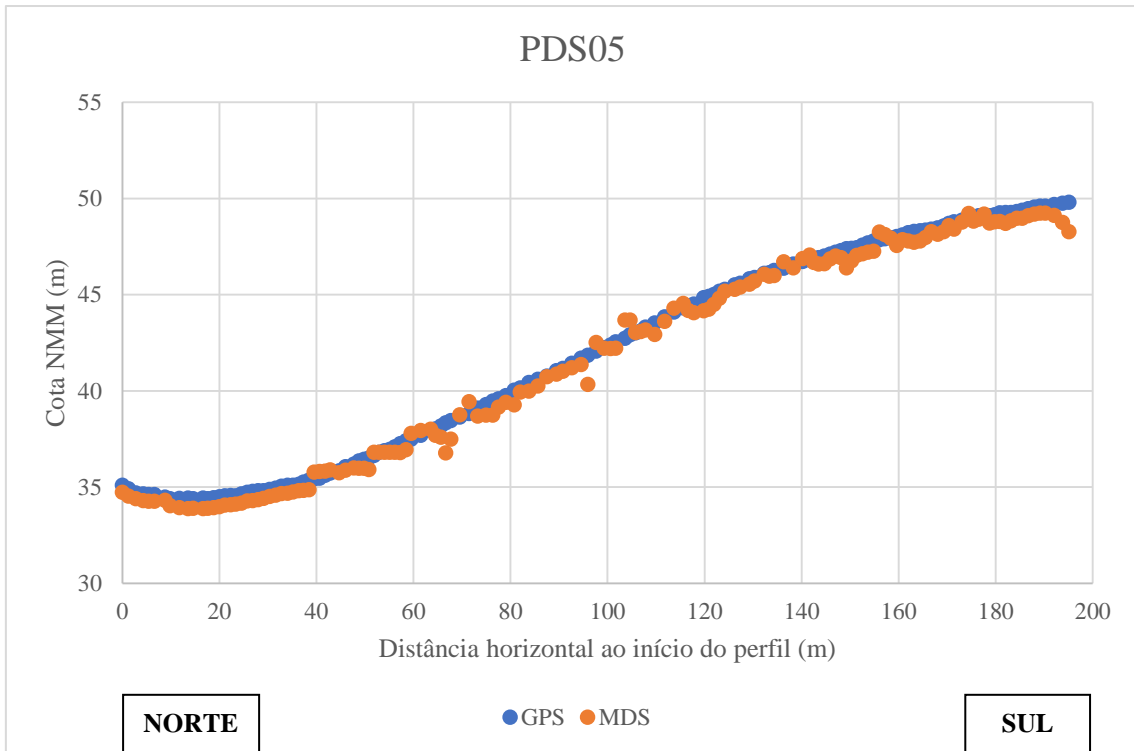


Figura 10.33 - Perfil PDS05. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 3 de outubro de 2018.

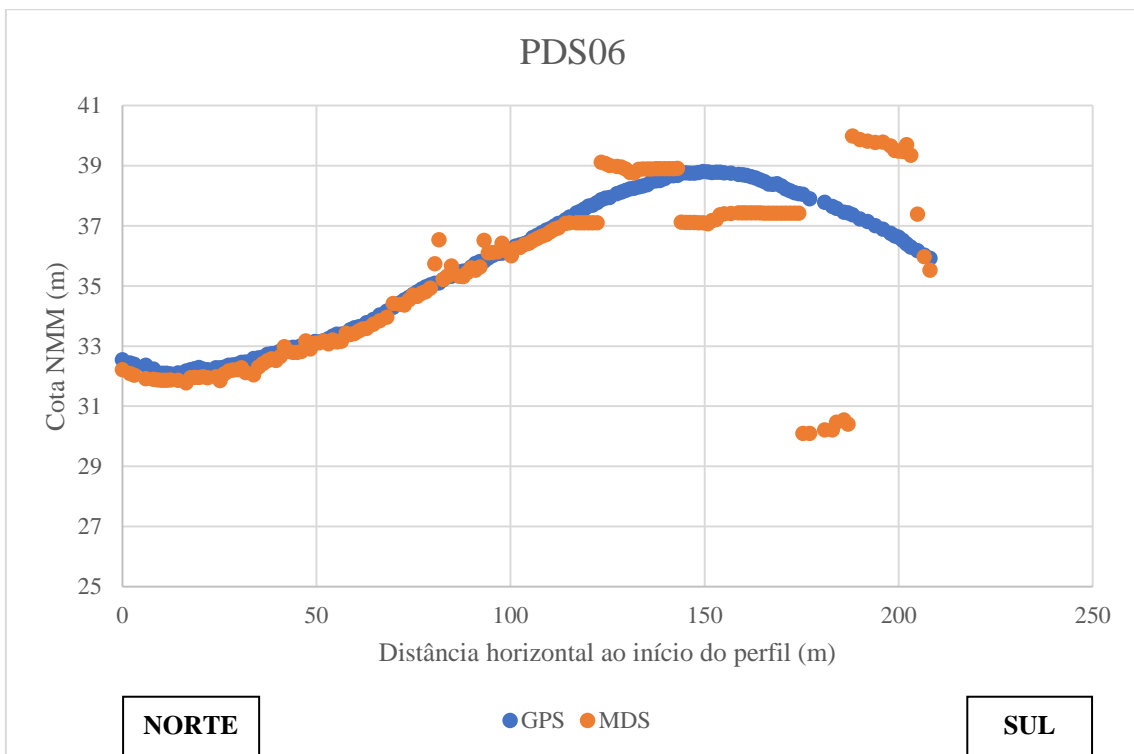


Figura 10.34 - Perfil PDS06. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 3 de outubro de 2018.

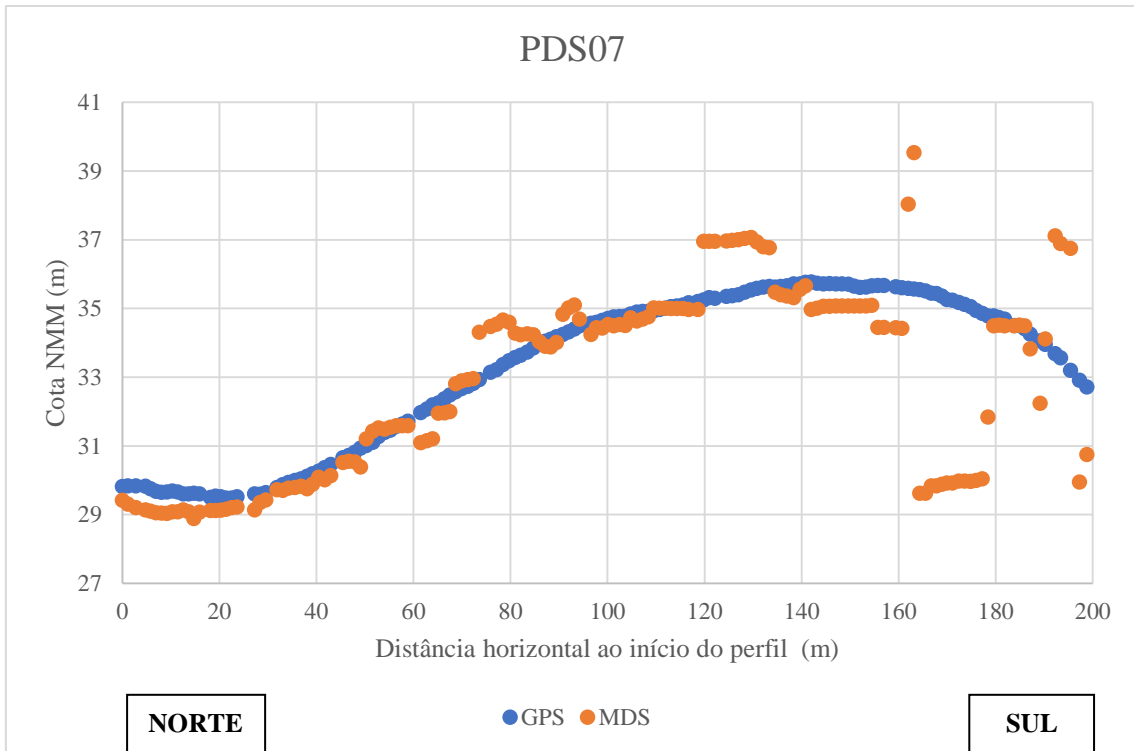


Figura 10.35 - Perfil PDS07. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 3 de outubro de 2018.

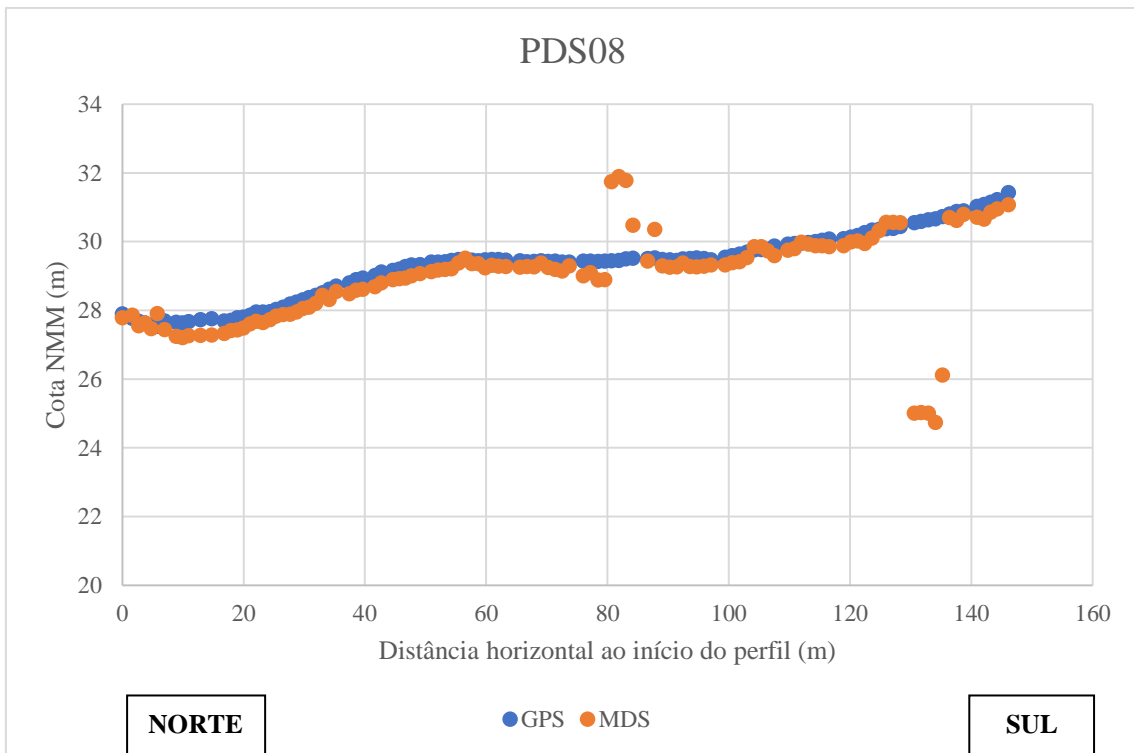


Figura 10.36 - Perfil PDS08. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 3 de outubro de 2018.

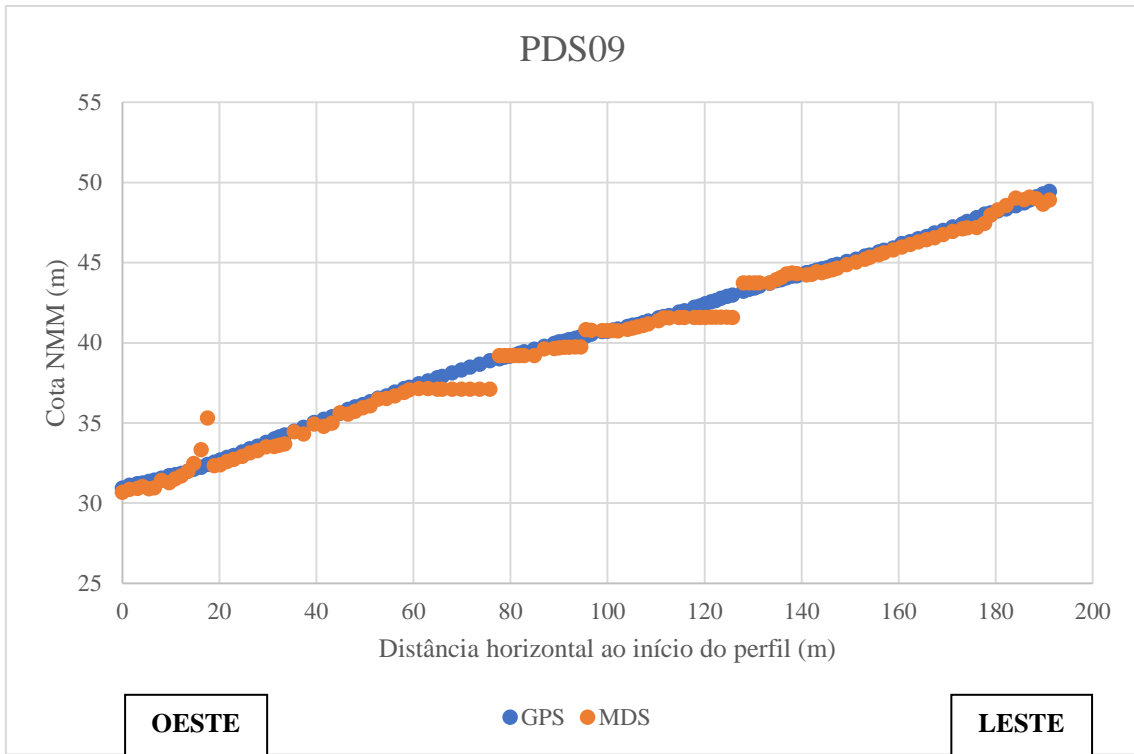


Figura 10.37 - Perfil PDS09. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 3 de outubro de 2018.

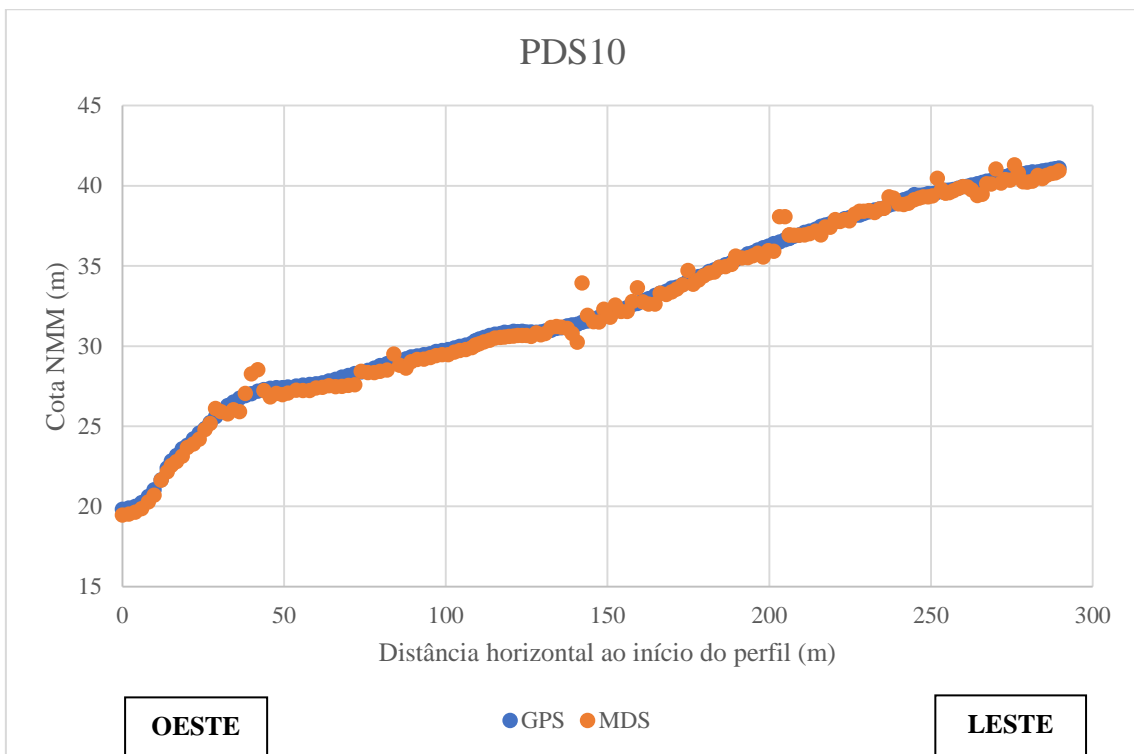


Figura 10.38 - Perfil PDS10. GPS - dados medidos a 28 de janeiro de 2019; MDS de 3 de outubro de 2018.

## **Anexo 6 - Folheto de divulgação**

## Repare que

- Existem passadiços para poder atravessar as dunas;
- Quando passear a cavalo pode usufruir da envolvente sem pisotear as dunas;
- Os veículos motorizados têm acessos próprios, não sobre as dunas;
- A vegetação das dunas especializou-se muito, para conseguir viver nas condições de solo pobre e forte ação do vento, carregado de sal. Olhe, observe e fotografe... sem perturbar;
- Existe sinalética afixada com informação;
- O lixo deve ser depositado nos locais próprios. Aguarde até encontrar um!



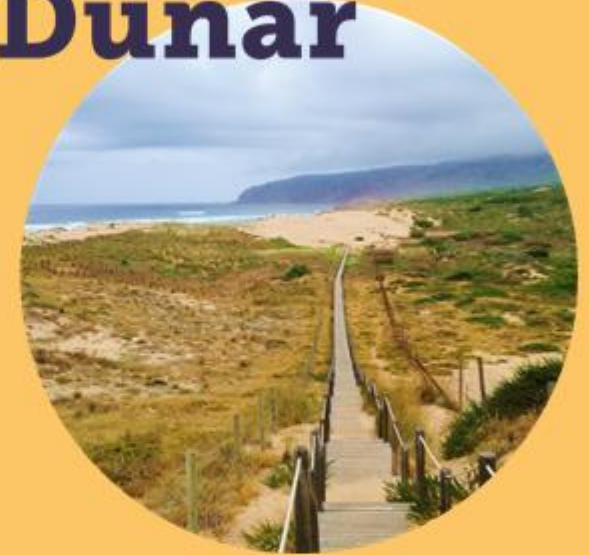
*Todos os fenómenos  
que se observam  
têm um sentido  
e correspondem  
a uma realidade.*

Crozier & Friedberg (1977)

Folheto realizado no âmbito da dissertação  
de mestrado em Geologia do Ambiente,  
Riscos Geológicos e Ordenamento do  
Território (FCUL)

Ana Beatriz Ferreira

# Sistema Dunar



## Crismina Guincho



Lisboa 2019

# Sistema Dunar



## Onde fica?

No Parque natural de Sintra-Cascais, concelho de Cascais, costa oeste de Portugal, a 30 km de Lisboa.

## O que é?

Um sistema dunar é um conjunto de elevações de areia, construídas pelo vento, instaladas entre os ambientes litoral e terrestre.

É muito dinâmico e de delicado equilíbrio.

Os sistemas dunares possuem importante papel como barreira natural ao galgamento pelo mar e à ação do vento para o interior.

As dunas da Crismina-Guincho são um subsistema do complexo Guincho-Oitavos. Ocupam uma grande área, estão ativas e muito instáveis, devido ao constante transporte de areia da praia do Guincho por ação do vento.

## O que se passa?



O sistema dunar está a avançar para o interior, no sentido sul e sudeste, a uma velocidade estimada de 11 metros/ano.

A vegetação dunar desempenha um papel importante na diminuição desta movimentação das areias. Um fraco ou ausente revestimento por vegetação dunar faz com que as areias não se fixem e, dessa forma, o campo de dunas não estabiliza e continua a avançar.

## Qual a consequência?

Existe um conflito entre a ocupação estática da superfície deste território e a mobilidade natural, característica destas dunas.

Assim, existe uma estrada nacional que atravessa o sistema dunar que carece de permanente remoção das areias que sobre ela se instalam.

Existe um conjunto de infraestruturas de lazer e turismo, nomeadamente um parque de campismo e um clube recreativo, em direção aos quais as areias migram, nas zonas sul e sudeste da duna da Crismina.

## O que agrava?



A circulação de veículos sobre as dunas.



O pisoteio das dunas, por pessoas a pé ou a cavalo.



Qualquer ação que conduza à destruição do frágil equilíbrio deste sistema e destrua a vegetação dunar, tão importante na sua estabilização.