



ESCOLA SUPERIOR DE CIÊNCIAS MARINHAS E COSTEIRAS

Monografia para Obtenção do Grau de Licenciatura em Geologia Marinha

Caracterização Geotécnica do solo da Praia de Zalala Quelimane

Autor:

Felismino Esmínio Ricardo

Quelimane, Dezembro de 2018



ESCOLA SUPERIOR DE CIÊNCIAS MARINHAS E COSTEIRAS

Monografia para Obtenção do Grau de Licenciatura em Geologia Marinha

Caracterização Geotécnica do solo da Praia de Zalala Quelimane

Autor:

Felismino Esmínio Ricardo

Supervisor:

(Msc: César António Mubango Hogueane)

Quelimane, Dezembro de 2018

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho:

- ❖ **Aos meus pais:** Ricardo Mahosse e Maria Judite Nimale (em memória), pois tenho sido fruto dos seus cuidados;
- ❖ **Aos meus irmãos:** Juldina Halan Mahosse e Begnito Mahosse, pois têm sido o espelho da minha maturidade.
- ❖ **A minha futura esposa:** a vida me ensinou que tem coisas que não precisamos de primeiro ter ou ver para começarmos a crer na sua existência, e o facto de que terei uma esposa faz parte dessas coisas, por isso a ela também vai a minha dedicatória.

AGRADECIMENTOS

Quando paro e penso, sinto que tenho o fôlego de vida, mas quando volto a pensar questionando-me em como o possuo, obviamente que a resposta é “não sei”, mas duma coisa não duvido, que há alguém que tem resposta dessa questão e foi ele que me o concedeu, e todas as coisas foram feitas por ele, e sem ele nada do que foi feito se fez, por isso com todo meu ego o primeiro parágrafo de gratidões se destina a ele.

E com certeza o segundo parágrafo seria direccionado aos meus incríveis amáveis e únicos pais, Ricardo Mahosse e Maria Judite Nimale (em memória), que incansavelmente e pacientemente tiveram o desejo de me tornarem um anjo em suas mãos, embora que nunca pudessem conseguir, pois sou humano, naturalmente com falhas e erros, mas eles transformavam a minha imperfeição em uma oportunidade para me educar.

Aos meus companheiros irmãos: Celina (em memória), André, Amida, Cristina, Fernanda, Gilberta, Avelino, Augusto-Agostinho, Juldina e Begnito; meus queridos primos: Belita, Bibiana, João, Marcelino, Lindo, Flora, Josefina, Jorge, etc; Meu incomparável camarado do quarto: Mwangura e ao que nos uniu: Mwuatama; meus amados varões: Wanheta, Campira, Cabeludo, Alilo, Chano, Nélio, Honesto, Cleiton, Júlia, Ivete, Leovistónia, Cacilda, Ganiza, Marta, Pérola, etc; vai um forte e profundo obrigado por terem feito parte da minha vida no papel dum verdadeiro familiar.

Um fortíssimo obrigado a comunidade científica no geral, especificamente ao meu supervisor Msc. César A. M. Hogueane pela paciência e consideração a mim inerente ao meu trabalho, a todos docentes pelo conhecimento transmitido, a bolsa concedida de iniciação científica dos FNI que foi base financeira para a realização deste trabalho, aos companheiros, Elias Sengo, Sérgio Mutemba, Alberto Jeque e Ntaça Augusto por terem participado afectuosamente comigo nos trabalhos do campo, ao Engenheiro Reinaldo pela paciência e instrução dos procedimentos laboratoriais do ISHCT, a turma de Geologia-2015 que foi companheira ao longo dos 4 anos.

Não quero de jeito algum deixar de lado as amizades que me foram marcantes na minha infância, feitas por: António Baxir (primeiro amigo da infância), Ansomane, Crizolgo, Manuel, Doutel, Calton, Charló, Cadaf, Nhavene, Estainha, Shalavianove, etc; pelo companheirismo, consolo, amor, mas também pelo aborrecimento em certas vezes, vai um especial abraço e obrigado.

A todo aquele que se sente inserido “nos etc’s” não por pouco significativo que seja mas por ser tão especial que só está escrito no meu coração e com o medo de levá-lo para este papel não consta aqui seu nome, mas sempre estará marcado na memória da minha alma.

DECLARAÇÃO E COMPROMISSO DE HONRA

Eu, **Felismino Esmínio Ricardo** declaro por minha honra que o presente trabalho de licenciatura foi elaborado por mim com base nos recursos referenciados ao longo do texto, e que nunca foi apresentado em qualquer outra universidade para obtenção de nenhum grau acadêmico. O trabalho é original e todas as fontes consultadas para elaboração do mesmo estão devidamente referenciadas no texto e nas páginas de referências bibliográficas.

Autor

(Felismino Esmínio Ricardo)

RESUMO

O presente trabalho tem como objectivo estudar as características geotécnicas do solo da praia de Zalala, com mais destaque nos seguintes parâmetros geotécnicos: i) resistência a penetração; ii) textura, e iii) teor de humidade do solo, onde a partir do primeiro parâmetro foi estimada a capacidade de carga do solo de Zalala sem ocorrer deformações no solo; a partir da textura foi feita a classificação textural do solo e análise dos parâmetros da distribuição granulométrica (coeficiente de uniformidade e coeficiente de curvatura); e no terceiro parâmetro foi feita a classificação hídrica do solo. A realização deste trabalho compreendeu quatro fases principais: revisão de literatura, ensaios *in situ*, ensaios laboratoriais e processamento dos resultados. Foram feitas três campanhas de campo, nas primeiras duas obtiveram-se dois perfis onde o primeiro foi de 1.8 m de profundidade (PA) com 6 amostras e o segundo foi de 2.1 m (PB) com 7 amostras, as amostras foram divididas a cada 30cm de profundidade, e a última campanha consistiu em criação dum instrumento assemelhado ao de SPT para que fosse determinado o índice de resistência a penetração do solo. Foram realizados dois ensaios laboratoriais, a determinação do teor de humidade e análise granulométrica. A análise granulométrica consistiu em primeiramente eliminação das impurezas, como os carbonatos e a matéria orgânicas nas amostras, para que tais impurezas não influenciassem nos ensaios granulométricos. E observou-se que as camadas superficiais do solo da praia de Zalala variam de pouco compactas a mediamente compactas, correspondendo a um intervalo de tensão permissível de 1 a 4 kg/cm²; e quanto a textura constatou-se que o tamanho dos grãos cresce gradualmente em função dos primeiros 2.1m de profundidade, tendo sido classificado como solo arenoso com areia muito fina nas camadas superficiais e areia fina nas camadas mais ao fundo, e verificou-se também que em relação ao coeficiente de uniformidade o solo é classificado como solo uniforme e em relação ao coeficiente de curvatura é classificado como solo mal graduado; e em relação a humidade verificou-se que o solo da praia de Zalala varia entre solo com baixa taxa de humidade (no PA) e solo de uma média taxa de humidade (no PB). Os resultados obtidos permitiram concluir que o índice de resistência a penetração revela que o litoral da praia de Zalala não possui capacidades de suportar tensão maior que 4 kg/m²; e o facto de o solo ser uniforme e mal graduado confere-lhe uma pobre qualidade para serem implantadas determinadas infra-estruturas sobre ele, pois, essas propriedades do solo enfraquecem o entrosamento entre os grãos constituintes do solo, e por outro lado, o facto de o solo variar de solo duma taxa média de humidade a solo de menor taxa de humidade, confere-lhe uma boa qualidade para serem implantadas infra-estruturas.

Palavras-chave: solo, Geotecnia, resistência a penetração, textura, e humidade.

ABSTRACT

The present work aims to study the geotechnical characteristics of the Zalala beach, with more emphasis on the following geotechnical parameters: i) resistance to penetration; (ii) texture, and (iii) soil moisture content, where Zalala soil load capacity was estimated from the first parameter without soil deformation; from the texture was made the textural classification of the soil and analysis of the parameters of the granulometric distribution (coefficient of uniformity and coefficient of curvature); and the third parameter was the water classification of the soil. The accomplishment of this work comprised four main phases: literature review, in situ tests, laboratory tests and processing of the results. Three field campaigns were carried out; in the first two, two profiles were obtained, where the first one was 1.8 m depth (PA) with 6 samples and the second was 2.1 m (PB) with 7 samples, the samples were divided in each 30cm deep, and the last campaign consisted of the creation of an instrument similar to that of SPT to determine the soil penetration resistance index. Two laboratory tests were carried out, the determination of the moisture content and particle size analysis. The granulometric analysis consisted in the first elimination of the impurities, such as the carbonates and the organic matter in the samples, so that these impurities did not influence in the granulometric tests. It was observed that the superficial layers of the Zalala beach range from compact to medium-compact, corresponding to a permissible tension range of 1 to 4 kg / cm²; and the texture showed that the size of the grains increased gradually as a function of the first 2.1m of depth, being classified as sandy soil with very fine sand in the superficial layers and fine sand in the bottom layers, and it was also verified that in relation to the uniformity coefficient the soil is classified as uniform soil and in relation to the coefficient of curvature is classified as poorly graded soil; and in relation to moisture it was verified that the soil of the beach of Zalala varies between soil with low humidity (in PA) and soil of a medium moisture rate (in PB). The obtained results allowed to conclude that the penetration resistance index reveals that the coast of the beach of Zalala does not have capacities to withstand tension greater than 4 kg / m²; and the fact that the soil is uniform and poorly graded gives it poor quality in order to be implanted with certain infrastructures on it, because these soil properties weaken the intermixing between the constituent grains of the soil and, on the other hand, the fact of the soil to vary from soil to an average soil moisture rate with a lower humidity rate, gives it a good quality to be implemented infrastructures.

Key words: soil, geotechnics, resistance to penetration, texture, and humidity.

LISTA DE ABREVIATURAS

Sigla	Significado
ESCMC	Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeira
ISHCT	Instituto Superior de Humanidades, Ciências e Tecnologias
CPTU	<i>Piezocone Penetration Test</i>
SPT	<i>Standard Penetration Test</i>
N _{SPT}	Número de golpes SPT
C _u	Coefficiente de uniformidade
C _c	Coefficiente de curvatura
W	Teor de humidade
PA	Perfil A
PB	Perfil B
MO	Matéria orgânica
GPS	Sistema de posicionamento geográfico
PVC	Policloreto de vinil
ArcGIS	Sistema de informação geográfica

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ensaio de CPTU	4
Figura 2: Ensaio de SPT	5
Figura 3: Classificação do solo quanto à distribuição dos grãos.....	10
Figura 4: Limites de Atterberg	13
Figura 5: Localização da área de estudo.	14
Figura 6: Representação esquemática das amostras na área de estudo.	15
Figura 7: Representação esquemática da colecta das amostras – PB.....	166
Figura 8: Colecta de amostras.	166
Figura 9: Instrumento assemelhado ao SPT.....	167
Figura 10: determinação do índice de resistência a penetração do solo.	167
Figura 11: Peneiramento.....	23
Figura 12: Balança.....	23
Figura 13: Peneiros.....	23
Figura 14: Curvas granulométricas – PA.....	26
Figura 15: Curvas granulométricas – PB.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estados de compacidade dos solos	5
Tabela 2: Relações entre índice de resistência a penetração (SPT) com as taxas admissíveis para solos arenosos	6
Tabela 3: Classificação dos sedimentos segundo a granulometria.....	8
Tabela 4: Exemplo de ensaios do teor da humidade – PA.....	20
Tabela 5: Exemplo de ensaios granulométricos – A1.....	21
Tabela 6: Materiais usados em campo, laboratório e programas de software.....	23
Tabela 7: Classificação do solo segundo a granulometria dos sedimentos – perfis A.	Error!
Bookmark not defined.	
Tabela 8: Classificação do solo segundo a granulometria dos sedimentos – perfis A.	Error!
Bookmark not defined.	5
Tabela 9: Resultados dos parâmetros da distribuição granulométrica – perfis A e B.	27
Tabela 10: Estado de compacidade do solo da praia de Zalala e sua correlação com tensão admissível – perfil A.	Error! Bookmark not defined.
Tabela 11: Estado de compacidade do solo da praia de Zalala e sua correlação com tensão admissível – perfil B.	29
Tabela 12: Resultados do teor de humidade dos primeiros 90 cm – perfis A e B.....	29

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Valor de N_{60}	7
Equação 2: coeficiente de uniformidade.....	9
Equação 3: coeficiente de curvatura.....	10
Equação 4: teor de humidade	11
Equação 5: teor de humidade	19
Equação 6: determinação de horas necessárias para ignizar MO.....	21
Equação 7: determinação de horas necessárias para ignizar MO.....	21
Equação 8: determinação de percentis.....	22

ÍNDICE

DEDICATÓRIA	I
AGRADECIMENTO	II
DECLARAÇÃO E COMPROMISSO DE HONRA	III
RESUMO	IV
ABSTRACT	V
LISTA DE ABREVIATURAS	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE EQUAÇÕES	IX
1. INTRODUÇÃO	1
1.1.Problematização	2
1.2.Justificativa	2
1.3.Objectivos	2
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1.Solo.....	3
2.2.Geotecnia.....	3
2.3.Ensaio do campo e laboratoriais.....	3
2.3.1. Ensaio do campo.....	4
2.3.1.1. CPTU (<i>Piezocone Penetration Test</i>).....	4
2.3.1.2. SPT (<i>Standard Penetration Test</i>).....	4
2.3.1.2.1. Os resultados obtidos pelo ensaio SPT.....	5
2.3.1.2.2. Relação entre tensão admissível e N_{SPT}	6
2.3.1.2.3. Correções ao valor de N do SPT.....	6
2.3.2. Ensaio laboratoriais.....	7
2.3.2.1.Ensaio de identificação e classificação.....	7
2.3.2.1.1. Análise granulométrica.....	7

2.3.2.1.1.1.Classificação textural.....	8
2.3.2.1.1.2.Parâmetros da distribuição do tamanho dos grãos	9
2.3.2.1.2. Análise mineralógica.....	11
2.3.2.1.3. Teor de humidade	11
2.3.2.1.3.1.Classificação hídrica de solos.	12
2.3.3. Limites de Atterberg.....	12
3. MATERIAIS E MÉTODOS	14
3.1.Localização e caracterização da área de estudo.....	14
3.2.Métodos.....	15
3.2.1. Trabalho do campo	16
3.2.1.1.Colecta das amostras	16
3.2.1.2.Criação do instrumento para determinação do índice de resistência a penetração	17
3.2.1.2.1. Eficiência do instrumento e correcção do N_{SPT}	18
3.2.1.2.2. Determinação de E_f	18
3.2.2. Ensaaios laboratoriais	19
3.2.2.1.Teor de humidade.....	19
3.2.2.2.Eliminação de carbonato	20
3.2.2.3.Eliminação da matéria orgânica	20
3.2.2.4.Análise granulométrica.....	21
3.2.2.4.1. Determinação dos parâmetros distribuição do tamanho do grão	22
3.3.Materiais	23
4. RESULTADOS.....	24
4.1.Análise granulométrica.....	24
4.1.1. Classificação textural.....	24
4.1.2. Distribuição do tamanho do grão.....	26

4.2.Índice de resistência a penetração.....	28
4.3.Teor de humidade.....	29
5. DISCUSSÃO.....	30
5.1.Classificação textural	30
5.2.Parâmetros da distribuição do tamanho de grão	30
5.3.Índice de resistência a penetração.....	31
5.4.Teor de humidade.....	31
6. CONCLUSÃO.....	32
7. RECOMENDAÇÕES.....	33
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34
9. ANEXOS	36

1. INTRODUÇÃO

A geologia, geomorfologia e hidrogeologia devem ser consideradas e investigadas antes de qualquer estudo de engenharia geológica ser realizado. O tipo de informação que podem fornecer deve ser actualizado, e expresso numa escala adequada. Após as investigações de base, os problemas de engenharia geológica deveriam ser considerados, garantido assim, a sustentabilidade das obras e infra-estruturas bem como a exploração de recursos (Victória, 2012).

Como ciência eminentemente aplicada que é, um dos grandes motores de desenvolvimento da Geotecnia tem sido a ocorrência de acidentes que, em grande medida, se podem atribuir ao insuficiente conhecimento ou à deficiente aplicação do conhecimento geotécnico (Costa, 2006).

A caracterização geológica-geotécnica permite a classificação dos maciços e materiais, a avaliação das condições hídricas, assim como dos processos superficiais e subterrâneos, determinando a maiores ou menores valores indicativos de aptidão para a alteração de uso do solo, a implantação de uma dada obra, bem como a salvaguarda dos recursos minerais e hídricos. (Victória, 2012).

O presente trabalho tem como objectivo estudar as características geotécnicas do solo da praia de Zalala, com mais destaque nos seguintes parâmetros geotécnicos: i) resistência a penetração; ii) textura, e iii) teor de humidade do solo. Foi criado um instrumento de natureza SPT, destinado a determinar o índice de resistência a penetração que é um parâmetro extremamente importante em Geotecnia, uma vez que este dá uma estimativa da capacidade de carga do solo sem que ocorra ruptura ou deformação no solo. E será estudada a textura para classificar o solo segundo o tamanho dos seus grãos e para determinar os parâmetros da distribuição granulométrica (coeficiente de uniformidade e coeficiente de curvatura), os quais ditam o estado de uniformidade e graduação dos grãos do solo, e por sua vez, os estados de uniformidade e graduação do solo dão ideia do estado de entrosamento entre as partículas constituintes do solo. Por outro lado será classificado o solo quanto ao seu teor de humidade, pois, esse parâmetro está directamente ligado com a estética das infra-estruturas que forem implantadas sobre o solo.

Embora na actualidade evidentemente o litoral de Zalala não seja lotado de infra-estruturas, mas com o crescimento da urbanização espera-se dentro dum breve futuro que venha a se lotar, daí que vale referir a importância de estudos geotécnicos nesse litoral.

1.1. Problematização

A falta de estudos sobre determinado assunto tem sido um grande problema por parte científica (especificamente em Moçambique), através de falta de investigadores especialistas, falta de metodologias adequadas e até por vezes pelo elevado custo financeiro das metodologias disponíveis. Portanto, mais uma vez constata-se tal problematização de estudos inerentes às características geotécnicas da areia da praia de Zalala, o que pode implicar num manejo inadequado do solo dessa região levando até a acidentes de obras que possam ser feitas.

1.2. Justificativa

Uma vez, acima ter sido referido da falta de estudos concernentes a Geotecnia e das possíveis implicações dessa falta na praia de Zalala, importa realçar que essa problematização foi um ponto de interesse para a elaboração deste trabalho a fim de solucioná-la através de conhecimentos científicos tangentes a caracterização geotécnica do solo dessa praia, garantindo deste modo uma tomada de decisão fidedigna antes de implantação de qualquer infra-estrutura ao longo do litoral de Zalala.

Por outro lado, há que referir que a praia de Zalala é um local de lazer com um potencial turístico. Contudo, a falta de estudos virados a caracterização geotécnica do solo pode demonstrar um perigo na implantação de obras destinadas a satisfação turística ou de lazer neste local. Por via disto, o presente estudo, destina-se a caracterização geotécnica da areia da praia de Zalala como forma de preencher essa falta de informação nessa área.

1.3. Objectivos

1.3.1. Geral:

- ✓ Caracterizar geotecnicamente o solo da praia de Zalala.

1.3.2. Específicos:

- ✓ Criar um instrumento para determinar a resistência a penetração do solo;
- ✓ Classificar o solo quanto a textura dos sedimentos;
- ✓ Determinar os parâmetros da distribuição granulométrica dos sedimentos;
- ✓ Classificar o solo quanto ao teor de humidade.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Solo

A palavra solo é originada do latim *solum*, que significa "superfície do chão". Os engenheiros civis definem os solos como um aglomerado de partículas provenientes da decomposição das rochas, que podem ser escavados facilmente sem emprego de explosivos e que são utilizados como material de construção ou de suporte para estruturas (Souza e Bastos, 2015).

2.2. Geotecnia

A Geotecnia é o ramo da Engenharia que agrupa as disciplinas científicas que se ocupam da caracterização e comportamento dos terrenos: a Geologia de Engenharia, a Mecânica dos Solos e a Mecânica das Rochas (Costa, 2006).

- **Geologia de Engenharia** – como o nome implica, concerne a aplicação da tecnologia da engenharia civil para alguns aspectos da terra. Normalmente, a engenharia geológica é concernida só pelos materiais naturais encontrados nas proximidades da superfície da terra (Holtz e Kovacs, 1981).
- **Mecânica dos Solos e Mecânica das Rochas** - fazem a tarefa de análise da estabilidade dos terrenos (respectivamente, terrosos para a primeira e rochosos para a segunda) e o projecto de estruturas que impeçam a sua instabilização ou garantam a sua estabilidade face às solicitações previsíveis (Costa, 2006).

O reconhecimento das condições do subsolo constitui pré-requisito para projectos geotécnicos seguros e económicos. As investigações geotécnicas devem permitir uma definição: da estratigrafia do subsolo; das condições de água subterrânea; e uma estimativa das propriedades geomecânicas dos materiais envolvidos (Magalhães, 2015).

2.3. Ensaio do campo e Laboratoriais

O estudo geotécnico é basicamente procedido em duas etapas, a primeira consiste em ensaios *in situ* (na área estudada) e a segunda etapa consiste em ensaios laboratoriais.

2.3.1. Ensaios do campo

Entre as actividades efectuadas nesta etapa podem se destacar os ensaios de CPTU e SPT.

2.3.1.1. CPTU (*Piezocone Penetration Test*)

O ensaio de cone é bastante simples, consistindo na cravação vertical no terreno de uma ponteira cónica (60° de ápice) de aço instrumentada, cuja secção transversal é de 10 cm², e área da luva é de 150 cm², a uma velocidade lenta constante de 20 mm/s² (Medina, 2007)



Figura 1: Ensaio de CPTU (Mariane, 2013)

2.3.1.2. SPT (*Standard Penetration Test*)

É o ensaio de investigação mais comum a nível mundial o que o torna o mais estudado e aplicado. Os seus resultados permitem a avaliação de características físicas de solos granulares, a averiguação da consistência dos solos coesivos ou finos, bem como a caracterização de rochas brandas. O ensaio SPT permite a determinação de uma medida de resistência à penetração dinâmica e em simultâneo a amostragem do material que se ensaia. Estas duas vertentes tornam o ensaio num método de caracterização geotécnica muito atractivo (Veiga, 2011).

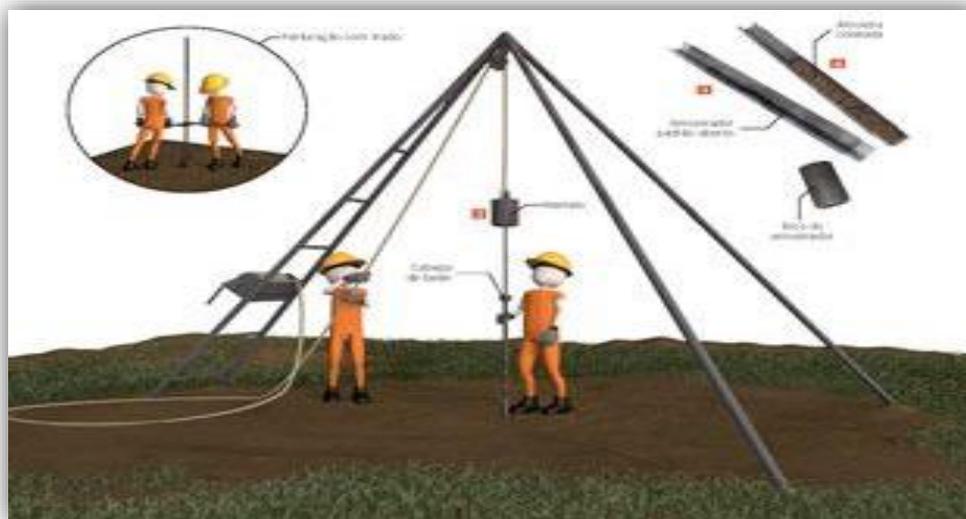


Figura 2: Ensaio de SPT (Mariane, 2013)

2.3.1.2.1. Os resultados obtidos pelo ensaio SPT

O ensaio SPT fornece o índice de resistência à penetração N (além, naturalmente, dos números de golpes dos intervalos de 15 cm). Além disso, o número de golpes é utilizado para se definir a compactidade – no caso de areias e siltes arenosos – ou a consistência – em caso de argilas ou siltes argilosos (Goldbach, 2016).

Tabela 1: Estados de compactidade dos solos (Goldbach, 2016).

Solo	Índice de resistência a penetração (N)	Designação
Areia e siltes arenosos	≤ 4	Fofa (o)
	5 a 8	Pouco compacta (o)
	9 a 18	Mediamente compacta (o)
	19 a 40	Compacta (o)
	> 40	Muito compacta (o)

2.3.1.2.2. Relação entre tensão admissível e N_{SPT}

O conhecimento das tensões actuantes em um maciço de terra, sejam elas advindas do peso próprio ou em decorrência de carregamentos em superfícies, ou ainda pelo alívio de cargas provocado por escavações, é de vital importância no entendimento do comportamento de praticamente todas as obras de engenharia geotécnica. Há uma necessidade de se conhecer a distribuição de tensões (pressões) nas várias profundidades abaixo do terreno para a solução de problemas de recalque, empuxo de terra, capacidade de carga no solo, etc. (Marangon, 2013).

A tabela 2 traduz relações entre o índice de resistência à penetração (SPT) com taxas admissíveis para solos arenosos.

Tabela 2: Relações entre índice de resistência a penetração (SPT) com as taxas admissíveis para solos arenosos (Marangon, 2013).

Areia	Nº de golpes SPT	Tensão admissível (kg/cm ²)
Fofa	≤ 4	< 1,0
Pouco compacta	5-10	1,0-2,0
Mediamente Compacta	11-30	2,0-4,0
Compacta	31-50	4,0-6,0
Muito Compacta	>50	> 6,0

2.3.1.2.3. Correções ao valor de N do SPT

A energia potencial teórica do ensaio SPT no sistema padronizado no Brasil é $E = m * g * h = 478,2 \text{ J}$, onde a massa do martelo é padronizada em $m = 65 \text{ kg}$ e a altura de queda igual a $h = 0,75 \text{ m}$, mas o real de energia é menor devido às perdas por atrito e carga excêntrica (Goldbach, 2016).

Os equipamentos com dispositivo de disparo automático do pilão apresentam uma eficiência da ordem dos 60%, enquanto os equipamentos mais antigos em que é necessário elevar e largar o martelo através de um dispositivo de corda e roldana, as perdas de energia são bastante superiores e a eficiência reduz para valores da ordem dos 45% (Veiga, 2011).

Segundo Veiga (2011), a eficiência energética do equipamento deve ser medida. Assim se a eficiência é medida (E_f), então a energia é corrigida e o valor de N (ajustado para 60% de eficiência) é designado N_{60} e dado pela equação 1:

$$N_{60} = \frac{E_f}{60} N \quad (\text{Equação 1})$$

2.3.2. Ensaios laboratoriais

Os ensaios laboratoriais constituem uma peça fundamental na investigação geotécnica de qualquer local, sendo realizados geralmente depois dos ensaios de campo e após a observação e interpretação dos seus resultados. Estes ensaios servem para se proceder à identificação dos solos, determinar propriedades índices, possibilitando eventuais correlações, refinar o modelo geológico do local e permitem a obtenção de valores de parâmetros de engenharia usados na análise e projecto de fundações e de taludes. O desenvolvimento de técnicas de ensaio e métodos de análise do comportamento mecânico permitem entender melhor o comportamento dos solos (Veiga, 2011).

Os ensaios laboratoriais podem dividir-se em dois grupos: os de identificação e classificação, e os que permitem a determinação de propriedades físicas e mecânicas (ensaio de resistência, consolidação e compactação) (Veiga, 2011).

2.3.2.1. Ensaio de identificação e classificação

Os ensaios de identificação mais relevantes consistem na análise mineralógica, análise granulométrica, determinação do teor de humidade (W), dos pesos volúmicos e dos limites de Atterberg (Veiga, 2011).

2.3.2.1.1. Análise granulométrica

A análise granulométrica consiste na determinação das dimensões das partículas que constituem as amostras (presumivelmente representativas dos sedimentos) e no tratamento estatístico dessa informação (Dias, 2004).

O tamanho do grão pode ser útil como uma primeira propriedade distintiva dos solos, mas não é muito útil para as propriedades mecânicas. Os dados quantitativos que um engenheiro precisa dependem das

propriedades mecânicas, como rigidez e resistência, e estes devem ser determinados a partir de testes mecânicos. Solos do mesmo tamanho de grão podem ter propriedades mecânicas diferentes (Verruijt, 2001).

2.3.2.1.1.1. Classificação textural

A textura do solo refere-se à proporção relativa em que se encontram, em determinada massa seca de solo, os diferentes tamanhos de partículas. É definida, portanto, em função da percentagem das partículas de areia (diâmetro d equivalente entre 0,05 e 2 mm), silte (d equivalente entre 0,002 e 0,05 mm) e argila ($d < 0,002$ mm) (Leal, 2011)

A textura do solo tem uma grande influência no tratamento hidráulico a ser aplicado na sua irrigação, pois está relacionado com a capacidade de retenção de humidade, com a permeabilidade e o seu preparo. No manejo em geral, os solos com textura média possuem uma faixa mais ampla de humidade, enquanto que os arenosos apresentam uma faixa mais restrita (Kitamura, 2004).

A tabela 3 descreve intervalos de tamanho dos grãos com a sua respectiva classificação nominal.

Tabela3: Classificação dos sedimentos segundo a granulometria (modificado de Teixeira, *et. al*, 2009)

Intervalo granulométrico (mm)		Classificação nominal
>256		Matacão
256-64	CASCALHO (balastro)	Bloco ou calhau
64-4,0		Seixo
4,0-2,0		Grânulo
2,0-1,0		Areia muito grossa
1,0-0,50		Areia grossa
0,50-0,250	AREIA	Areia média
0,250-0,125		Areia fina
0,125-0,062		Areia muito fina
0,062-0,031		Silte grosso
0,031-0,016		Silte médio
0,016-0,008	SILTE	Silte fino
0,008-0,004		Silte muito fino
<0,004	ARGILA	Argila

2.3.2.1.1.2. Parâmetros da distribuição granulométrica

Poderiam ser referidos os parâmetros estatísticos mais comuns como a mediana, média, desvio padrão, etc. para a distribuição do tamanho do grão, mas esses parâmetros são pouco significativos quando são estudos relacionados com a mecânica de solos. No entanto, são mais aplicáveis na geotecnia os seguintes parâmetros para análise da distribuição granulométrica: o coeficiente de uniformidade (C_u) e o coeficiente de curvatura (C_c) (Holtz e Kovacs, 1981).

a) Coeficiente de uniformidade (C_u) – é um parâmetro que pode ser relacionado ao grau de selecção dos grãos (Veloso, 2001).

O C_u dá uma ideia da distribuição do tamanho das partículas do solo. Os valores próximos de 1 indicam uma curva granulométrica quase vertical, com diâmetros variando em um pequeno intervalo, enquanto para valores maiores a curva granulométrica irá se abatendo e aumentando o intervalo de variação dos diâmetros dos grãos, o C_u representa-se pela equação 1 (Souza e Bastos, 2015).

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

C_u – coeficiente de uniformidade;

D_{10} – percentil 10 e corresponde ao ponto de 10%, tal que 10% das partículas do solo possuem diâmetro inferior a ele.

D_{60} – percentil 60 e corresponde ao ponto de 60%, tal que 60% das partículas do solo possuem diâmetro inferior a ele.

Segundo Holtz e Kovacs (1981) o C_u permite com que um solo seja classificado da seguinte maneira:

- Solo muito uniforme se $C_u < 5$;
- Solo de uniformidade média se C_u estiver entre 5 a 15; e
- Solo não uniforme se $C_u > 15$.

b) Coeficiente de curvatura (C_c) – o C_c detecta melhor o formato da curva granulométrica e permite identificar eventuais descontinuidades ou concentração muito elevada de grãos mais grossos no conjunto. O C_c é representado pela equação 2 (Souza e Bastos, 2015).

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10})(D_{60})} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

C_c – coeficiente de curvatura;

D_{10} – percentil 10;

D_{30} – percentil 30; e

D_{60} – percentil 60.

Segundo Souza e Bastos (2015) o C_c permite com que um solo seja classificado da seguinte maneira:

- Solo bem graduado se C_c está entre 1 a 3, desde que $C_u > 5$;
- Solo que tende a ser descontínuo, o $C_c < 1$; e
- Solo que tende a ser muito uniforme, o $C_c > 3$.

A expressão “bem graduado” significa o facto de que a existência de grãos com diversos diâmetros confere ao solo, em geral, melhor comportamento sob o ponto de vista da engenharia. As partículas menores ocupam os vazios correspondentes às maiores, criando um entrosamento, do qual resulta menor compressibilidade e maior resistência. Esta característica dos solos granulares é expressa pelo “coeficiente de uniformidade” (Sérgio, 2011).



Figura 3: Classificação do solo quanto à distribuição dos grãos (Souza e Bastos, 2015).

2.3.2.1.2. Análise mineralógica

Para um engenheiro civil, a composição química e mineralógica de um solo pode ser útil como um aviso de suas características e como uma indicação de sua diferença em relação a outros materiais, especialmente em combinação com dados de projectos anteriores. Uma análise química não fornece muita informação quantitativa sobre as propriedades mecânicas de um solo. Para a determinação dessas propriedades são necessários ensaios mecânicos, nos quais as deformações e tensões são medidas. Estes serão descritos em capítulos posteriores (Verruijt, 2001).

Areia e cascalho geralmente consistem nos mesmos minerais, o feldspato ou vislumbre de quartzo. Solos de grão fino podem conter os mesmos minerais, mas eles também contêm os chamados minerais de argila. Os principais minerais de argila são caulinita, montmorilonita e illita. As deformações da argila dependem do tempo, por exemplo. Quando um solo arenoso é carregado, ele se deforma imediatamente e permanece em repouso se a carga permanecer constante. Sob tais condições, um solo argiloso continuará a se deformar. Além disso, algumas argilas, especialmente argilas contendo grandes quantidades de montmorilonita, podem apresentar um inchaço considerável quando estão ficando mais húmidas (Verruijt, 2001).

2.3.2.1.3. Teor de humidade

O teor de água é um parâmetro útil, especialmente para argilas. Por definição, o teor de água (w) é a razão entre o peso (ou massa) da água e dos sólidos (equação 3) (Verruijt, 2001).

O teor de água dos solos (w), quando combinado com dados obtidos noutros ensaios, permite obter informações importantes sobre as características do solo. Por exemplo, quando w de uma amostra colhida abaixo do nível freático se aproxima do seu limite de liquidez, é indicador de que este solo, no seu es

tado natural, é susceptível de sofrer maior deformação (Veiga, 2011).

$$W = \frac{M_w}{M_p} 100\% \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

W = teor de humidade;

M_w = massa da água; e

M_s = massa do solo.

2.3.2.1.3.1. Classificação hídrica de solos

O Sistema de Classificação Hídrica de Solos agrupa os solos segundo sua capacidade de hidratar as rizosferas, num perfil de até 70 cm de profundidade. Essa capacidade de hidratação diz respeito ao potencial que o solo possui de armazenamento de água para uso vegetal (Leal, 2011).

Segundo Leal (2011) o solo pode ser classificado quanto ao teor de humidade (W) da seguinte maneira:

- Solo de baixa humidade se $W < 6\%$;
- Solo de humidade média se $6 \leq W \leq 12\%$;
- Solo de alta humidade se $W > 12\%$.

É portanto, de extrema importância o conhecimento do teor de humidade nos primeiros centímetros de profundidade do solo para a Engenharia. Os solos argilosos são os com maior teor de humidade, podendo até atingir $w=50\%$, o que faz com que na construção sobre esses solos os baldrame ou cintas sejam impermeabilizados, de modo a proteger a alvenaria contra a humidade ascendente por capilaridade proveniente do solo. Isso porque a água retida nos solos argilosos atinge o baldrame e sobe pela alvenaria, podendo atingir uma altura de 1,0 m. Essa patologia manifesta-se com a destruição do revestimento e ou da pintura da parede, afectando directamente na estética da edificação. Diferentemente dos solos arenosos que são menos húmidos devido ao seu potencial de permeabilidade, o que os torna solos ideais para implantação de alvenaria sem necessidade de impermeabilizar os baldrame ou cintas (Santos, *et al.* 2015).

2.3.2.1.4. Limites de Atterberg

Os limites de Atterberg visam caracterizar a interação do solo com a água. Em função da quantidade de água presente em um solo podemos ter os seguintes estados de consistência: líquido, plástico e sólido (Figura 4) (Magalhães, 2015).

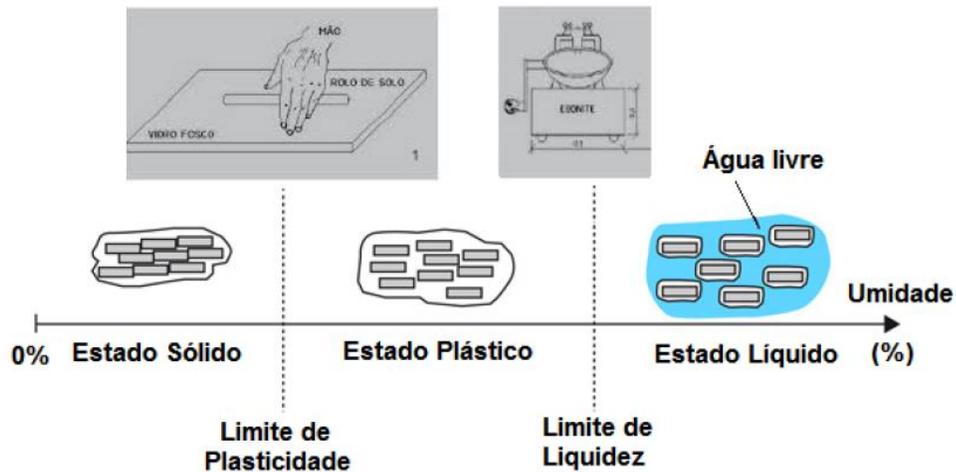


Figura 4: Limites de Atterberg (Magalhães, 2015).

Os teores de humidade correspondentes às mudanças de estado são denominados: Limite de Liquidez (w_{LL}) e Limite de Plasticidade (w_{LP}). Já o limite de plasticidade é definido como o teor de humidade para o qual o solo começa a se fracturar quando se tenta moldá-lo na forma de uma amostra cilíndrica de 3 mm de diâmetro (Magalhães, 2015).

Os valores de w_{LL} e w_{LP} são de uso corriqueiro na engenharia geotécnica. Apesar da sua natureza fundamentalmente empírica, estes valores são de grande importância em aplicações de mecânica dos solos, tais como a determinação do índice de plasticidade e a actividade dos solos (Magalhães, 2015).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Localização e caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado na praia de Zalala, que se localiza na parte Este da região centro de Moçambique, na província de Zambézia, no distrito de Quelimane, no posto administrativo de Maquival. As amostras de sedimentos foram colhidas nas seguintes coordenadas: 17.83612° S, 37.126292°E e 17.82905° S, 37.13293°E.

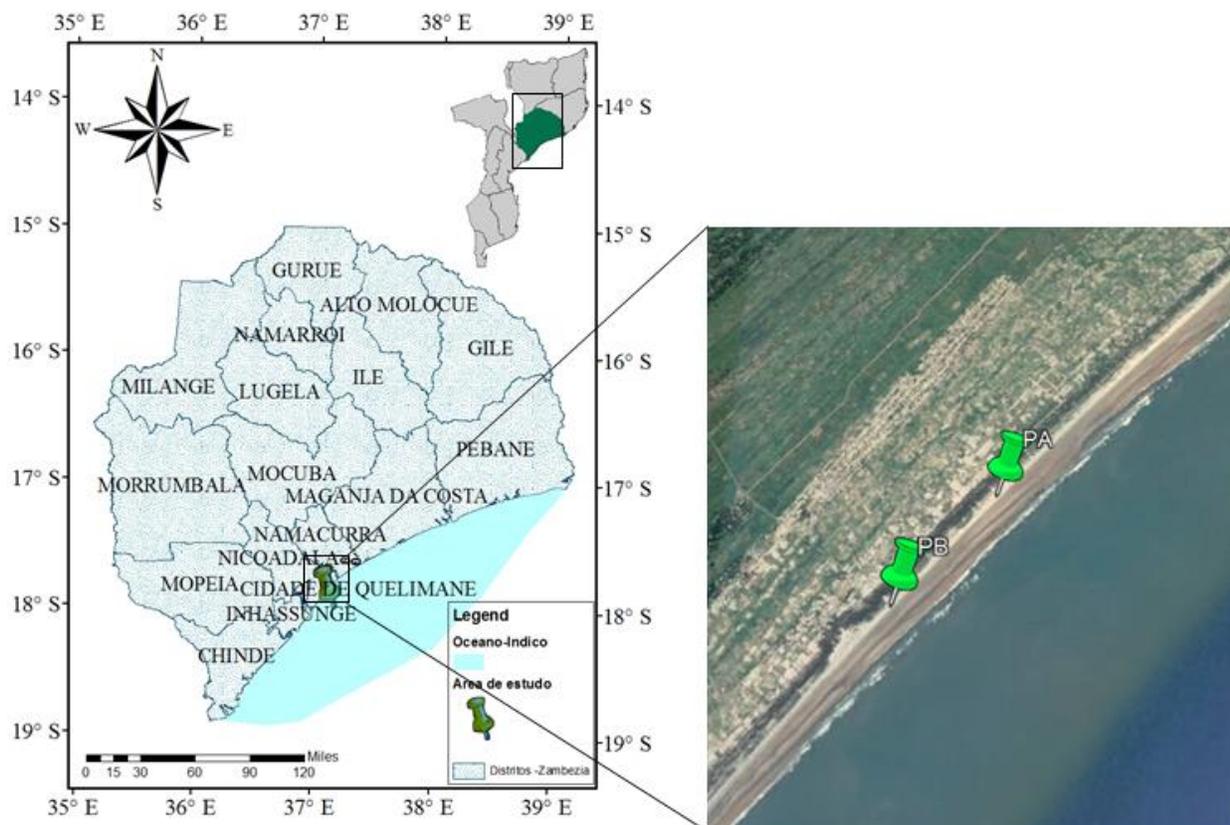


Figura 5: Localização da área de estudo.

O clima da região é tropical com duas estações. A precipitação anual é de 1.428 milímetros ao redor de Quelimane e Inhassunge. O período de chuva varia de Novembro a Abril. A temperatura média é de 25°C. O mês mais seco é Setembro, com 20 mm, maior parte da precipitação cai em Janeiro, com uma média de 260 mm (Manjate, 2017)

A Geologia da praia de Zalala foi formada ao longo da era do quaternário, tendo sido constituída normalmente pelas seguintes unidades sedimentares: areia de duna costeira e areia da praia; coluvião; e, aluvião, areia, silte e cascalho (Manjate, 2017),

Ao longo da praia de Zalala encontram-se duas principais variedades de solo, nomeadamente: solos arenosos de dunas costeiras e solos de sedimentos marinhos estuarinos, sendo que esses últimos predominam mais nas proximidades das planícies estuarinas, onde mangais se desenvolvem (INE, 2007)

3.2. Métodos

A realização deste trabalho consistiu em duas campanhas de campo de estudo (praia de Zalala), onde foi estabelecido um perfil em cada dia, dando num total de dois perfis (PA e PB) na zona das dunas, posicionados paralelamente a linha da costa, distanciados entre si a 1 km. Para o PB foi atingida uma profundidade de 2,1m, na qual se obteve sete amostras (uma amostra correspondente a cada 30cm), enquanto para o PA atingiu-se uma profundidade de 1.8m, na qual se obteve seis amostras (uma amostra correspondente a cada 30cm), como ilustra a Figura 6.

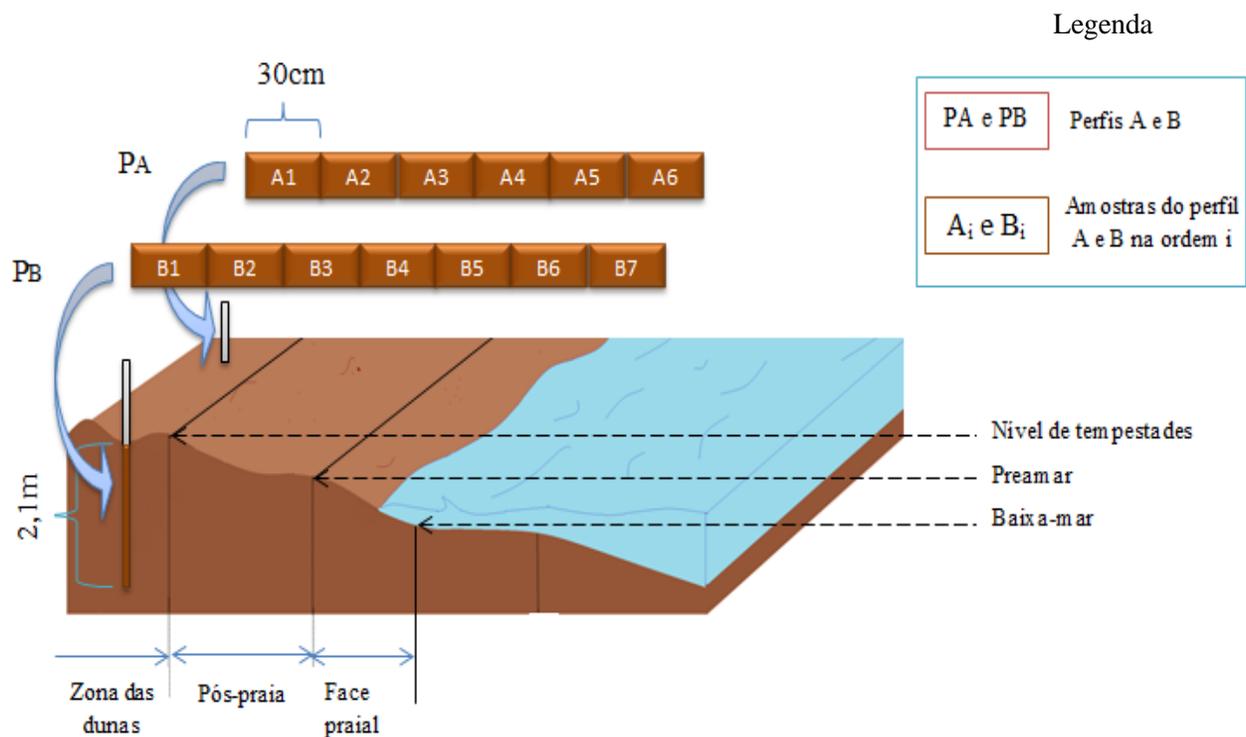


Figura 6: Representação esquemática das amostras na área de estudo.

3.2.1. Trabalho do campo

3.2.1.1. Colecta das amostras

A colecta de amostras foi executada através de sondagem a percussão, essa sondagem foi feita através de embate de tubos pvc de diâmetro 55 mm com uma ponta aguçada, o embate foi feito por um martelo adaptado de 10 kg sobre uma cabeça-de-bater ajustada no topo dos tubos, permitindo dessa maneira atingir uma profundidade de 2.1 m (PB).

Foram providos sete pedaços do tubo pvc, sendo uma maior que outra por diferença de 30cm, pertencendo cada pedaço a uma amostra, essa provisão de sete pedaços foi feita com vista a evitar resistência tanto ao penetrar como ao retirar do tubo caso se deixasse penetrar a maiores profundidades do que 30 cm de cada vez, as figuras 7 e 8 ilustram tal procedimento.

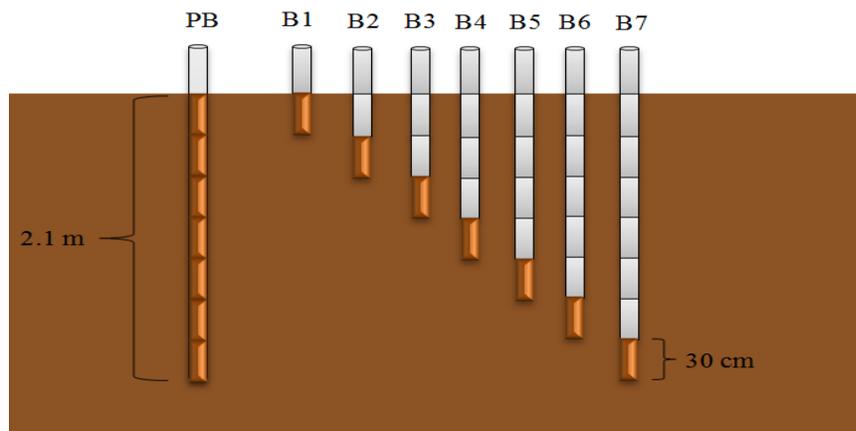


Figura 7: Representação esquemática da colecta das amostras – PB.



Figura 8: Colecta de amostras.

3.2.1.2. Criação do instrumento para determinação do índice de resistência a penetração

Foi criado um instrumento com características assemelhadas às do SPT de modo que pudesse permitir determinar a resistência a penetração do solo (N_{SPT}), a figura 9 representa a constituição do material básico do instrumento, e a figura 10 representa a execução do ensaio *in situ*.

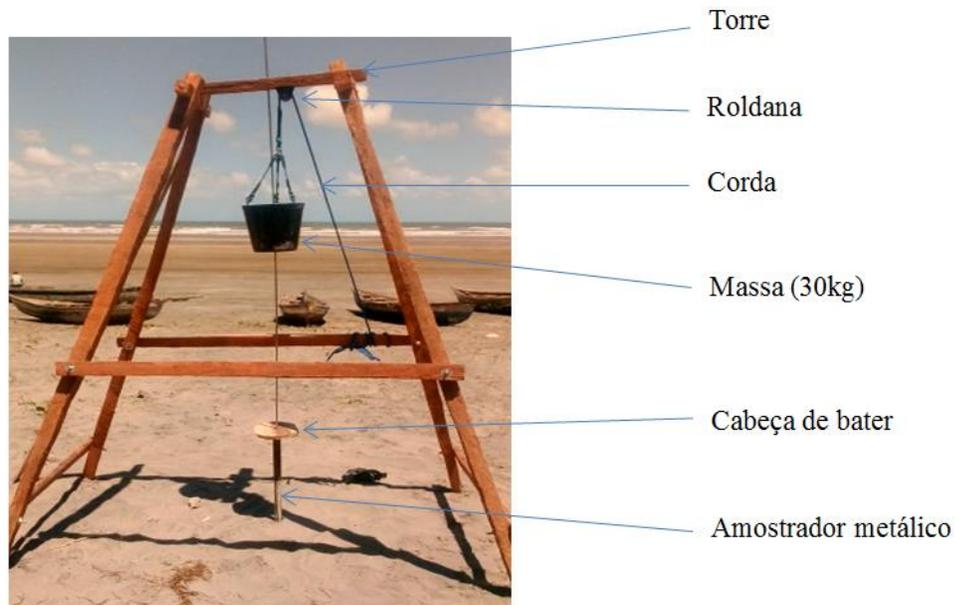


Figura 9: Instrumento assemelhado ao SPT.



Figura 10: determinação do índice de resistência a penetração do solo.

O instrumento não apenas determina o índice de resistência a penetração como também permite aquisição de amostras de tantos metros quantos forem sondados, e tais amostras podem ser levadas para outras análises laboratoriais. Mas para o presente trabalho foi usado o instrumento para determinar apenas o índice de resistência a penetração numa profundidade de 1,8 m.

3.2.1.2.1. Eficiência do instrumento e correcção do N_{SPT}

A massa (30kg) deixava-se cair sobre a cabeça de bater a uma altura constante de 1 m, no entanto, a energia teórica para este instrumento é: $E = m * g * h = 35\text{kg} * 9,82 \text{ m/s}^2 * 1 \text{ m} = 294,6 \text{ j}$.

Para se determinar o N_{SPT} usou-se o valor de N (ajustado para 60% de eficiência) que é designado por N_{60} e é dado pela equação $N_{60} = N \frac{E_f}{60}$ (Veiga, 2011); onde E_f é a eficiência em percentagem da energia teórica.

3.2.1.2.1.1. Determinação de E_f

Primeiro passo:

100% da energia teórica do SPT \longrightarrow 478,2 j

X (% da energia teórica do instrumento em relação ao SPT) \longrightarrow 294,6 j

Logo, $X = 61.6 \%$

Segundo passo:

Magalhão (2015) considera como E_f 72% da energia teórica do SPT para determinar N_{60} , tomando em conta essa consideração teremos:

100% \longrightarrow 294,6 j

72% \longrightarrow X; logo, $X = 217,1 \text{ j}$

Terceiro passo:

294,6 j \longrightarrow 61,6 %

217,1 j \longrightarrow E_f ; logo, $E_f = 44,4 \%$

Uma vez que $E_f = 44.4$, então, $N_{60} = N \frac{44,4}{60} = N * 0,74$

3.2.2. Ensaio laboratoriais

Após terem sido obtidas as amostras na sondagem a percussão, foram acondicionadas em sacos plásticos e devidamente etiquetados, e posteriormente levadas ao laboratório para os ensaios efectuados, nomeadamente: determinação de humidade da areia, preparação das amostras para determinação da granulometria (determinação do teor de carbonato e do teor da matéria orgânica) e determinação da granulometria. Estes ensaios foram realizados em todas as amostras.

3.2.2.1. Teor de humidade (W)

O ensaio da determinação de humidade foi realizado no laboratório de solos da ESCMC, foram usadas três capsula para cada amostras e depois calculou-se a média dos valores do teor de humidade (w) entre as três capsulas, e assim considerou-se a média por amostra como o valor de w.

O w foi determinado fazendo-se a correspondência percentual da diferença dos pesos do material entre o estado húmido e seco, como está representado abaixo:

Solo seco (g) \longrightarrow 100%

Água (g) \longrightarrow W (%) $w(\%) = \frac{\text{Água (g)} \times 100\%}{\text{solo seco (g)}}$ (Equação 5)

Onde: Água (g) = solo húmido (g) – Solo seco (g)

As massas do material sedimentar tanto no estado húmido como no seco e as taras foram mensuradas directamente através duma balança analítica de precisão 0.0001, e os valores das diferenças, das médias e das percentagens foram efectuadas através do programa Microsoft Excel-2010 (tabela 4).

Tabela 4: Exemplo de ensaios do teor da humidade – PA

Sub-amostra	Tara (g)	Solo húmido + tara (g)	Solo seco + tara (g)	Solo seco (g)	Água (g)	Teor de humidade (%)	Média (%)
A1-a	3.35	32.78	31.65	28.30	1.13	3.99	3.79
A1-b	3.40	33.10	32.11	28.71	0.99	3.45	
A1-c	3.38	31.39	30.33	26.95	1.06	3.93	
A2-a	3.30	34.17	32.75	29.45	1.42	4.82	4.39
A2-b	3.39	34.39	33.12	29.73	1.27	4.27	
A2-c	3.45	34.86	33.63	30.18	1.23	4.08	
A3-a	3.14	34.61	31.95	28.81	2.66	9.23	9.03
A3-b	3.36	32.88	30.48	27.12	2.40	8.85	
A3-c	3.35	30.23	28.01	24.66	2.22	9.00	
A4-a	3.37	37.50	33.64	30.27	3.86	12.75	12.27
A4-b	3.37	36.80	33.20	29.83	3.60	12.07	
A4-c	3.36	35.14	31.74	28.38	3.40	11.98	
A5-a	3.36	44.15	36.99	33.63	7.16	21.29	21.18
A5-b	3.36	45.66	38.24	34.88	7.42	21.27	
A5-c	3.36	43.42	36.47	33.11	6.95	20.99	
A6-a	3.40	48.13	39.63	36.23	8.50	23.46	23.25
A6-b	3.35	49.97	41.06	37.71	8.91	23.63	
A6-c	3.37	45.28	37.54	34.17	7.74	22.65	

3.2.2.2. Eliminação de carbonato

O ataque de carbonato foi efectuado no laboratório de solos da ESCMC através dum procedimento químico pela solução de ácido clorídrico nas amostras. Segundo Nunes (2014) os fragmentos de conchas contidos nas amostras são ricas em CaCO_3 , daí que a reacção com o HCl formar-se CaCl_2 e H_2CO_3 e por sua vez apresenta-se no estado aquoso em H_2O liberando CO_2 . (Nunes, 2014).

Para tal, misturou-se uma fracção de 120 ml de HCl com 880ml de água destilada e depois se pôs a reagir nas amostras durante 24h, notou-se uma efervescência moderada pouco após a mistura. Depois da reacção foram por 3 vezes lavadas as amostras com água destilada e se pôs a secar a uma temperatura de 60° c por 24h.

3.2.2.3. Eliminação da matéria orgânica (MO)

Segundo LacCore (2013), a preparação das amostras para eliminação do teor da MO pode se efectuar através de ignição a uma temperatura de 550°c por 4h.

No entanto, para esta pesquisa usou-se esse princípio de tratamento mas tendo sido mudada a temperatura e o tempo, por razões da estufa disponível aceitar limite máximo de temperatura de 250° c, assim sendo, efectuou-se a seguinte correspondência: se 4h x 550°c = temperatura necessária para eliminar MO, então qual seria “a” para o seguinte caso: ah x 250°c = temperatura necessária para eliminar MO. As designações acima descritas podem ser expressas da seguinte forma matemática:

4h x 550°c = ah x 250°c (equação 6) , determinando a teremos:

$$a = \frac{4h \times 550^{\circ}\text{c}}{h \times 250^{\circ}\text{c}} = \frac{2200}{250} = 8.8 \approx 9 \quad (\text{Equação 7})$$

Logo, usou-se 9h a 250°c para ignizar a MO.

3.2.2.4. Análise granulométrica

Para a determinação da granulometria da areia usou-se uma fracção representativa de aproximadamente 20g para cada amostra, foram usados peneiros com malhas de abertura de 0,038 mm, 0.063 mm, 0.125 mm, 0.200 mm e 0.250 mm, de menor a maior respectivamente. O ensaio granulométrico realizou-se no laboratório de engenharia do ISHCT, após terem sido removidas as impurezas de carbonato e matéria orgânica para evitar que tais impurezas interferissem nos resultados granulométricos.

Os peneiros posicionavam-se em ordem crescente de baixo para cima e as amostras colocavam-se no peneiro de cima (de maior malha) e começava-se o peneiramento manual durante um minuto, em seguida pesava-se a fracção retida em cada peneiro (tabela 5).

Tabela 5: Exemplo de ensaios granulométricos – A1

Amostra: A1			Localização: Praia de Zalala			
Data de Coleta: 04/07/2018			Data do ensaio: 17/08/2018			
Peso total (g): 20		Carbonato (%): 1.25		MO (%): 0.15		
Peso total após a eliminação da fracção de carbonatos (g) e MO (g): 19.72 g						
(mm)	(φ)	Teixeira <i>et. al</i>	Peso (g)	Peso ac. (g)	(%)	Acumulado (%)
0.224	2.16	Areia fina	0.01	0.01	0.05	0.05
0.200	2.32	Areia fina	0.03	0.04	0.16	0.21
0.125	3.00	Areia fina	7.04	7.08	36.76	36.97
0.063	3.99	Areia muito fina	11.53	18.61	60.21	97.18
0.038	4.72	Silte grosso	0.54	19.15	2.82	100.00
Total (g): 19.15						
Perda (g): 0.57			Perda (%) 2.89			

3.2.2.4.1. Determinação dos parâmetros da distribuição do tamanho do grão

O coeficiente de uniformidade (C_u) e o coeficiente de curvatura (C_c) são os parâmetros que foram determinados para analisar a distribuição de grão da areia da praia de Zalala, e nas equações 1 e 2 (equação de C_u e de C_c) tem as incógnitas D_{10} , D_{30} e D_{60} que são percentil 10, 30 e 60, respectivamente. Esses percentis foram determinados pela seguinte equação:

$$D_n = l_{D_n} + \left[\frac{\frac{n \cdot \sum f_i}{100} - F_{ant}}{f_{D_n}} \right] \cdot a_{D_n} \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

$$\frac{n \cdot \sum f_i}{100} = \text{posição da classe que contém o percentil}$$

n = número da ordem do percentil

$\sum f_i$ = peso total da amostra (em g)

l_{D_n} = limite inferior da classe do percentil considerado

F_{ant} = peso acumulado da classe anterior da classe do percentil considerado

a_{D_n} = amplitude do intervalo da classe do percentil considerado

f_{D_n} = peso da fracção da classe do percentil considerado

3.3. Materiais

Tabela 6: Materiais usados em campo, laboratório e programas de software.

Material usado em campo	Material e reagentes usados em laboratório	Programas de software
GPS	Água destilada	ArcGIS
Sacos plásticos	Ácido clorídrico	Google Earth
Cabeça de bater	Taras de alumínio	Bit map image
7 tubos do tipo pvc	Estufa – binder 250° c	Microsoft Office – 2010
Máquina fotográfica	5 peneiros granulométricos	
Martelo padronizado	Balança analítica de precisão 10^{-4}	



Figura 11: peneiramento.



Figura 12: Balança – 10^{-4} g.



Figura 13: peneiros.

4. RESULTADOS

Neste capítulo estão apresentados os resultados de alguns dos parâmetros mais úteis em Geotecnia para aplicação de projectos de Engenharia Civil, que são: análise granulométrica, índice de resistência a penetração do solo e classificação hídrica do solo.

4.1. Análise granulométrica

4.1.1. Classificação textural

Os resultados da classificação textural estão apresentados através das tabelas 7 e 8 dos perfis A e B, respectivamente, para todas as profundidades.

Tabela 7: Classificação do solo segundo a granulometria dos sedimentos – perfil A.

Símbolo do solo e sua percentagem (%)	Solo	Percentagem (%)	Classificação
Amostra A1 (0.30m)			
A (36.97)	Areia fina	0.05	Areia muito fina
	Areia fina	0.16	
	Areia fina	36.76	
A' (60.21)	Areia muito fina	60.21	
S (2.82)	Silte grosso	2.82	
Amostra A2 (0.60m)			
A (34.33)	Areia fina	0.05	Areia muito fina
	Areia fina	0.20	
	Areia fina	34.08	
A' (62.26)	Areia muito fina	62.26	
S (3.41)	Silte grosso	3.41	
Amostra A3 (0.90m)			
A (38.46)	Areia fina	0.05	Areia muito fina
	Areia fina	0.31	
	Areia fina	38.10	
A' (59.38)	Areia muito fina	59.38	
S (2.15)	Silte grosso	2.15	
Amostra A4 (1.2m)			
A (40.86)	Areia fina	0.10	Areia muito fina
	Areia fina	0.26	
	Areia fina	40.50	
A' (57.11)	Areia muito fina	57.11	
S (2.02)	Silte grosso	2.02	

Amostra A5 (1.5m)			
A (43.71)	Areia fina	0.05	Areia muito fina
	Areia fina	0.36	
	Areia fina	43.30	
A' (55.36)	Areia muito fina	55.36	
S (0.92)	Silte grosso	0.92	
Amostra A6 (1.8m)			
A (51.64)	Areia fina	0.26	Areia fina
	Areia fina	1.30	
	Areia fina	50.08	
A' (47.84)	Areia muito fina	47.84	
S (0.52)	Silte grosso	0.52	

Tabela 8: Classificação do solo segundo a granulometria dos sedimentos – perfil B.

Símbolo do solo e sua percentagem (%)	Solo	Percentagem (%)	Classificação
Amostra B1 (0.30m)			
A (36.84)	Areia fina	0.31	Areia muito fina
	Areia fina	0.05	
	Areia fina	36.48	
A' (60.77)	Areia muito fina	60.77	
S (2.40)	Silte grosso	2.40	
Amostra B2 (0.60m)			
A (31.45)	Areia fina	0.21	Areia muito fina
	Areia fina	0.47	
	Areia fina	30.77	
A' (62.82)	Areia muito fina	62.82	
S (5.74)	Silte grosso	5.74	
Amostra B3 (0.90m)			
A (54.66)	Areia fina	0.21	Areia fina
	Areia fina	0.37	
	Areia fina	54.08	
A' (44.51)	Areia muito fina	44.51	
S (0.84)	Silte grosso	0.84	
Amostra B4 (1.2m)			
A (50.10)	Areia fina	0.15	Areia fina
	Areia fina	0.93	
	Areia fina	49.02	
A' (47.01)	Areia muito fina	47.01	
S (2.89)	Silte grosso	2.89	
Amostra B5 (1.5m)			
A (51.89)	Areia fina	0.31	Areia fina
	Areia fina	1.40	
	Areia fina	50.18	
A' (47.06)	Areia muito fina	47.06	
S (1.04)	Silte grosso	1.04	

Amostra B6 (1.8m)			
A (61.20)	Areia fina	0.56	Areia fina
	Areia fina	3.00	
	Areia fina	57.64	
A' (38.34.)	Areia muito fina	38.34	
S (0.46)	Silte grosso	0.46	
Amostra B7 (2.1m)			
A (66.55)	Areia fina	2.20	Areia fina
	Areia fina	5.54	
	Areia fina	58.81	
A' (33.14)	Areia muito fina	33.14	
S (0.31)	Silte grosso	0.31	

4.1.2. Distribuição do tamanho do grão

As figuras 14 e 15 representam as curvas granulométricas, e estas ilustram melhor o comportamento da distribuição do tamanho dos sedimentos da praia de Zalala.

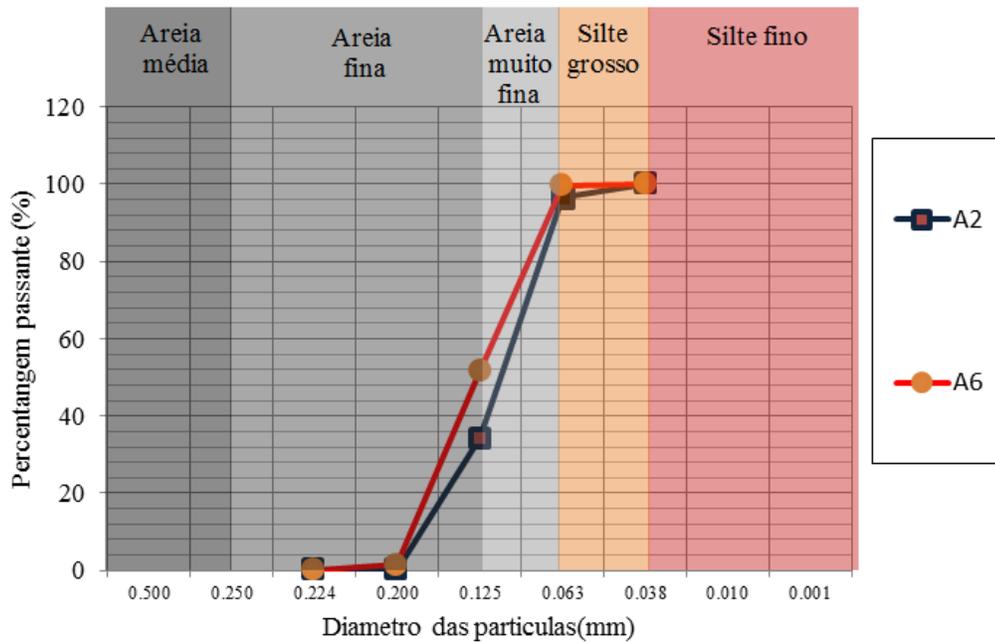


Figura 14: Curvas granulométricas – PA.

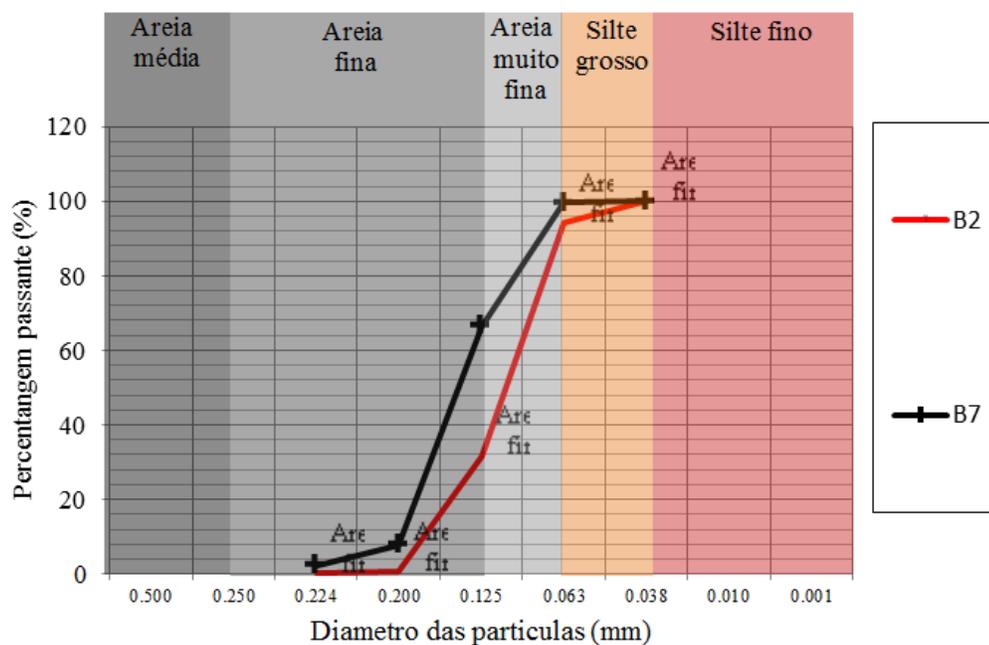


Figura 15: Curvas granulométricas – PB.

A tabela 9 apresenta os valores obtidos de D10, D30, D60 e dos parâmetros da distribuição granulométrica: coeficiente de uniformidade (C_u) e o coeficiente de curvatura (C_c), esses resultados são de todas amostras ensaiadas.

Tabela 9: Resultados dos parâmetros da distribuição granulométrica – perfis A e B.

Perfil	Profundidade (m)	D10 (mm)	D30 (mm)	D60 (mm)	C_u	C_c
A	0.3	0.070	0.091	0.122	1.731	0.965
	0.6	0.070	0.089	0.119	1.716	0.964
	0.9	0.071	0.092	0.123	1.733	0.965
	1.2	0.072	0.093	0.127	1.767	0.961
	1.5	0.073	0.096	0.132	1.797	0.950
	1.8	0.075	0.101	0.142	1.892	0.955
B	0.3	0.071	0.091	0.122	1.721	0.965
	0.6	0.067	0.087	0.117	1.734	0.965
	0.9	0.076	0.104	0.145	1.918	0.975
	1.2	0.072	0.099	0.140	1.941	0.959
	1.5	0.075	0.101	0.143	1.909	0.958
	1.8	0.078	0.111	0.153	1.946	1.025
	2.1	0.081	0.119	0.159	1.958	1.090
Média	–	0.073	0.098	0.134	1.828	0.977

4.2. Índice de resistência a penetração

As tabelas 10 e 11 apresentam as classificações das camadas (em cada 45 cm) até 1,8 m de profundidade para PA e 1,65 m para PB quanto ao índice de resistência a penetração e a sua correlação com a tensão admissível, o N foi corrigido para N_{60} , e foram considerados e adicionados os valores de N_{60} dos últimos 30 cm em cada camada (de 45 cm).

Tabela 10: Estado de compactação do solo da praia de Zalala e sua correlação com tensão admissível – perfil A.

Profundidade (m)	N	N_{60}	ΣN_{60}	Designação	Tensão admissível (kg/cm ²)
0.15					
0.30	2	1	5	Pouco compacto	1,0-2,0
0.45	4	4			
0.60					
0.75	4	3	6	Pouco compacto	1,0-2,0
0.90	4	3			
1.05					
1.20	6	4	8	Pouco compacto	1,0-2,0
1.35	5	4			
1.50					
1.65	5	4	7	Pouco compacto	1,0-2,0
1.80	4	3			

Tabela 11: Estado de compactidade do solo da praia de Zalala e sua correlação com tensão admissível – perfil B.

Profundidade (m)	N	N₆₀	Σ N₆₀	Designação	Tensão admissível (kg/cm²)
0.15					
0.30	3	2	5	Pouco compacto	1,0-2,0
0.45	4	3			
0.60					
0.75	4	3	6	Pouco compacto	1,0-2,0
0.90	4	3			
1.05					
1.20	5	4	10	Mediamente compacto	2,0-4,0
1.35	8	6			
1.50				Mediamente compacto	
1.65	13	10	10		2,0-4,0

4.3. Teor de humidade

Observam-se na tabela 12 os resultados do teor de humidade em percentagem. A tabela apresenta apenas resultados das primeiras três amostras (0.90m de profundidade).

Tabela 12: Teor de humidade dos primeiros 90 cm – perfis A e B.

Profundidade (m)	W (%) - Perfil A	W (%) - Perfil B
0.3	3.79	6.58
0.6	4.39	10.55
0.9	9.03	18.67
Média	5.74	11.74

5. DISCUSSÃO

5.1. Classificação textural

As tabelas 7 e 8 mostram claramente como é que os sedimentos da praia de Zalala se classificam textualmente nos primeiros 2.1 m de profundidade, sendo que foram constatadas duas variedades de areia, areia muito fina e areia fina, com maior predominância de areia muito fina no PA e maior predominância de areia fina no PB, isto é, no PA verificou-se predominância de areia muito fina nos primeiros 1,5 m e areia fina apenas na profundidade de 1,8 m ao passo que o PB verificou-se predominância de areia muito fina nos primeiros 0.60 m e areia fina a partir da profundidade de 0,60 m a 2.1 m; o facto em comum nos dois perfis é a tendência de aumentar o tamanho do grão dos sedimentos em função da profundidade.

De acordo com Kitamura (2004), os solos de textura arenosa possuem uma taxa de humidade menor, e por sua vez Santos, *et. al.*(2015) afirmam que os solos de menor taxa de humidade se tornam adequados para implantação de infra-estruturas. Mas no entanto, os resultados do teor de humidade para PB da praia de Zalala demonstram um facto contrário, isto é, os resultados de W para esse perfil revelam tratar-se de um solo com taxa de humidade média e não menor, apesar de se tratar dum solo de textura arenosa, como fora afirmado por Kitamura (2004).

5.2. Parâmetros da distribuição do tamanho de grão

Os gráficos das figuras 14 e 15 das curvas acumuladas deixam clara a situação da distribuição granulométrica da praia de Zalala, pois a partir duma simples observação é possível notar que essas curvas tendem a ser verticais. Ora, Souza e Bastos (2015) afirmam que as curvas granulométricas apresentam-se quase verticais em situações de C_u ser aproximadamente a 1 (que significa solo que não apresenta muitas variedades do tamanho do grão, ou simplesmente solo uniforme); e o C_c encontra-se fora do intervalo de 1 a 3, isto é, $C_c < 1$ ou $C_c > 3$ (que significa solo descontínuo ou muito uniforme, respectivamente, ou simplesmente solo mal graduado).

Fazendo uma observação da tabela 9, verificam-se os valores de C_u variando entre 1.716 a 1.958 (valores próximos de 1), que conferem tratar-se dum solo uniforme, de acordo com Souza e Bastos (2015), e em relação ao C_c verificou-se um valor médio de 0.977 (valor menor que 1), o que confere tratar-se de solo mal graduado, ou por outra, solo descontínuo.

Sérgio (2011) afirma que um solo bem graduado apresenta uma distribuição granulométrica favorável para a engenharia, ou seja, para implantação de infra-estruturas, e um solo bem graduado significa que o seu C_u é maior que 5 (solo não uniforme) e ao mesmo tempo o C_c deve se encontrar nos valores do intervalo de 1 a 3 (solo bem graduado). E a praia de Zalala apresenta C_u menor que 5 e C_c 1, o que significa que o solo da praia de Zalala é mal graduado.

5.3. Índice de resistência a penetração

Não foi verificada uma diversidade do solo em relação ao índice de resistência a penetração para o PA, este perfil apresenta pequena variação do N_{60} (de 5 a 8) nas diferentes camadas ao longo da profundidade (tabela 10), que tal variação compete a um solo pouco compacto. Ao passo que o PB apresenta duas variedades de compactidade, nos primeiros 90 cm de profundidade as camadas são pouco compactas (variando de 5 a 6 N_{60}) e as camadas de 0,9-1,65 m de profundidade são mediantemente compactas.

O passo mais importante num projecto de fundação consiste em determinar a maior tensão que pode ser aplicada no solo sem causar ruptura ou recalques excessivos (Ruver, 2005). Portanto, os resultados obtidos de N fornecem a correlação com a tensão admissível ou máxima sem causar ruptura ou recalques excessivos ao solo da praia de Zalala, sendo que às camadas pouco compacto cabe um máximo de tensão que varia de 1 a 2 kg/cm^2 e às camadas mediantemente compactas cabe um máximo de tensão que varia de 2 a 4 kg/cm^2 .

5.4. Teor de humidade

Pode se notar que a tabela 12 apresenta resultados do teor de humidade dos primeiros 0.9 m e não 2.1 m (o que corresponde a profundidade estudada no presente trabalho), esse facto é pela razão da classificação hídrica do solo apenas ser baseada nos primeiros 70 cm, conforme Leal (2011) afirma.

Constatou-se uma média de W igual a 5,74% no PA, o que significa tratar-se de solo com baixa taxa de humidade, e uma média de W igual a 11,74%, o que significa tratar-se de solo com uma taxa de humidade média. Em relação ao PB era de se esperar que o solo fosse de menor taxa de humidade pelo facto de se tratar dum solo arenoso, conforme Kitamura (2004) realça, e esta controvérsia pode se explicar pelo facto do PB ter sido efectuado pouco depois de ter chovido.

6. CONCLUSÃO

O estudo geotécnico é responsável em dar respostas sobre a eficiência dum determinado solo para ser implantado sobre ele uma determinada infra-estrutura, porém, não é apenas um parâmetro geotécnico que vai determinar a sua eficiência, mas sim através duma combinação de análises de tantos parâmetros geotécnicos quantos forem analisados, para tal, os resultados dos parâmetros analisados no presente trabalho, permitem concluir sobre a praia de Zalala de acordo com cada parâmetro o seguinte:

- O índice de resistência a penetração revela que o solo litoral da praia de Zalala não possui capacidades de suportar tensão maior que 4 kg/m^2 .
- Em relação a distribuição granulométrica, o C_u é menor que 5, o que significa tratar-se de solo uniforme, e o C_c é menor que 1, o que significa tratar-se dum solo descontínuo, portanto, essas duas propriedades que os sedimentos da praia de Zalala apresentam conferem o facto de o solo ser mal graduado, e esta propriedade significa fraco entrosamento entre os grãos, que resulta na ineficiência do solo para serem implantadas determinadas infra-estruturas;
- E por último sobre a classificação do solo quanto ao teor de humidade. Os perfis analisados na praia de Zalala (PA e PB) apresentam menor taxa e taxa média de humidade, o que significou que esta variação de taxa de humidade favorece a implantação de infra-estruturas sobre esse solo.

7. RECOMENDAÇÕES

Para estudo geotécnico mais rico de parâmetros geotécnicos da praia de Zalala, recomenda-se que se dê continuidade de pesquisa de mais parâmetros geotécnicos, tais como:

- Densidade real dos sedimentos;
- Composição química dos sedimentos;
- Diâmetro efectivo em relação a distribuição granulométrica; e
- Porosidade do solo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Costa, C. N. (2006). *Disciplina de Fundamentos de Geotecnia*. 24p. Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia. Lisboa.

Dias, J. A. (2004). *A análise Sedimentar e o Conhecimento dos Sistemas Marinhos*. 80p.

Goldbach, R. (2016). *Caracterização Geotécnica da Areia da Praia de Copacabana a Partir de Ensaio de Campo*. 208p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ.

Holtz, R. D. e Kovacs, W. D. (1981). *Geotechnical Engineering*. 733p. Englewoods Cliffs. Prentice Hall

INE (Instituto Nacional de Estatísticas). (2007).

Kitamura, A. E. (2004). *Inter-Relações da Variabilidade Espacial da Granulometria do Solo e a Produtividade do Feijoeiro sob Plantio Direto*. 109p. Dissertação de Mestrado em Agronomia. Faculdade de Engenharia. Campus de Ilhas Sltieras. São Paulo-Brasil

LacCore (National Lacustrine Core Facility). (2013). *Loss-on-Ignition Standard Operating Procedure*

Leal, I. F. (2011). *Classificação e Mapeamento Físico-Hídricos de Solos do Assentamento Agrícola Sebastião Lan II*, Silva Jardim – RJ. 122p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. COPPE-UFRJ

Magalhães, M. S. (2015). *Dimensionamento de Estruturas de Contenção Atirantadas Utilizando Os Métodos De Equilíbrio Limite E De Elementos Finitos*. 186p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Manjate, E. T. (2017). *Caracterização Morfológica e Sedimentar da Praia de Zalala-Quelimane*. 26p. Tese de Licenciatura, UEMESCMC. Quelimane.

Marangon, M. (2013). *Capacidade de Carga dos Solos*. 20p. Mecânica dos Solos II. Universidade Federal de Juiz de Fora-UFJF-Brasil.

- Mariane, A. (2013). *Construção Mercado, Negócio de Incorporação e Construção*. Disponível em: <http://www.construcaomercado17.pini.com.br/negociosincorporacao-construcao/> Acesso em: Outubro de 2018.
- Medina, H. F. A. F. (2007). *Interpretação de Ensaios de Piezocone Utilizando Conceitos de Similaridade*. 198p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. UENF-RJ
- Nunes, V. P. (2014). *Ensaio De Caracterização Geotécnica Da Areia Da Praia De Itaipuaçu*. 148p. Projecto de graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Ruver, C. A. (2005). Determinação do Comportamento Carga-Recalque de Sapatas em Solos Residuais a Partir de Ensaio SPT. 179p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. UFRGS-RJ
- Santos, J. N. *et al.* (2015). *Análise do Teor de Umidade dos Solos para Construção Civil na Cidade de Mossoró-RN*. 4p
- Sérgio, P. (2011). *Solos Granulares*. Rio de Janeiro
- Souza, J. S. e Bastos, C. W. M. (2015). *Mecânica dos Solos*. 31p. Brasília. NT Editora
- Teixeira, W. Fairchild, T. R. Toledo, M. C. M. Taioli, F. (2009). *Decifrando a Terra*. 2ª edição. 528p. São Paulo. Companhia Editora Nacional.
- Veiga, A. Q. N (2011). *Caracterização Geotécnica Dos Terrenos Do Vale Tifónico Parceiros-Leiria*. 331p. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Geológica, Universidade de Coimbra.
- Veloso, J. F. (2001). *Considerações Sobre A Análise Granulométrica de Sedimentos Praiais*. 107p. Tese de Mestrado em Engenharia Oceânica. Universidade Federal Do Rio De Janeiro
- Verruijt, A. (2001). *Soil Mechanics*. 336p. Delft University of Technology.
- Victória, S. M. D. M. S (2012). *Caracterização Geológica e Geotécnica das Unidades Litológicas da Cidade da Praia (Santiago, Cabo Verde)*. 315p. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Geológica, Universidade de Coimbra.

ANEXOS

1. Exemplo de ensaio para determinação dos percentis – A1.

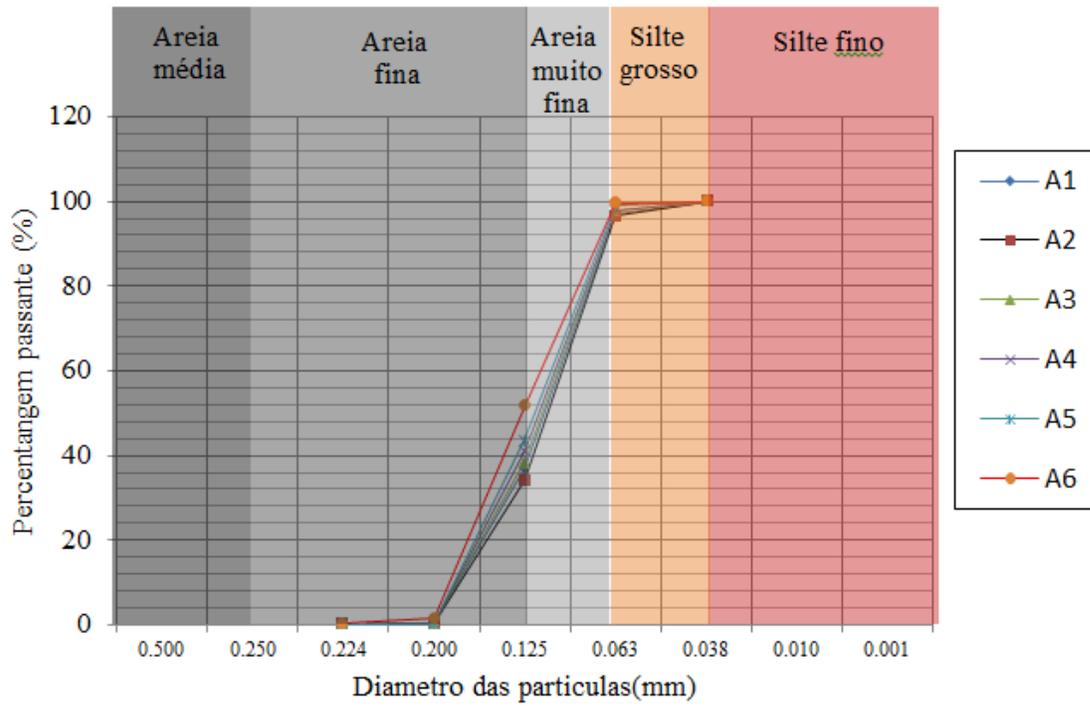
Amostra: A1			Localização: Praia de Zalala			
Data de Coleta: 04/07/2018			Data do ensaio: 17/08/2018			
Peso total (g): 20		Carbonato (%): 1.25		MO (%): 0.15		
Peso total após a eliminação da fração carbonática (g) e MO (g): 19.72						
(mm)	(ϕ)	Teixeira <i>et. al</i>	Peso (g)	Peso ac. (g)	(%)	Acumulado (%)
0.224	2.16	Areia fina	0.01	0.01	0.05	0.05
0.200	2.32	Areia fina	0.03	0.04	0.16	0.21
0.125	3.00	Areia fina	7.04	7.08	36.76	36.97
0.063	3.99	Areia muito fina	11.53	18.61	60.21	97.18
0.038	4.72	Silte grosso	0.54	19.15	2.82	100.00
Total (g): 19.15						
Perda (g): 0.57			Perda (%) 2.89			

I	Diâmetro (mm)	Peso em g (f _i)	Peso acumulado (F _i)
1	0.038 0.063	0.54	0.54
2	0.063 0.125	11.53	12.07
3	0.125 0.200	7.04	19.11
4	0.200 0.250	0.03	11.14
5	0.250 + ∞	0.01	19.15
		$\Sigma = 19.15$	

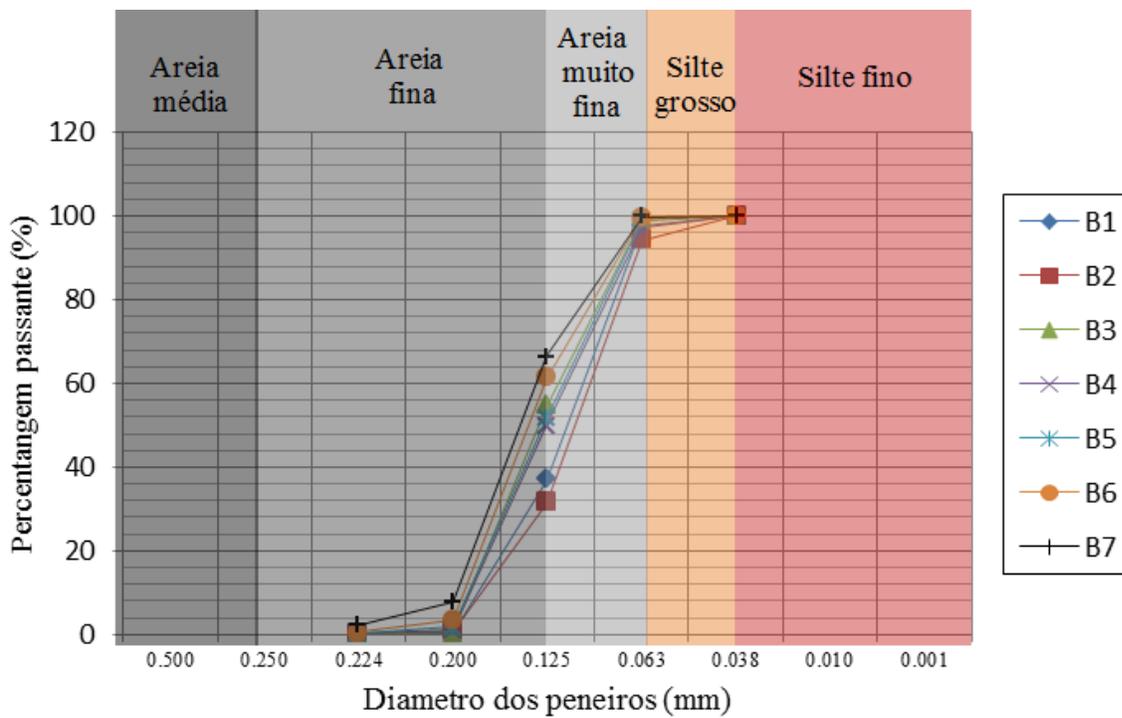
Calculando D₁₀, teremos:

$$P_{76} = l_{P_{46}} + \left[\frac{10 \times 19.15}{100} - F_{ant} \right] \cdot a = 0.063 + \left[\frac{1.92 - 0.54}{11.53} \right] \cdot 0.070 \text{ mm}$$

2. Curvas granulométricas – PA



3. Curvas granulométricas – PA



4. Teor de humidade – perfil A

sub-amostra	Tara (g)	Solo umido + tara (g)	Solo seco + tara (g)	Solo seco (g)	Agua (g)	Teor de humidade (%)	Media (%)
A1-a	3.35	32.78	31.65	28.30	1.13	3.99	3.79
A1-b	3.40	33.10	32.11	28.71	0.99	3.45	
A1-c	3.38	31.39	30.33	26.95	1.06	3.93	
A2-a	3.30	34.17	32.75	29.45	1.42	4.82	4.39
A2-b	3.39	34.39	33.12	29.73	1.27	4.27	
A2-c	3.45	34.86	33.63	30.18	1.23	4.08	
A3-a	3.14	34.61	31.95	28.81	2.66	9.23	9.03
A3-b	3.36	32.88	30.48	27.12	2.40	8.85	
A3-c	3.35	30.23	28.01	24.66	2.22	9.00	
A4-a	3.37	37.50	33.64	30.27	3.86	12.75	12.27
A4-b	3.37	36.80	33.20	29.83	3.60	12.07	
A4-c	3.36	35.14	31.74	28.38	3.40	11.98	
A5-a	3.36	44.15	36.99	33.63	7.16	21.29	21.18
A5-b	3.36	45.66	38.24	34.88	7.42	21.27	
A5-c	3.36	43.42	36.47	33.11	6.95	20.99	
A6-a	3.40	48.13	39.63	36.23	8.50	23.46	23.25
A6-b	3.35	49.97	41.06	37.71	8.91	23.63	
A6-c	3.37	45.28	37.54	34.17	7.74	22.65	

5. Teor de humidade – perfil B

sub-amostra	Tara (g)	Solo umido + tara (g)	Solo seco + tara (g)	Solo seco (g)	Agua (g)	Teor de umidade (%)	Media (%)
B1-a	3.36	38.7	36.46	33.1	2.24	6.77	6.58
B1-b	3.37	41.03	38.8	35.43	2.23	6.29	
B1-c	3.37	39.66	37.39	34.02	2.27	6.67	
B2-a	3.39	42.52	38.84	35.45	3.68	10.38	10.55
B2-b	3.40	45.79	41.76	38.36	4.03	10.51	
B2-c	3.35	47.78	43.46	40.11	4.32	10.77	
B3-a	3.37	41.99	35.97	32.60	6.02	18.47	18.67
B3-b	3.38	47.58	40.63	37.25	6.95	18.66	
B3-c	3.38	44.12	37.65	34.27	6.47	18.88	

B4-a	3.38	52.54	44.53	41.15	8.01	19.47	
B4-b	3.40	53.14	46.30	42.90	6.84	15.94	17.02
B4-c	3.35	53.04	46.32	42.97	6.72	15.64	
B5-a	3.36	56.10	47.54	44.18	8.56	19.38	
B5-b	3.38	47.13	39.00	35.62	8.13	22.82	21.71
B5-c	3.36	46.00	38.05	34.69	7.95	22.92	
B6-a	3.40	50.72	41.89	38.49	8.83	22.94	
B6-b	3.36	50.02	41.33	37.97	8.69	22.89	22.96
B6-c	3.37	53.24	43.90	40.53	9.34	23.04	
B7-a	3.38	50.77	41.91	38.53	8.86	23.00	
B7-b	3.40	46.10	38.34	34.94	7.76	22.21	22.79
B7-c	3.37	50.17	41.37	38.00	8.80	23.16	