



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE CRATEÚS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MARIA ZILDA CHAVES MARTINS

**CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DO SOLO DO CAMPO
EXPERIMENTAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ – CAMPUS
CRATEÚS**

CRATEÚS

2022

MARIA ZILDA CHAVES MARTINS

CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DO SOLO DO CAMPO EXPERIMENTAL DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ – CAMPUS CRATEÚS

Trabalho de conclusão do curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia Civil do Campus de Crateús
da Universidade Federal do Ceará, como
requisito parcial à obtenção Grau de
Bacharelado em Engenharia Civil

Orientador: Prof. Me. Marcio Avelino de
Medeiros

CRATEÚS

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)

- M344c Martins, Maria Zilda Chaves.
Caracterização geotécnica do solo do campo experimental da Universidade Federal do
Ceara – Campus Crateús / Maria Zilda Chaves Martins – 2022.
39 f.: il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de
Crateús, Curso de Engenharia Civil, Crateús, 2022.
Orientação: Prof. Me. Marcio Avelino de Medeiros.
1. Caracterização Geotécnica. 2. Ensaio de Laboratório. 3. Campo Experimental. I. Título.
CDD 620
-

MARIA ZILDA CHAVES MARTINS

CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DO SOLO DO CAMPO EXPERIMENTAL DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ – CAMPUS CRATEÚS

Trabalho de conclusão do curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia Civil do Campus de Crateús
da Universidade Federal do Ceará, como
requisito parcial à obtenção Grau de
Bacharelado em Engenharia Civil

Orientador: Prof. Me. Marcio Avelino de
Medeiros

Aprovada em: 12/12/2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Marcio Avelino de Medeiros (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Me. Thiago Fernandes da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Me. Weber Anselmo dos Ramos Souza
Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (UQAT)

Ao meu grande amigo, Sr. Raimundo

Galdino da Silva.

(in memoriam)

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e amor que sempre demonstrou por mim, pois toda fé Nele depositada, de alguma forma sempre foi retribuída, e não seria diferente na conclusão deste trabalho. O Senhor me guiou, orientou, por fim, me capacitou e tornou possível a realização deste sonho.

Aos meus pais, Nildete e Neto, que são a base da minha vida e meus maiores exemplos, que sempre me criaram, ensinando-me valores e princípios fundamentais para minha vida. A minha vida inteira é dedicada a vocês. E essa que é, até aqui, minha maior realização pessoal, ela é inteiramente dedicada a vocês.

A Universidade Federal do Ceará, a prefeitura do Campus e ao Programa de Assistência Estudantil (CAE), pela estrutura, disposição, apoio, auxílio financeiro e oportunidade de estudo.

Aos coordenadores do Laboratório de Mecânica dos Solos do IFCE - Campus Crateús, Prof. Eduardo, e do Laboratório de Geologia da UFC - Campus Crateús, Prof. Diones. Ao técnico de laboratório, Wolker, pelo tempo, suporte e apoio concedido para a realização dos ensaios.

Ao Samuel Siqueira, por todo apoio demonstrado ao longo de todo o período em que me dediquei a este trabalho.

Agradeço o meu Orientador, Prof. Me. Marcio Avelino, por me guiar durante a fundamentação e construção deste trabalho e a banca examinadora por avaliar e mostrar sugestões que enriquecera mais ainda esse trabalho.

Agradeço a todos os meus amigos que contribuíram de certa forma para que eu pudesse ter chegado aqui. Em especial Simone Martins, Luciane Martins, Luciana Silva, Mauricio Martins e Fernanda Gomes.

A minha família, por sempre acreditar no meu potencial, me apoiando e me dando forças em todos os momentos. Em especial aos meus tios Raimundo e Luziene e seus filhos (meus primos) Luis Carlos, Mauro Martins, Marcos Martins, Vitor Martins e minha madrinha e maior inspiração Iara Martins.

As amigas cultivadas na UFC, que direta ou indiretamente fizeram a diferença em minha vida. Aos colegas de turma, que vivenciaram risadas, conversas, superações, noites intermináveis de estudo e com certeza muitas realizações, em especial aos amigos: José Mota, Felipe Sousa, Jenilson Rodrigues, Jailson Sampaio, Giovanna Mota, Hillary Silvério e Isadora Sena.

Deixo meu agradecimento a Juliane Alves, Gabrielly Calista (as Calangas), Marianne Farias, Michele Pontes (as tapadas), Carolina Mesquita, Veronica Nascimento, Daniele Saboya, Vitoria Mesquita, Michelly Alves e Camila Mesquita (Girls from Crateús) que durante minha graduação dividiram comigo bons momentos, que me ajudaram sempre que precisei e que estarão sempre na lembrança. Obrigada pela convivência.

Paro por aqui! Nem que eu tivesse um número de páginas que seguissem uma função $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1}{x}$ eu conseguiria expressar minha gratidão a todos que de alguma maneira contribuíram na minha jornada da graduação e por isso peço desculpa se deixei de citar alguém.

*“Tal como o ferro oxida com a falta de
uso, também a inatividade destrói o
intelecto.”*

Leonardo Da Vinci

RESUMO

Este trabalho apresenta a caracterização e classificação dos solos, a partir da realização de ensaios, do Campo Experimental da Universidade Federal do Ceará – Campus Crateús. Para obtenção do conhecimento do solo em estudo é realizado estudo geotécnico, que contempla a execução de ensaios de laboratório. Em todas as obras é necessário prever o comportamento dos solos, tendo em vista que qualidade das obras de engenharia depende do conhecimento das condições do subsolo, sendo indispensável para projetos seguros e econômicos, com o objetivo de contribuir para seu uso como material de construção e em pavimentação (camadas de base e/ou sub-base). A metodologia de trabalho consiste na realização de ensaios de caracterização geotécnica, para determinar características do material quanto à granulometria, consistência e ensaio de compactação para discutir seu uso como material de aterro e pavimentação. A partir da análise dos parâmetros obtidos nos ensaios, tem-se que o subsolo analisado apresenta granulometria mal graduada e características não plásticas. Após a obtenção dos resultados dos ensaios de laboratório, os solos foram classificados, segundo o Sistema Único de Classificação de Solos (SUCS), de acordo com sua granulometria, como areia siltosa bem graduada. Por fim, com a realização deste trabalho, foi possível e fornecer dados referente às propriedades geotécnicas do subsolo, para futuras pesquisas que sejam realizadas no campo experimental em estudo.

Palavras-chave: Caracterização Geotécnica; Ensaio de Laboratório; Campo Experimental.

ABSTRACT

This work presents the characterization and classification of the soils, from the accomplishment of tests, of the Experimental Field of the Federal University of Ceará - Campus Crateús. In order to obtain knowledge of the soil under study, a geotechnical study is carried out, which includes the execution of laboratory tests. In all works, it is necessary to predict the behavior of the soil, considering that the quality of engineering works depends on the knowledge of the conditions of the subsoil, being indispensable for safe and economical projects, with the objective of contributing to its use as a building material and in paving (base and/or sub-base layers). The work methodology consists of carrying out geotechnical characterization tests to determine the material's characteristics in terms of granulometry, consistency and compaction tests to discuss its use as a landfill and paving material. Based on the analysis of the parameters obtained in the tests, it can be seen that the analyzed subsoil presents poorly graded granulometry and non-plastic characteristics. After obtaining the results of the laboratory tests, the soils were classified, according to the Soil Classification System (SUCS), according to their granulometry, as well-graded silty sand. Finally, with the completion of this work, it was possible to provide data regarding the geotechnical properties of the subsoil, for future research that is carried out in the experimental field under study.

Keywords: Geotechnical Characterization; Laboratory Test; Experimental Field.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Mapa geológico do município de Crateús-CE, segundo dados disponibilizados pela CPRM (modificado de Costa, 2017)	19
Figura 2	– Limites de Atterberg dos solos.....	22
Figura 3	– Curvas de compactação de diversos solos brasileiros.....	23
Figura 4	– Esquema de classificação pelo sistema unificado.....	25
Figura 5	– Fluxograma da metodologia da pesquisa.....	26
Figura 6	– Localização do Campo Experimental da Universidade Federal do Ceará.....	27
Figura 7	– Coleta do material.....	28
Figura 8	– Peneiramento no agitador mecânico	29
Figura 9	– Aparelhagem usada para os ensaios de LL e LP.....	30
Figura 10	– Curva granulométrica.....	31
Figura 11	– Determinação do limite de liquidez.....	33
Figura 12	– Curva de compactação.....	34

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Ensaio de caracterização do solo.....	27
Quadro 2 – Coeficientes de uniformidade e de curvatura do solo estudado.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Terminologia do Sistema Unificado.....	24
Tabela 2 – Peneiras usadas no ensaio e suas respectivas aberturas.....	28
Tabela 3 – Classificação do solo de acordo com o SUCS	29
Tabela 4 – Umidade higroscópica do solo.....	31
Tabela 5 – Percentuais granulométricos.....	32
Tabela 6 – Resultados obtidos no ensaio de limite de liquidez.....	33
Tabela 7 – Massa específica aparente seca máxima e umidade ótima do solo.....	34
Tabela 8 – Resultados obtidos através dos ensaios.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAP	Capsula
Cc	Coefficiente de curvatura
Cu	Coefficiente de uniformidade
D ₁₀	Diâmetro das partículas do solo em relação a 10% do material passante
D ₃₀	Diâmetro das partículas do solo em relação a 30% do material passante
D ₆₀	Diâmetro das partículas do solo em relação a 60% do material passante
IP	Índice de Plasticidade
ISC	Índice de Suporte California
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
NBR	Norma Brasileira
NP	Não Plástico
PBH	Peso Bruto Úmido
PBS	Peso Bruto Seco
SM	Areia siltosa
SUCS	Sistema Unificado de Classificação dos Solos
TCAP	Peso da capsula
UFC	Universidade Federal do Ceará
W	Teor de umidade

LISTA DE SÍMBOLOS

- % Porcentagem
- # Abertura das peneiras

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1 Contextualização e justificativa da pesquisa	17
1.2 Objetivos	18
1.2.1 Objetivo geral	18
1.2.2 Objetivos específicos	18
1.3 Estrutura da pesquisa	18
2. REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1 Campos Experimentais	19
2.2 Ensaio de caracterização	21
2.2.1 Ensaio de Granulometria	21
2.2.2 Limites de Atterberg	22
2.3 Ensaio de compactação	23
2.4 Sistemas de classificações	24
3. MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1 Definição do campo experimental	26
3.2 Ensaio de Caracterização	27
3.2.1 Ensaio de granulometria por peneiramento	28
3.2.2 Limites de Atterberg	29
3.3 Ensaio de Compactação	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
4.1 Granulometria por peneiramento	31
4.2 Limites de Atterberg	33
4.3 Curva de compactação	34
5. CONCLUSÃO	36
5.1 Conclusões	36
5.2 Sugestões de trabalhos futuros	36
REFERÊNCIAS	38

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização e justificativa da pesquisa

O estudo do comportamento dos solos é de grande relevância nas diversas áreas da engenharia. Na construção civil, durante a concepção e execução de uma obra, é necessário levar em consideração as características físicas do solo, a fim de se definir o adequado sistema estrutural a ser utilizado e realizar o correto dimensionamento da fundação. Além disso, é preciso conhecer a dinâmica do solo ao longo da vida útil da construção, para evitar a ocorrência de eventuais patologias ou, até mesmo, o colapso da estrutura (PINTO, 2006).

O solo é um material complexo e variável, porém, devido à sua abundância, facilidade de obtenção e manuseio, além do baixo custo, oferece grandes oportunidades de emprego na engenharia. É comum que o solo de uma localidade não preencha parcial ou totalmente as exigências de projeto. A realização de obras de engenharia sobre solos com características geotécnicas deficientes, torna-se, na maioria das vezes, inviável economicamente (MONTARDO, 1999). Visto que em algumas, situações os custos com transporte tornam-se inviável entre grandes distâncias, o que torna necessário reduzir ao máximo possível o deslocamento entre o lugar de extração e o mercado consumidor.

Para a utilização do solo como material, para todas as etapas de uma obra em engenharia, se faz importante que haja a caracterização do solo antes da realização de qualquer cálculo ou de tomada decisão, pois o tipo de obra e sua interação com o solo definem quais os estudos a serem feitos. A caracterização do solo permite a obtenção de informações técnicas específicas desse material, para que sejam levadas em consideração nas etapas de planejamento e construção e, assim, evitar possíveis imprevistos ou comportamentos inesperados.

Os campos experimentais têm a função de subsidiar a realização de investigações geotécnicas, que podem ser de laboratório e de campo, um tipo responsável por complementar a outro. Os ensaios de laboratório objetivam determinar as características físicas, mecânicas e hidráulicas, assim como de deformabilidade do solo (DAS, 2007). Os ensaios de campo, por sua vez, são importantes por haver a possibilidade de determinar parâmetros geotécnicos *in situ* (RAMOS, 2018).

A ausência de informações acerca das propriedades e do comportamento geotécnico dos solos na cidade de Crateús é resultado da ausência de estudos na região. Conseqüentemente, essa lacuna acaba influenciando de maneira negativa nos projetos de construção civil dessa região.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho visa caracterizar o solo do campo experimental da Universidade Federal do Ceará - Campus Crateús.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar as características geotécnicas do solo estudado;
- Classificar o solo do campo experimental de acordo com o Sistema Único de Classificação Dos Solos (SUCS);
- Definir os valores de umidade ótima e massa específica máxima do solo compactado a energia Proctor Normal;
- Discutir os usos potenciais para o solo do campo experimental de Geotecnia do Campus da UFC em Crateús;

1.3 Estrutura da pesquisa

A pesquisa é dividida em cinco seções. Na seção 1 denominada de “Introdução”, está apresentada a contextualização e a justificativa de pesquisa, objetivos gerais e específicos e sua delimitação. A Seção 2 contém o capítulo de “Revisão da Literatura”, que é um estudo bibliográfico de conteúdos necessários para abordagem e efetivação da pesquisa.

A seção 3 aborda a metodologia da pesquisa descrevendo de forma detalhada as execuções dos ensaios e os procedimentos adotados para a concretização dos objetivos da pesquisa. A Seção 4 traz os resultados da pesquisa e as discussões, a partir das análises obtidas. Por fim, a seção 5 onde são apresentadas as considerações finais do trabalho contendo a resposta da problemática identificada e sugestões de pesquisas futuras. Na sequência, estão os tópicos "Referências".

2. REVISÃO DA LITERATURA

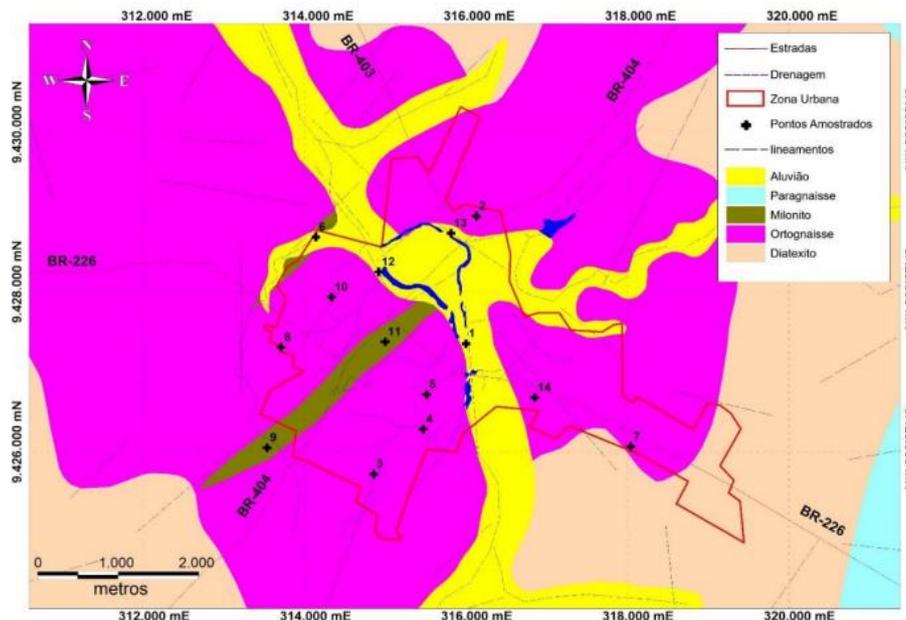
O município de Crateús, localizado no sertão central do Ceará a 350 km da capital, tem-se tido nos últimos anos uma crescente expansão do setor imobiliário com a construção de loteamentos em bairros planejados (DIÁRIO DO NORDESTE, 2018), o que implica diretamente em uma demanda cada vez maior no setor construtivo da cidade (BESERRA 2022).

Nesse sentido, ressalta-se a necessidade de soluções que visam atender ao mercado de engenharia, a partir do conhecimento do solo, visando a redução de custos. Ademais, a importância de se obter o conhecimento sobre o tipo de solo, surgiu pela necessidade de suporte de qualquer estrutura construída, pois a partir de um estudo prévio é possível identificar problemas e antecipar soluções. Uma vez que dos diversos estudos efetuados na região poucos falam sobre as características do solo local e sua importância para o desenvolvimento econômico e a segurança das edificações.

2.1 Campos Experimentais

As rochas aflorantes na região de Crateús são em sua maioria rochas metamórficas ortoderivadas, compostas principalmente por minerais félsicos (quartzo e feldspato potássico) e subordinadamente por minerais máficos (biotita e anfibólio), as vezes recortadas por diques e stocks de rochas graníticas ácidas (SOUZA, 2019). Como mostra a figura 1.

Figura 1 - Mapa geológico do entorno da área urbana da cidade de Crateús-CE (modificado de Costa, 2017).



Fonte: Souza (2019)

A importância de campos experimentais para instituições de ensino e pesquisa se dá pela relevância de se obter um espaço gerador de informações para a construção do conhecimento na especialização acadêmica, e oferecer subsídios a pesquisas futuras na área, a partir do acervo de dados gerados.

Segundo Cavalcante et al. (2007), a origem dos campos experimentais brasileiros esteve associada a dois aspectos, sendo um relacionado ao estudo de situações que a prática da engenharia geotécnica passou a exigir em função dos problemas encontrados localmente e o segundo pela a necessidade do desenvolvimento de pesquisas para criação ou consolidação de programas de pós-graduação em Universidades. Estes dois aspectos fizeram com que os campos experimentais de geotecnia criados servissem de mola propulsora para o desenvolvimento de excelentes pesquisas para dissertações e teses em diversas Instituições de Ensino Superior.

O campo experimental mais antigo do Brasil, segundo relatos parciais, foi criado em 1974, está localizado na cidade do Rio de Janeiro, ao lado da rodovia Rio Petrópolis, na margem esquerda do rio Sarapuí. Com o objetivo de servir para o desenvolvimento de estudos vinculados a projetos de aterros rodoviários sobre solos moles. Os demais campos brasileiros foram criados a partir da segunda metade da década de 1980 (CAVALCANTE et al., 2007).

A utilização dessas áreas é de grande utilidade já que, a partir do acúmulo de informações geradas, possibilitam o desenvolvimento de outras pesquisas aplicadas. Há ainda uma motivação relativa à prática da engenharia, uma vez que, devido a problemas geotécnicos em algumas localidades, tem sido necessária a análise do comportamento do solo diante de determinadas situações (RAMOS, 2018).

De acordo com Antunes (2012), diversas pesquisas e estudos realizados por pesquisadores em campos experimentais no Brasil, têm contribuído no conhecimento de diferentes perfis geotécnicos das mais diversas regiões. Ademais, a boa qualidade de uma amostragem se torna fundamental na obtenção de parâmetros que representem com maior fidelidade as condições reais de campo, minimizando as incertezas, antes e durante a fase de execução de obras e intervenções geotécnicas.

2.2 Ensaios de caracterização

O solo é um meio particulado, ou seja, ocorre sob a forma de partículas, ou melhor, de grãos, os quais coexistem sob diversas constituições minerais e com um amplo leque de tamanhos, dimensões e distribuição ao longo de um perfil do solo. Muitas das propriedades físicas do solo, podem ser em função do formato, distribuição e composição dos grãos (GOMES, 2018).

Os ensaios de laboratório que são necessários para a caracterização geotécnica, envolvem a coleta de amostras do solo a ser analisado, podendo ser deformadas ou indeformadas. Isso ocorre por conta da necessidade de utilização de equipamentos que são restritos ao laboratório, os quais têm o objetivo de simular ou impor condições favoráveis à análise dos parâmetros do solo a serem obtidos.

2.2.1 Ensaio de Granulometria

A identificação das dimensões e distribuição das partículas em uma amostra deformada de solo pode ser obtida através da análise granulométrica utilizando o ensaio de granulometria, conforme a norma “NBR 7181 – ABNT (2016) – Solo – Análise granulométrica”. Após o peneiramento, e a partir do conhecimento das percentagens retidas, e por consequência das percentagens passantes, em cada peneira, tem-se a distribuição e as dimensões das partículas do solo, por conseguinte é obtida a curva granulométrica do solo, onde o eixo horizontal representa o diâmetro dos grãos (de acordo com o diâmetro na peneira) e o eixo vertical as porcentagens que passam nas respectivas peneiras, apresentando os intervalos de variação do tamanho de suas partículas.

2.2.2 Limites de Atterberg

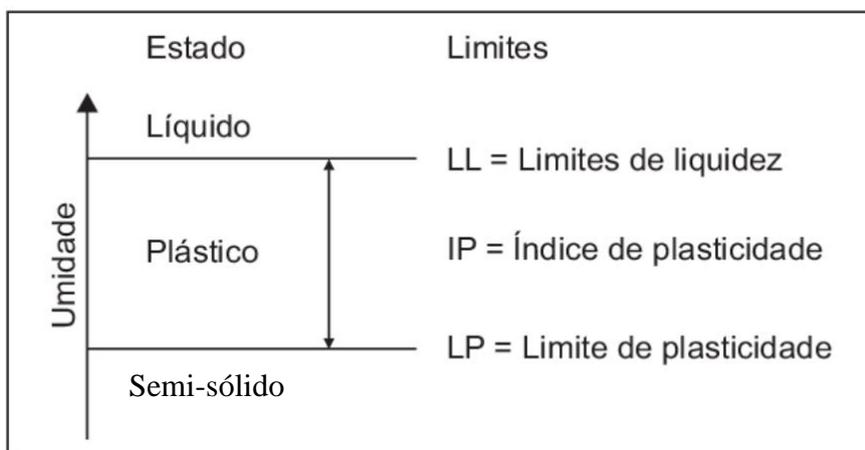
A plasticidade de um solo é definida como a propriedade dos solos, com grande percentual de finos, que consiste na maior ou menor capacidade de serem moldados sob certas condições de umidade. Para uma melhor análise desta característica dos solos, utiliza-se os limites de consistência estabelecidos pelo engenheiro químico Atterberg. (LEITE, 2019).

Os limites de consistências podem ser definidos como valores limítrofes de mudança de comportamento de solos finos em presença de água. O limite de liquidez é medido em ensaio, conforme a norma “NBR 6459 – ABNT (2016) – Solo – Determinação do limite de liquidez”. O limite de liquidez é medido em ensaio com o aparelho de Casagrande, sendo a umidade em que são necessários 25 golpes para fechar a ranhura de uma cunha de solo.

O limite de plasticidade, conforme a norma “NBR 7180 – ABNT (2016) – Solo – Determinação do limite de plasticidade”, é definido como o menor teor de umidade na qual é possível moldar um cilindro com 3mm de diâmetro, rolando-se o solo com a palma da mão.

Os limites baseiam-se na constatação de que um solo argiloso possui aspectos distintos de acordo com o seu teor de umidade. Quando muito úmido, ele se comporta como um líquido, quando perde parte de sua água, fica plástico, e quando mais seco, torna-se quebradiço (PINTO, 2006). A figura 2 traz essa representação.

Figura 2 – Limites de Atterberg dos solos.



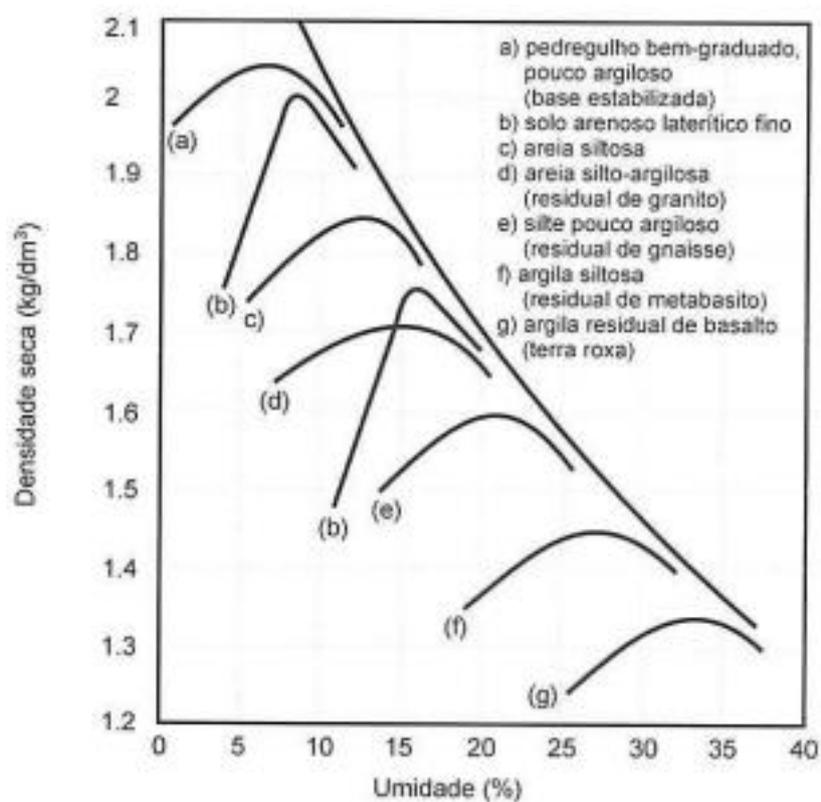
Fonte: Pinto (2006)

2.3 Ensaio de compactação

A umidade ótima de compactação é definida através da repetição do ensaio de Proctor para teores de umidade distintos, determinando para cada um, a massa específica. É obtida então a curva de compactação em um gráfico, sendo na ordenada a massa específica aparente seca do solo compactado e na abscissa o teor de umidade correspondente. É desejável que existam 2 pontos no ramo seco da curva, assim como o ponto de máxima 2 pontos no ramo descendente para melhor confiabilidade (Pinto, 2006).

A influência do tipo de solo na curva de compactação encontra-se ilustrado na Figura 3. Onde pode-se observar que, considerando-se uma mesma energia de compactação, os solos argilosos apresentam umidades ótimas mais elevadas e massas específicas aparentes secas máximas menores do que os solos siltosos.

Figura 3 – Curvas de compactação de diversos solos brasileiros



Fonte: Pinto (2006)

No ramo seco (abaixo do teor de umidade ótima), à medida que se adiciona água, ocorre um efeito de lubrificação, o que possibilita uma maior aproximação das partículas de solo, ocorrendo, por esta razão, o acréscimo da massa específica aparente seca. No ramo úmido (acima do teor de umidade ótima), a água passa a existir em excesso,

o que provoca um afastamento das partículas de solo, amortizando a compactação e a amostra passa a ter mais água que sólidos, levando a um decréscimo da massa específica aparente seca. e a consequente diminuição da densidade.

2.4 Sistemas de classificações

Entre as inúmeras formas de classificar os solos, os sistemas mais utilizados no setor da engenharia de solos são baseados em propriedades que estão relacionadas ao tipo e o comportamento das partículas constituintes. Os sistemas de classificação tradicionais foram elaborados considerando as características dos grãos e plasticidade dos solos, empregando suas composições granulométricas e os índices de Atterberg, visando entender seus comportamentos sob os aspectos de interesses da engenharia civil (PINTO, 2006).

O Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) foi proposto por Casagrande para aplicação em obras de aeroportos, porém sua utilização na engenharia ocorreu de forma generalizada sendo muito utilizada atualmente pelos engenheiros geotécnicos (PINTO, 2006).

De acordo com esse sistema, as características de solos são determinadas a partir da granulometria e os limites de Atterberg (LL e LP). Nesse sistema todos os solos são identificados pelo conjunto de duas letras. Onde as cinco letras superiores indicam o tipo de solo segundo sua classificação granulométrica e as quatro seguintes correspondem aos dados de plasticidade. Sendo que essas informações são reunidas em quinze grupos distintos. Conforme mostra a tabela 1.

Tabela 1 – Terminologia do Sistema Unificado

Classificação	Tipo
G	Pedregulho
S	Areia
M	Silte
C	Argila
O	Solo Orgânico
W	Bem graduado
P	Mal Graduado
H	Alta compressibilidade
L	Baixa compressibilidade
Pt	Turfas

Fonte: a autora (2022)

O Sistema Unificado de Classificação dos Solos agrupa os solos em duas categorias:

- Solos Grossos – mais de 50% em peso dos grãos são retidos na peneira #200. As iniciais do grupo são G ou S, sendo que a letra G para pedregulho e a letra S um solo arenoso ou areia.
- Solos Finos – mais de 50% em peso dos grãos passam na peneira #200. Os prefixos que indicam este grupo são as letras M (que representa silte inorgânico) e C (que indica argila inorgânica). Neste grupo também há a presença de siltes e argilas orgânicas que é identificado pela letra O. Para designar a turfa, terra preta (muck) e outros solos altamente orgânicos é empregado o símbolo Pt.

A Figura 4 apresenta o esquema para a classificação pelo Sistema Unificado. A classificação do solo deve ser pela análise da tabela da esquerda para a direita.

Figura 4 – Esquema de classificação pelo sistema unificado.

% P #200 < 50	G > S : G	% P #200 < 5	GW CNU > 4 e 1 < CC < 3
		% P #200 > 12	GP CNU < 4 ou 1 > CC > 3
		5 < #200 < 12	GW-GC, GP-GM, etc.
	S > G : S	% P #200 < 5	SW CNU > 6 e 1 < CC < 3
		% P #200 > 12	SC CNU < 6 ou 1 > CC > 3
		5 < #200 < 12	SW-SC, SP-SC, etc.
% P #200 > 50	C	CL	
		CH	
	M	ML	
		MH	
	O	OL	
		OH	

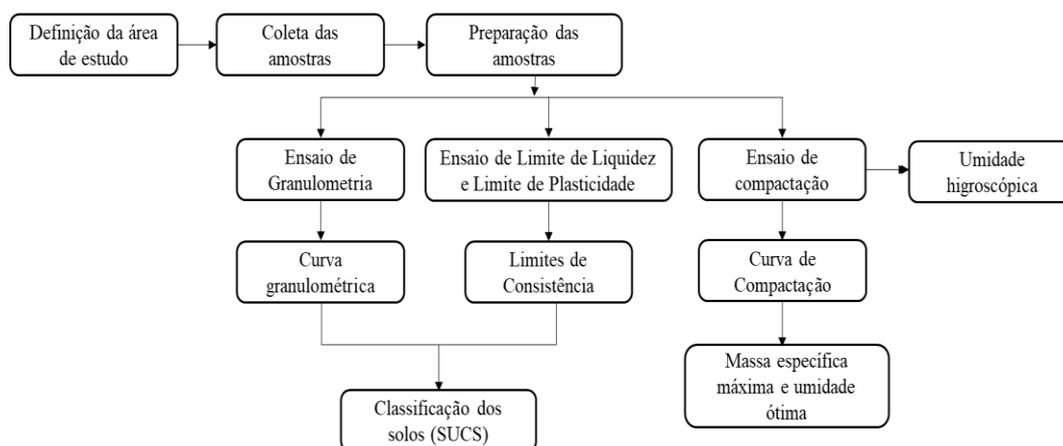
Fonte: Pinto, 2006.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção são apresentados os materiais e métodos utilizado para a determinação do local de estudo e para a realização dos ensaios de caracterização. Os ensaios de granulometria, limite de liquidez e plasticidade foram executados no Laboratório de Geologia da UFC - Campus Crateús e o ensaio de compactação no Laboratório de Mecânica dos solos do IFCE – Campus Crateús.

Essa metodologia utilizada baseou-se na definição da área de estudo e coleta das amostras, sendo realizados ensaios. Com os resultados dos ensaios foi classificado o solo de acordo com o SUCS. Na Figura 5, pode-se observar o sequenciamento da metodologia que será aplicada.

Figura 5 – Fluxograma da metodologia da pesquisa.



Fonte: Autora (2022)

3.1 Definição do campo experimental

As amostras de solo alvo deste estudo em questão é o Campo Experimental da Universidade Federal do Ceará - Campus de Crateús, em uma área de 24,5 m². Coordenadas 5°11'5" S e 40°38'40" W, localizadas no município de Crateús, Ceará, Brasil. A Figura 6 apresenta a demarcação do campo experimental dentro do campus da UFC.

Figura 6 – Localização do Campo Experimental da Universidade Federal do Ceará – Campus Crateús



Fonte: Autora (2022).

3.2 Ensaios de Caracterização

Para a realização da caracterização do solo, foram executados ensaios de granulometria, índices de consistência das amostras deformadas coletadas no campo experimental. Além da análise granulométrica, outros ensaios foram realizados. O Quadro 1 apresenta um resumo dos ensaios de caracterização.

Quadro 1 – Ensaios de caracterização do solo

Ensaio	Norma
Granulometria	NBR 7181/2016
Limites de liquidez	NBR 6459/2016
Limites de Plasticidade	NBR 7180/2016
Ensaio de Compactação	NBR 7182/2016

Fonte: a autora (2022)

Os ensaios a serem realizados em laboratório não exigem amostras de solo indeformadas e, em vista disso, as amostras foram recolhidas com o auxílio de pá e enxada, removendo a cobertura orgânica da camada superficial de solo e desprezando

alguns centímetros para que sejam coletadas, conforme mostra a Figura 7. As amostras foram extraídas, armazenadas e transportadas ao laboratório para a realização dos ensaios.

Figura 7 – Coleta do material



Fonte: A autora (2022).

3.2.1 Ensaio de granulometria por peneiramento

A curva granulométrica foi obtida a partir do ensaio de peneiramento conforme a NBR 7181 (ABNT, 2016). De acordo com os procedimentos normatizados foi possível observar a predominância de partículas e sua distribuição granulométrica. Quanto aos ensaios de caracterização, executados com amostras deformadas, realizou-se, inicialmente, o ensaio de granulometria. A partir disso, foi possível descrever as curvas granulométricas do subsolo do campo experimental.

As texturas de solo dividem-se entre duas grandes categorias: grossas e finas, baseado na porcentagem de solo da amostra que passa na peneira #200, a Tabela 2 apresenta a numeração das peneiras utilizadas seguidas de suas respectivas aberturas.

Tabela 2 – Peneiras usadas no ensaio e suas respectivas aberturas

Nº	Abertura (mm)	Nº	Abertura (mm)
4	4,75	40	0,42
10	2	50	0,3
	1,2	100	0,15
30	0,6	200	0,075

Fonte: a autora (2022)

Para a classificação adequada de acordo com o SUCS, ainda é necessário saber a porcentagem de pedregulhos, areia, silte e argila, conforme mostra a Tabela 3, coeficiente de uniformidade (Cu), coeficiente de curvatura (Cc) e os limites de liquidez e plasticidade.

Tabela 3 – Classificação do solo de acordo com o SUCS

Pedregulho	76,2 mm – 4,76mm
Areia grossa	4,76 mm – 2,00mm
Areia média	2,00 mm – 0,42mm
Areia fina	0,42mm – 0,074mm
Silte	0,074 mm – 0,005 mm
Argila	< 0,005mm

Fonte: a autora (2022)

Figura 8 – Peneiramento no agitador mecânico



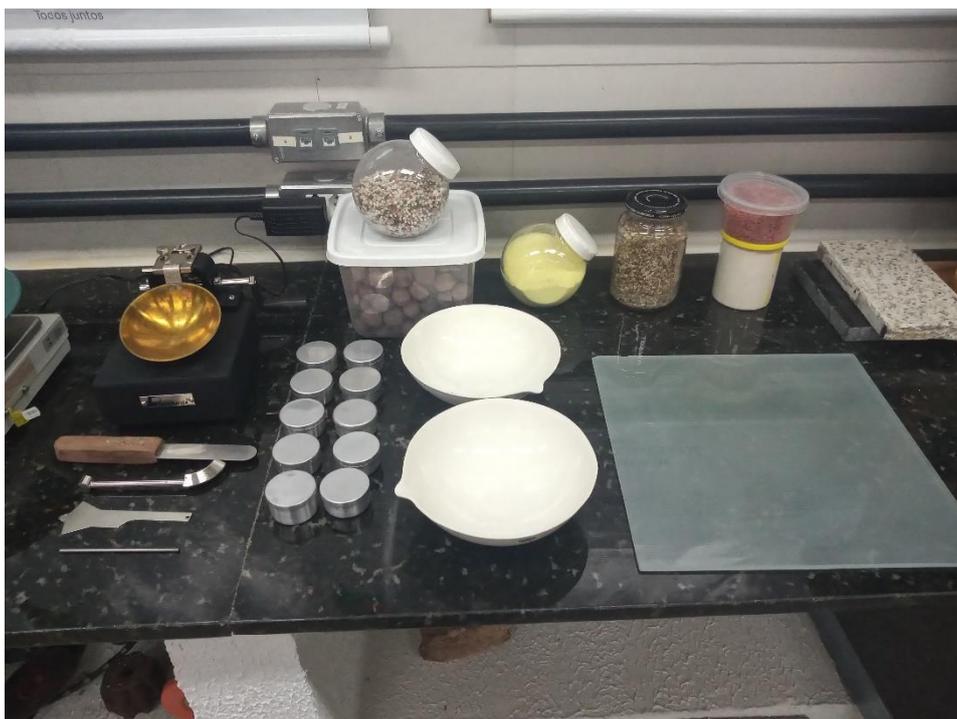
Fonte: Autor (2022).

3.2.2 Limites de Atterberg

Para a obtenção dos limites de Atterberg, os quais são regulamentados pelos ensaios de limite de liquidez (LL) e o limite de plasticidade (LP), pela NBR 6459 (ABNT,

2016) e NBR 7180 (ABNT, 2016), respectivamente. Com os resultados dos limites de consistência, será possível obter o índice de plasticidade, pois com ele é possível classificar o solo quanto sua plasticidade, o que é de extrema importância para a análise do comportamento dos solos quanto a sua expansibilidade, pois quanto mais o solo for plástico maior será a chance de esse ser expansivo.

Figura 9 – Aparelhagem usada para os ensaios de LL e LP



Fonte: a autora (2022)

3.3 Ensaio de Compactação

Para a obtenção da curva de compactação, a amostra foi preparada de acordo com a NBR 6457 (ABNT, 2016). A energia aplicada foi a referente ao ensaio de Proctor Normal, cujo corpo de prova cilíndrico é compactado com a aplicação de 26 golpes por camada, havendo, no total, a formação de três camadas. Ademais, determinou-se a umidade natural do solo, por meio do método da estufa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, serão apresentados os resultados encontrados a partir dos ensaios realizados, no local de estudo definido. Além disso, os resultados encontrados serão discutidos e comparados com a literatura com o objetivo de se obter, posteriormente, conclusões significativas para o trabalho.

A partir das amostras coletadas para o ensaio de compactação, coletou-se uma parcela das amostras para a obtenção da umidade higroscópica. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Umidade higroscópica do solo

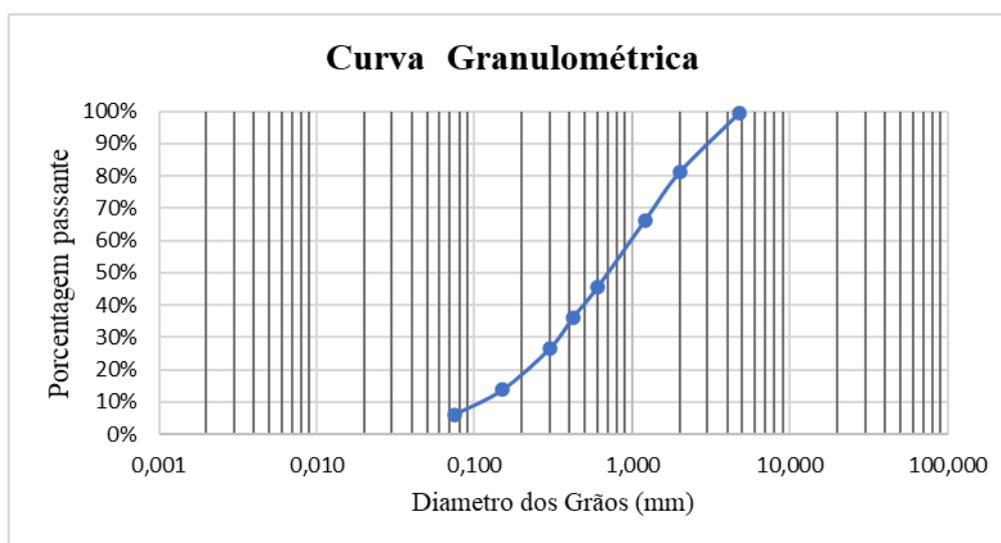
Tipo	Intervalo
W1 (%)	2,38%
W2 (%)	2,36%
W3 (%)	2,33%
W (%)	2,35%

Fonte: A autora (2022)

4.1 Granulometria por peneiramento

O resultado do ensaio de granulometria está apresentado na Figura 10, A onde apresenta um solo mal graduado composto por 45,09% das partículas com diâmetro entre 0,42 e 2,00mm. Logo, como exposto na Tabela 5, os resultados da granulometria sem defloculante, deram características de um solo arenoso com pouco silte e quase nada de argila.

Figura 10 – Curva Granulométrica



Fonte: A autora (2022)

A tabela 5 apresenta os percentuais granulométricos obtidos a partir do traçado da curva. Pela tabela, observa-se que se trata de solo arenoso, com cerca de 6% de finos

Tabela 5 – Percentuais Granulométricos

Tipo	Intervalo	Percentual
Pedregulho	76,2 mm – 4,76mm	0,37%
Areia grossa	4,76 mm – 2,00mm	18,4%
Areia média	2,00 mm – 0,42mm	45,09%
Areia fina	0,42mm – 0,074mm	30,04%
Silte e argila	< 0,074 mm	6%

Fonte: A autora (2022)

De acordo com a tabela 3, observa-se que se trata de um solo arenoso, sem muita modificação de tamanho de grãos, sendo classificado, de acordo com o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), como areia siltosa (SM). Devido ao solo ter apresentado um percentual com uma pequena fração de finos, optou-se por dispensar o ensaio de sedimentação.

Quadro 2 – Coeficientes de uniformidade e de curvatura do solo estudado

Tipo	Formula	Resultado
D_{60}	Interpolação	1,02
D_{30}	Interpolação	0,34
D_{10}	Interpolação	0,11
Cu	$Cu = D_{60}/D_{10}$	9,27
Cc	$Cc = D_{30}^2 / D_{10} \times D_{60}$	1,03

Fonte: A autora (2022)

Em que:

Cu: coeficiente de uniformidade;

Cc: coeficiente de curvatura;

D_{10} : diâmetro das partículas do solo em relação a 10% do material que passa;

D_{30} : diâmetro das partículas do solo em relação a 30% do material que passa;

D_{60} : diâmetro das partículas do solo em relação a 60% do material que passa

A partir dos valores apresentados no quadro 2, e obtidos de acordo com a curva granulométrica, o coeficiente de uniformidade do material é igual a 9,27 e o coeficiente de curvatura é equivalente a 1,03. Com base nesses dados, é possível concluir que o material é bem graduado.

4.2 Limites de Atterberg

Na Tabela 6 pode-se observar os valores encontrados após a realização do ensaio de determinação do limite de liquidez (LL). Através deste resultado, foi plotado o gráfico da reta de escoamento ($Y = ax + b$), para determinação do Limite de Liquidez da amostra de solo à 25 golpes exatos.

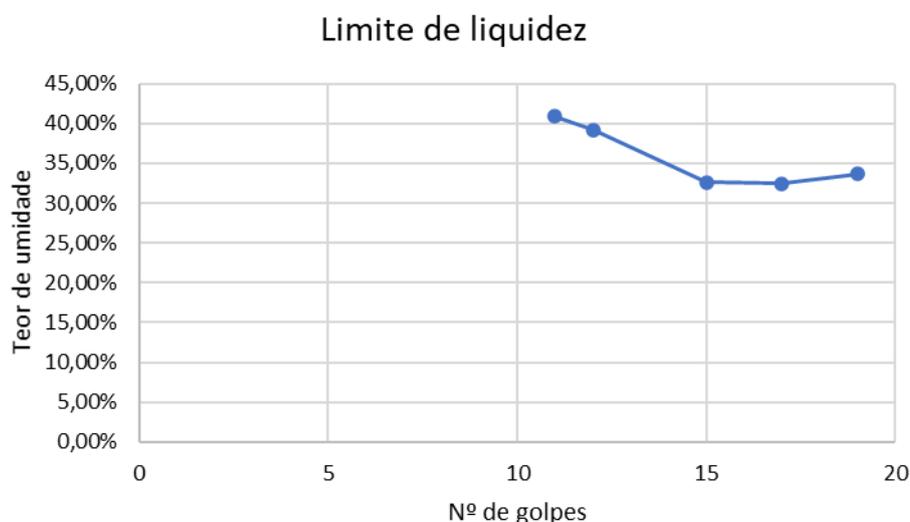
Tabela 6 – Resultados obtidos no ensaio de limite de liquidez

Descrição	CAP 01	CAP 01	CAP 03	CAP 04	CAP 05
Nº de Golpes	19	17	15	12	11
TCAP (g)	13,45	12,41	12,97	12,70	12,73
PBH (g)	20,12	20,65	20,33	21,58	20,21
PBS (g)	18,44	16,63	18,52	19,08	18,04
umidade (%)	33,67	32,48	32,61	39,18	40,87

Fonte: A autora (2022)

Com os resultados obtidos, constrói-se o gráfico como mostrado na Figura 11, relacionando o número de golpes com os teores de umidade correspondentes.

Figura 11 – Determinação do limite de liquidez



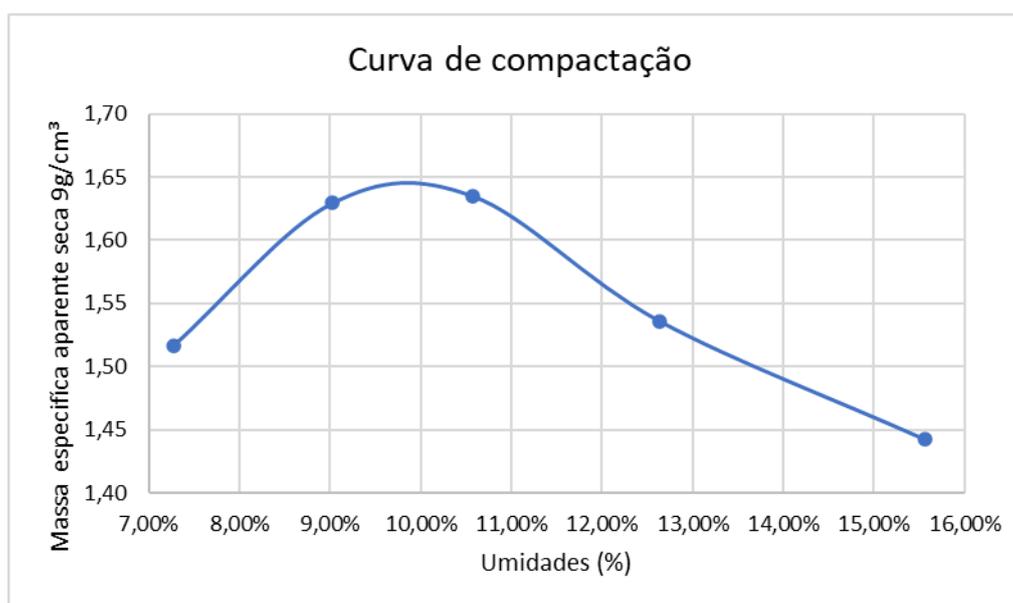
Fonte: A autora (2022)

Como observado, o limite de liquidez do solo é o teor de umidade da reta correspondente a 25 golpes, expresso em porcentagem, com um valor de $LL = 33,13\%$. Quanto à determinação do limite de plasticidade (LP) do solo, não se obteve sucesso nas tentativas de moldar o cilindro conforme o gabarito cilíndrico. Isso já era de se esperar para um solo arenoso como o em estudo, visto que sem a presença de argila, o solo não apresenta plasticidade. Logo o solo é considerado como não plástico (NP), segundo a NBR 7180/2016, item 5.2.3.

4.3 Curva de compactação

A figura 12 apresenta a curva de compactação, gerada a partir dos resultados obtido no ensaio, a partir da curva gerada podem ser encontrados os valores da massa específica aparente seca máxima e umidade ótima, assim observados na Tabela 7. Analisando o comportamento da curva (c) da figura 6 que apresenta as curvas de compactação de diversos solos brasileiros, pode-se comprovar que a curva abaixo do solo ensaiado representa o comportamento de areia siltosa

Figura 12 – Curva de compactação



Fonte: a autora (2022)

Baseado na tendência da curva, foi determinado que o peso específico aparente seco ótimo do solo compactado é de aproximadamente 1,64 g/cm³ e a umidade correspondente, chamada umidade ótima, é de 9,8 %.

Tabela 7 – Massa específica aparente seca máxima e umidade ótima do solo

Descrição	Valor
Massa específica aparente seca máxima (g/cm ³)	1,64
Umidade ótima (%)	9,8

Fonte: A autora (2022)

Todos os resultados encontrados nesta pesquisa e a forma de obtenção, se encontram listados na tabela 8.

Tabela 8 – Resultados obtidos através dos ensaios

Características/ Parâmetros	Classificação	Forma de obtenção
Classificação do solo	SM	Granulometria
Umidade Natural (%)	2,35%	Estufa
Limite de Liquidez (%)	33,13	Limite de Atterberg
Limite de Plasticidade	NP	Limite de Atterberg
Massa específica aparente seca máxima (g/cm ³)	1,64	Compactação
Umidade ótima (%)	9,8	Compactação

Fonte: a autora (2022)

Além dos resultados obtidos nesta pesquisa, futuramente estes podem se interrelacionar com a realização de ensaios de campos no mesmo campo experimental em questão, a fim de se obter comparações eficientes para findar em uma caracterização mais completa e tomadas de decisões mais assertivas.

5. CONCLUSÃO

5.1 Conclusões

Por meio do resultado do ensaio de granulometria foi possível classificar o solo de acordo com a dimensão e distribuição dos grãos do solo, o qual apresentou características de solo granular, mal graduado, com cerca de 6,1% de material fino, sendo classificado como do tipo areia siltosa (SM), segundo a classificação do Sistema Único de Classificação de Solos (SUCS).

Os ensaios dos limites de consistência e limite de plasticidade necessários para determinar os limites de Atterberg, resultaram em índice de plasticidade (IP) nulo, onde mais uma vez confirmou o comportamento do solo analisado como arenoso e não plástico.

No ensaio de compactação foram encontradas, a partir da curva de compactação, a massa específica aparente seca do solo de $1,64\text{g/cm}^3$ e sua umidade ótima em 10,57%, dados importantes tanto na fase de planejamento de extração de solo da jazida, como de planejamento e execução de compactação do solo. Observou-se também que a curva gerada mostrava o comportamento de um solo arenoso, como foi definido a partir de sua granulometria.

Como sugestão para uso do solo por ser arenoso é indicado para a fabricação de cimento e também obras de aterro e terraplanagem. Para complementar os estudos é fundamental a análise de mais pontos para realizar a comparação entre o solo coletado no campo experimental do campus, com outros pontos próximo ao perímetro urbano da cidade de Crateús, com o objetivo de entender melhor o solo da região e sugerir aplicações.

Sendo assim, as informações obtidas em laboratório, sobre suas características, representam um importante conjunto de dados para melhor entendimento do comportamento do solo estudado. Dessa forma, esse estudo serve como ponto de partida para análises futura referentes às características geotécnicas solo do campo experimental UFC – Campus Crateús, onde as próximas pesquisas poderão também comparar os resultados de seus ensaios com os que já constam na literatura.

5.2 Sugestões de trabalhos futuros

Como sugestão para trabalhos futuros no campo experimental, tem-se:

- Executar ensaios de caracterização em amostras ao longo da profundidade;
- Estudo do comportamento do solo utilizando amostras indeformadas;

- Realização de ensaios de campo para sugerir aplicações;

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12770**: Solo – Determinação da resistência à compressão não confinada de solo coesivo. 2 Ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6457**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. 2 Ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6459**: Solo – Determinação do limite de liquidez. 2 Ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7180**: Solo – Determinação do limite de plasticidade. 2 Ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. 2 Ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7182**: Solo – Ensaio de compactação. 2 Ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12770**: Solo – Determinação da resistência à compressão não confinada de solo coesivo. 2 Ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

BESERRA, Ytalo Igo Arruda. **Avaliação de concretos dosados empiricamente utilizados para moldar elementos estruturais: um estudo em obras de edificação de Crateús - CE** / Ytalo Igo Arruda Beserra. – 2022.

CAVALCANTE, Erivaldo H. et al. **Campos experimentais brasileiros**. Geotecnia, v. No 2007, n. 111, p. 99-205, 2007.

DAS, B. M. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. 6. ed. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

DIÁRIO DO NORDESTE. **Mercado imobiliário de Crateús se expande**, [s. l.], 4 abr. 2012. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/regiao/mercado-imobiliario-decrateus-se-expande-1.352575>. Acesso em: 25 Mai. 2022

KNAPPET, J. A & Craig R.F. **Craig mecânica dos solos**. Tradução Amir Elias Abdalla Kurban. 8. Ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2014.

LEITE, Gustavo Arthur de Lima. **Caracterização geotécnica do solo de aterro do prédio de Medicina do Centro Acadêmico do Agreste – UFPE.** / Gustavo Arthur de Lima Leite. – 2019.

MONTARDO, J. P. (1999). **Comportamento mecânico de compósitos solo-cimento-fibra: Estudo do efeito das propriedades dos materiais constituintes (Master's thesis engineering)**. CPGEC/UFRGS. Porto Alegre. 130p.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SOUZA, Rodrigo Cortez de Souza; TEXEIRA, Paulo Gildânio Ferreira; SOUSA, Fábio José Bezerra de Sousa. **Contribuição para a caracterização geológica e classificação geomecânica dos maciços rochosos na cidade de Crateús-CE**. Estudos geológicos (UFPE), v. 29, p. 95-107, 2019.