



PROGRAMA DE MONITORAMENTO DO PERFIL PRAIAL DA PRAIA CENTRAL DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ (SC, BRASIL) DURANTE A EXECUÇÃO DA OBRA DE RECUPERAÇÃO DA FAIXA DE AREIA

Francisco Caruso Jr.¹, Carolina dos Santos², Dayane Silva², Bernardo de Alencastro², Jessica Finco², Rafael Bonanata³, Jean Paim⁴, Artur Ribeiro⁵
CARUSO Soluções Ambientais

Inovadoras, ¹caruso@carusojrea.com.br, ²contato@carusojrea.com.br,
³rafael.bonanata@ocp.eng.br, ⁴jimmypaim@hotmail.com, ⁵arturm4@gmail.com

Introdução

A Praia Central de Balneário Camboriú, localizada no estado de Santa Catarina - Brasil, pode ser descrita como uma praia de enseada, limitada ao sul pela Ponta das Laranjeiras e a norte pela Ponta da Preguiça, possuindo 5.840m de extensão, orientação NW-SE e largura média de 17m (Pezzuto et al., 2006) antes da realização da obra de recuperação da faixa de areia realizada entre os meses de agosto e outubro de 2021.

Após a realização da obra, espera-se que o perfil praiial se adeque à energia de ondas atuante sobre o sistema litorâneo local e, após alguns meses, atinja a largura de projeto.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo identificar possíveis alterações morfológicas no perfil praiial da porção emersa da praia em decorrência da obra de aterro hidráulico, bem como analisar a evolução da linha de costa da enseada.

Procedimentos e métodos

A metodologia consiste no levantamento de dados primários de perfis praiiais, além da obtenção de dados aerofotogramétricos por um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT). Segundo projeto, a enseada foi dividida em 6 setores (etapas) para melhor acompanhamento da obra (Figura 2), tendo sido realizadas quatro campanhas de campo, a saber: Campanha 1 (pré-obra) em agosto de 2021; Campanhas 2 e 3 (durante a obra) em setembro e outubro de 2021 respectivamente; e Campanha 4 (pós-obra) em novembro de 2021.

Levantamento Aerofotogramétrico

Para o levantamento aerofotogramétrico foi utilizado um VANT (drone) modelo Mavic 2 PRO, da fabricante DJI (Figura 1).

A área de sobrevoo contemplou as seis etapas do projeto e foi planejada utilizando o *software* DroneDeploy, da empresa DroneDeploy Inc (Figura 2). Para os parâmetros técnicos de voo, o VANT foi disposto com a câmera posicionada em ângulo de 90grus (NADIR), obtendo-se um GSD (*Ground Sample Distance*) entre 3,9 e 5,2cm (o GSD é equivalente ao *pixel* das imagens obtidas durante o levantamento). O *overlap* lateral (sobreposição) foi entre 75% (lateral) e 80% (frontal), tendo sido obtidas, em média, até 550 fotos por campanha.



Figura 1. Modelo de drone DJI Mavic 2 PRO. Equipamento utilizado para realização dos levantamentos aerofotogramétricos



Figura 2. Localização da área dos sobrevoos com VANT.

Para o georreferenciamento e correção de posicionamento das imagens obtidas com o VANT, são obtidas em cada campanha as coordenadas e altitudes de cerca de 35 a 40 pontos de controle (pontos de apoio) distribuídos ao longo da faixa de areia e da Av. Atlântica na Praia Central de Balneário Camboriú. Para isso, são utilizados pontos de controle artificiais, que para este trabalho foram materializados em campo através de cruzeiros utilizando cal e placas de plástico (polipropileno) indicando o centro do alvo (Figura 3), e pontos de controle naturais, que representam estruturas existentes no terreno que podem ser vistas através das fotografias aéreas (Figura 3).

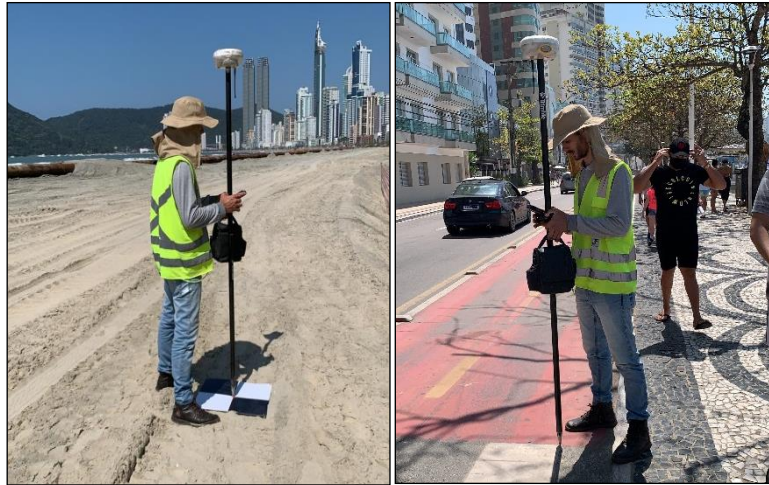


Figura 3. Pontos de Controle artificiais e naturais distribuídos ao longo da orla da Praia Central de Balneário Camboriú

O processamento das fotografias aéreas obtidas a partir do levantamento executado com o drone foi realizado no *software Agisoft Metashape Photoscan*. Na primeira etapa do processamento é realizado o alinhamento das fotografias aéreas em um processo denominado foto-triangulação, sendo esta uma técnica fotogramétrica que determina as coordenadas do terreno em relação a um referencial do próprio terreno.

Como resultados parcial e final deste processo, é obtida uma nuvem de pontos fotogramétricos (denominados “*tie points*”), a qual tem a função de materializar o sistema de coordenadas do terreno. Posteriormente, é calculada uma nuvem de pontos densificadas (“*dense points*”), utilizadas pelo *software* para a elaboração de modelos 3D, pontos de ligação entre as ortofotos no processo de elaboração dos mosaicos e geração do mosaico de ortofotos.

Para gerar o mosaico de ortofotos, inicialmente é realizada a ortorretificação das imagens, onde as feições das imagens são projetadas ortogonalmente, com escala constante, desconsiderando os deslocamentos de relevo e de inclinação da câmera. Para este procedimento, são utilizados para correção os parâmetros da inclinação do momento da aquisição da fotografia (“*pitch, roll e yaw*”), armazenados pelo VANT durante o campo.

Com as imagens devidamente corrigidas, o *software* realiza a mosaicagem das ortofotos e cria um único produto representado por um mosaico de ortofotos contemplando toda a orla da Praia Central de Balneário Camboriú.

Levantamento de Perfil de Praia

Em cada campanha de campo, 22 perfis praias foram executados, todos a partir de levantamento topográfico por meio de coordenadas tridimensionais através de equipamentos especializados no sistema de navegação GNSS (*Global Navigation Satellite System*) com a tecnologia RTK (*Real Time Kinematic*) para obtenção de pontos com coordenadas planas cotadas.

A numeração e localização dos pontos de origem dos perfis transversais de praia coletados na Praia Central de Balneário Camboriú é apresentada na Figura 4.



Figura 4. Numeração e localização dos 22 pontos de origem dos perfis transversais de praia coletados na Praia Central de Balneário Camboriú.

O método adotado para o levantamento topográfico planialtimétrico consiste em um receptor base GNSS posicionado de forma estática em uma estação de referência (base), com coordenadas conhecidas, que se conecta por uma frequência de rádio (externo ou interno) com uma estação móvel (*rover*), corrigindo em tempo real a sua posição (Figura 5). Desta forma, o operador do *rover* se desloca ao longo do terreno (perfis praias) obtendo informações de localização (coordenadas x e y) e altitude (coordenada z) de pontos ao longo destes perfis.



Figura 5. Levantamento topográfico planialtimétrico dos perfis praias na orla da Praia Central de Balneário Camboriú, através de receptores GNSS com tecnologia RTK.

Neste trabalho, para correção das coordenadas e altitudes do levantamento dos 22 perfis de praia, foi utilizada uma estação base sob coordenadas 734.815,421X e 7.014.394,419Y (Projeção UTM, Datum SIRGAS 2000, Zona 22J), de forma a auxiliar todos os trabalhos e levantamentos de engenharia requeridos para o desenvolvimento da obra de alimentação artificial da enseada de Balneário Camboriú.

Resultados e discussões

Na Tabela 1 é apresentada uma avaliação da área da faixa de areia obtida a partir da análise dos mosaicos realizados em cada campanha, levando em consideração a porção emersa da faixa de areia compreendida entre a linha de água (do momento em que foi obtida a fotografia aérea) e o início da calçada (passeio), correspondente ao calçadão da Avenida Atlântica.

Tabela 1. Área total de faixa de areia entre a linha de água e o calçadão da Avenida Atlântica, a partir da avaliação dos mosaicos de fotografias aéreas obtidos entre agosto (pré-obra), setembro e outubro (obras em andamento), e novembro de 2021 (primeira campanha pós-obra) para a orla da Praia Central de Balneário Camboriú/SC.

Local	Pré-obra	1ª Campanha (obra)	2ª Campanha (obra)	3ª Campanha (pós-obra)	Diferença
	Ago/21 (Área - m ²)	Set/21 - (Área - m ²)	Out/21 - (Área - m ²)	Nov/21 - (Área - m ²)	
ETAPA 1	2.535,51	60.604,94	66.591,61	70.535,94	68.000,43
ETAPA 2	10.118,30	100.598,67	94.926,94	101.224,09	91.105,79
ETAPA 3	16.329,83	73.018,49	83.306,23	101.312,78	84.982,95
ETAPA 4	15.968,71	19.534,19	75.779,24	102.914,09	86.945,38
ETAPA 5	21.759,02	18.645,07	65.631,80	104.671,33	82.912,31
ETAPA 6	30.852,02	24.317,38	39.929,22	115.068,65	84.216,63
Total	97.563,39	296.718,74	426.165,04	595.726,88	498.163,49

Ao avaliar o mosaico de fotografias aéreas elaborado com as imagens obtidas no sobrevoo realizado na campanha de agosto 2021 (pré-obra), foi observada uma faixa de areia com área total de 97.563,39m² entre os molhes da Barra Norte e da Barra Sul da orla de Balneário



Camboriú. Na análise do mosaico de fotografias aéreas elaborado a partir do levantamento aéreo realizado em setembro de 2021 (com as etapas 1 a 3 da obra em andamento), foi verificada uma área de faixa de areia de 296.718,74m². No sobrevoo realizado em outubro de 2021 (com as etapas 1 a 5 da obra em andamento), foi verificada uma área de faixa de areia de 426.165,04m². Para a última campanha, de novembro de 2021, e que representou o primeiro levantamento do período pós-obras, foi verificada uma área de faixa de areia de 595.726,88m². No total, considerando os quatro levantamentos realizados entre agosto e novembro de 2021, foi observado um acréscimo de 498.163,49m² de faixa de areia na Praia Central de Balneário Camboriú (Figura 6).



Figura 6. Comparação entre as áreas de faixa de areia entre agosto e novembro de 2021.

As variações da linha de costa foram calculadas a partir dos dados de perfil de praia obtidos em levantamentos mensais subsequentes, utilizando como referência o Nível Médio do Mar, situado na cota +0,175 m (IBGE) (valor obtido do projeto executivo da empresa Alleanza Projetos e Consultoria Ltda.).

Adicionalmente, as variações na densidade volumétrica foram calculadas a partir dos dados de perfil de praia obtidos em levantamentos mensais subsequentes e em comparação com os levantamentos pré-construção, utilizando, neste cálculo, a área total do envelope contido entre o par de perfis, desde a origem coincidente até o nível médio do mar (perfil subaéreo, tal como definido no Termo de Referência deste PBA e apresentado na Figura 7).

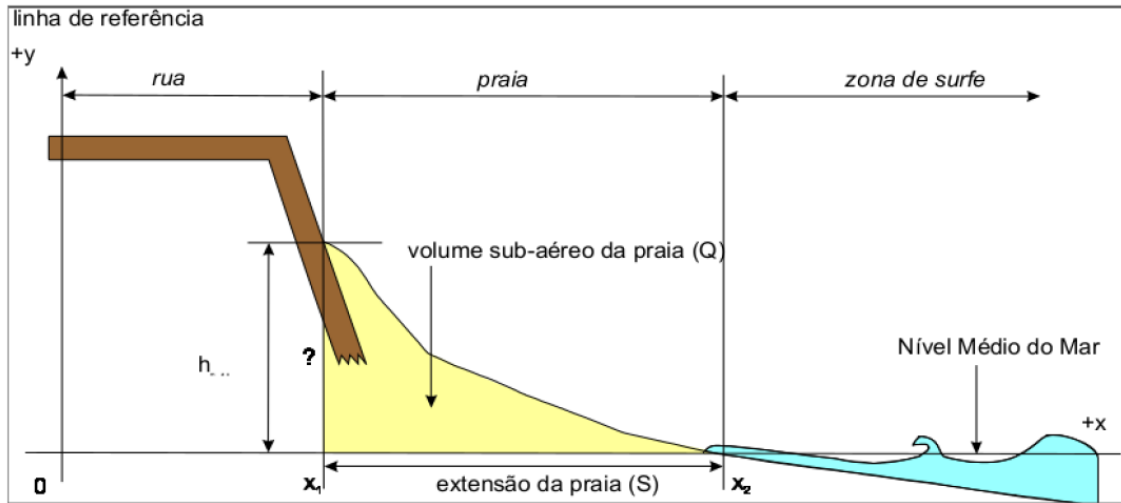


Figura 7. Desenho esquemático do perfil praial e a compartimentação do perfil subaéreo, cujo limite em direção ao mar é estabelecido como sendo o Nível Médio do Mar (NMM). Fonte: Termo de Referência: Plano Básico Ambiental (PBA) - Programa de Monitoramento do Perfil Praial (PMPP).

Na Figura 8 são apresentados os deslocamentos da linha de costa, em metros, entre agosto e novembro de 2021, assim como as variações nas densidades volumétricas da porção subaérea, por perfil, ao longo da faixa de areia da Praia Central de Balneário Camboriú.

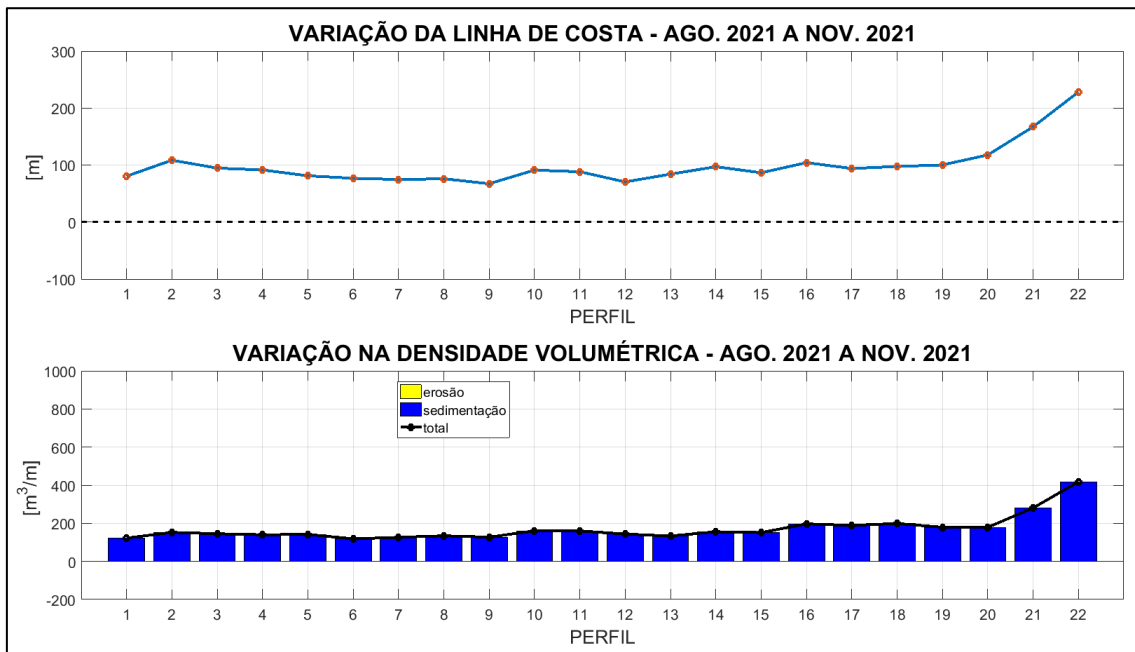


Figura 8. Variação da linha de costa (painel superior) e variação na densidade volumétrica da porção subaérea (painel inferior) ao longo da Praia Central de Balneário Camboriú, entre agosto de 2021 (pré-construção) e novembro de 2021.

A máxima progradação da linha de costa ocorrida entre agosto de 2021 e novembro de 2021, foi de 228 m, no perfil 22. A mínima progradação da linha de costa ocorrida entre agosto de 2021 e novembro de 2021, foi de 67,2 m, no perfil 9. A média das variações da linha de costa entre



agosto de 2021 e novembro de 2021 foi de +98 m.

O maior ganho de volume na porção subaérea, ocorrido entre agosto de 2021 e novembro de 2021, foi de 417 m³/m, no perfil 22. A densidade volumétrica média, na porção subaérea da praia, entre agosto de 2021 e novembro de 2021, foi de +170 m³/m.

Importante enfatizar que este volume não corresponde ao volume total efetivamente disposto na praia pela empresa construtora, uma vez que os cálculos realizados no âmbito deste programa se referem, somente, à porção emersa da praia localizada acima do Nível Médio do Mar (perfil sub-aéreo).

Considerações finais

Os dados apresentados mostram, como esperado, significativa evolução e progradação da linha de costa na enseada de Balneário Camboriú em resposta às obras de alimentação artificial da praia.

Para o cenário futuro, é esperado ainda alterações no volume e perfis praias visto que o ambiente ainda está se moldando às alterações artificiais. Contudo, não são esperadas perdas significativas de sedimentos, apenas uma conformação de equilíbrio entre a porção subaérea e emersa até a zona de fechamento da praia.

Referência Bibliográfica

PEZZUTO, P. R.; RESGALLA JR., C.; ABREU, J.G. N. and MENEZES, J. T., 2006. Environmental impacts of the nourishment of Balneário Camboriú Beach, SC, Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 39 (Proceedings of the 8th International Coastal Symposium), 863 - 868. Itajaí, SC, Brazil, ISSN 0749-0208.