



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA NA UTILIZAÇÃO DE SOLOS
COMO CAMADAS DE PAVIMENTO NA CIDADE DE SOUSA/PB**

MAYLA ESTRELA BRAGA

POMBAL – PB

2023

MAYLA ESTRELA BRAGA

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA NA UTILIZAÇÃO DE SOLOS
COMO CAMADAS DE PAVIMENTO NA CIDADE DE SOUSA/PB

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Unidade Acadêmica de
Ciências e Tecnologia Ambiental da
Universidade Federal de Campina Grande,
como parte dos requisitos necessários
para obtenção do título de Engenheiro
Civil.

Orientador(a): Prof. Dr. Eduardo Morais
Medeiros

Coorientador(a): Ms. Antonio Felipe de
Sousa Machado Reis

POMBAL – PB

2023

B813e Braga, Mayla Estrela.

Estudo da viabilidade técnica na utilização de solos como camadas de pavimento na cidade de Sousa/PB / Mayla Estrela Braga. – Pombal, 2023. 27 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Eduardo Morais Medeiros, Me. Antonio Felipe de Sousa Machado Reis”.

Referências.

1. Ensaio geotécnicos. 2. Classificação do solo. 3. Pavimentação. I. Medeiros, Eduardo Morais. II. Reis, Antonio Felipe de Sousa Machado. III. Título.

CDU 624.13 (043)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO.

MAYLA ESTRELA BRAGA

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA NA UTILIZAÇÃO DE SOLOS COMO
CAMADAS DE PAVIMENTO NA CIDADE DE SOUSA/PB**

Trabalho de Conclusão de Curso da discente Mayla Estrela Braga em 20 de junho de 2023 ano pela comissão examinadora composta pelos membros abaixo relacionados como requisito para obtenção do título de Engenheira Civil pela Universidade Federal de Campina Grande

Registre-se e publique-se.



Assinado digitalmente por
EDUARDO MORAIS DE
MEDEIROS:06778859466
Razão: Eu atesto a precisão e a
integridade deste documento
Localização: UFPG - Campus
Pombal
Data: 2023.07.03 09:25:50-03'00'

Prof. Dr. Eduardo Morais de Medeiros
(Orientador – UFPG)

Prof^a. Dr^a. Larissa Santana Batista
(Membro Interno – UFPG)



Documento assinado digitalmente
ANTONIO FELIPE DE SOUZA MACHADO RE
Data: 20/06/2023 17:43:31-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Ms. Antonio Felipe de Sousa Machado Reis
(Coorientador – Mestre em Geotecnia UFBA)

Damiana A. Tavares Soares

Damiana Andrea Tavares Soares
(Membro Externo – Engenheira Civil)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, expresso minha profunda gratidão a Deus por me guiar e me conceder sabedoria ao longo de toda a minha graduação.

Agradeço de coração aos meus amados pais, Helder e Eliene, e à minha querida irmã Marina, por todo o apoio e incentivo ao longo desses anos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Eduardo Morais, agradeço por ter aceitado me orientar neste trabalho e por se tornar um grande amigo durante todo o processo.

Agradeço também ao meu coorientador, Ms. Antonio Felipe, por sua dedicação, comprometimento e por todos os ensinamentos transmitidos, além da paciência demonstrada até a conclusão deste trabalho.

Aos meus amigos Nataniele e Rafaela, sou imensamente grato por toda a ajuda, companhia e acolhimento que me proporcionaram durante minha jornada na cidade de Pombal. Vocês tornaram tudo isso mais leve e memorável.

À minha amiga-irmã Yohana, agradeço imensamente pela paciência demonstrada ao longo deste turbulento processo.

Ao meu namorado Renan, agradeço por seu constante incentivo e disponibilidade para ajudar.

À Terra Sol Engenharia Geotécnica, representada por Damiana A. Tavares Soares e Rafaela Nascimento Gomes, agradeço pela oportunidade de ingressar na empresa e adquirir tanto conhecimento.

A todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão deste trabalho, expresso minha sincera gratidão.

Estudo da viabilidade técnica na utilização de solos como camadas de pavimento na cidade de Sousa/PB

Study of Technical Feasibility in the Use of Soils as Pavement Layers in the City of Sousa, PB

Mayla Estrela Braga, mayla.estrela@estudante.ufcg.edu.br

Eduardo Morais de Medeiros, mm.edu@hotmail.com

RESUMO

O estudo geotécnico de solos desempenha um papel fundamental no processo de pavimentação. Ele é essencial para avaliar as características do solo e determinar sua capacidade de suporte, estabilidade e comportamento sob as cargas impostas pelo tráfego resultando em uma pavimentação durável, segura e econômica, minimizando problemas e custos de manutenção a longo prazo. O presente trabalho foi realizado com solo de um loteamento localizado no município de Sousa-PB. A metodologia utilizada baseou-se na classificação geotécnica tradicional dos solos, com o intuito de verificar sua aplicação nas camadas de pavimentação, por meio dos resultados obtidos nos ensaios geotécnicos realizados. Esses ensaios permitiram determinar características importantes, tais como granulometria, limite de plasticidade, limite de liquidez, compactação e resistência do material, conforme medido pelo Índice de Suporte Califórnia (ISC). A análise dos resultados revelou que, em sua maior parte, o solo em questão consiste em areia, com a presença de finos, como silte e argila. Seus valores de plasticidade revelaram amostras variando entre não plásticas e altamente plásticas. Os resultados obtidos no ensaio de ISC indicaram que algumas amostras não apresentam material adequado para utilização nas camadas de pavimentação. Este estudo possibilitou a caracterização geotécnica do solo na localidade em questão e evidenciou a necessidade de melhorias para sua utilização em pavimentação rodoviária.

Palavras-chave: Ensaio Geotécnicos, Classificação Do Solo, Pavimentação.

ABSTRACT

The geotechnical study of soils plays a fundamental role in the pavement process. It is essential for evaluating the soil characteristics and determining its bearing capacity, stability, and behavior under traffic loads, resulting in durable, safe, and cost-effective pavement while minimizing long-term maintenance issues and costs. The present study was conducted on soil from a housing development located in Sousa, Paraíba, Brazil. The methodology used was based on the traditional geotechnical classification of soils, aiming to assess their suitability for pavement layers based on the results obtained from geotechnical tests conducted. These tests allowed the determination of important characteristics such as grain size distribution, plastic limit, liquid limit, compaction, and material strength as measured by the California Bearing Ratio. The analysis of the results revealed that the majority of the soil consists of sand with the presence of fines such as silt and clay. Plasticity values indicated that the samples ranged from non-plastic to highly plastic. The CBR test results indicated that some samples do not provide suitable material for use in pavement layers. This study enabled the geotechnical characterization of the soil in the specific location and highlighted the need for improvements for its use in road pavement.

Keywords: Geotechnical Tests, Soil Classification, Paving.

1. INTRODUÇÃO

Estradas e rodovias são fundamentais para o desenvolvimento econômico e social de um país. Elas possibilitam a circulação de pessoas, mercadorias e veículos, interligando as diferentes regiões do país e facilitando o comércio, a produção agrícola e a industrialização. Além disso, são essenciais para o acesso à educação, saúde e serviços públicos em áreas remotas e de difícil acesso. A qualidade e a eficiência das vias de tráfego também têm impacto direto na competitividade econômica do Brasil. Sua modernização e manutenção são fundamentais para garantir a segurança e a fluidez no transporte de mercadorias e pessoas, e para garantir o crescimento econômico sustentável.

O estudo da viabilidade de um solo para construção de pavimentos é um processo importante na construção das vias. Visando determinar as características físicas, químicas e mecânicas dos solos para garantir que eles possam suportar as cargas aplicadas pelo tráfego de veículos. De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, as características mais importantes a serem consideradas na avaliação da viabilidade técnica incluem a plasticidade, o controle da compactação, a deformabilidade à carga e a permeabilidade. Além disso, é importante levar em conta fatores ambientais, climáticos e a capacidade de suportar cargas durante períodos prolongados de tempo (DNIT, 2002).

Assim, para a construção rodoviária, analisar as propriedades são fundamentais na composição das camadas de suporte dos pavimentos, tais como o subleito, sub-base, base e revestimento. É importante que esses solos apresentem propriedades específicas que possibilitem suportar os esforços e cargas aplicadas durante toda a vida útil do pavimento (AZEVEDO *et. al.*, 1998).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar por meio de estudos geotécnicos, se o material extraído de um loteamento na cidade de Sousa-PB é adequado e apresenta as propriedades necessárias para ser utilizado de forma apropriada na pavimentação.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar o solo em estudo com base nos ensaios realizados, sendo eles: granulometria, limites de Atterberg, compactação e CBR;
- Comparar os resultados obtidos com as especificações e exigências estabelecidas para camadas de pavimentação, a fim de avaliar a viabilidade do solo para uso nesse contexto.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O solo é um material resultante da decomposição das rochas pela ação de agentes de intemperismo. Para a engenharia rodoviária, qualquer material que possa ser escavado com pá, picareta, entre outros, que não tenha necessidade de explosivos é considerado como solo.

Para a execução de obras de engenharia é indispensável caracterizar o solo que receberá a obra. Uma investigação geotécnica busca obter a estratigrafia do subsolo, identificar algum tipo de contaminação, obter o nível de água (NA) e possibilitar a obtenção dos parâmetros geotécnicos para realização de futuros comportamentos.

A análise do solo se dá pela execução de ensaios em laboratório e de campo. O processo inicial para a realização de procedimentos em laboratório é a retirada de amostra em campo, que pode ser deformada ou indeformada. O primeiro tipo consiste na retirada do solo sem que haja preservação de suas características, já o segundo exige que estas sejam mantidas, existindo uma representação do estado natural do material (KNAPPETT; CRAIG, 2014).

Os pavimentos podem ser classificados em três categorias: flexíveis, semi-rígidos e rígidos. Segundo Senço (2008), todos esses tipos de pavimento são construídos após a terraplenagem, visando resistir aos esforços verticais e horizontais impostos pelo trânsito, além de melhorar as condições de rolamento, conforto e segurança. A construção de pavimentos é uma tarefa complexa, que exige conhecimentos técnicos para garantir a sua durabilidade e funcionalidade.

3.1 Categorias dos pavimentos

3.1.1 Pavimentos flexíveis

Segundo a Confederação Nacional do transporte - CNT (2017) o pavimento flexível é composto por várias camadas, como pode ser observado na Figura 1 e todas elas sofrem deformações elásticas significativas, a carga proveniente do tráfego se distribui em parcelas equivalentes entre todas as camadas constituintes. Geralmente é executado com revestimento betuminoso sobre camadas puramente granulares.

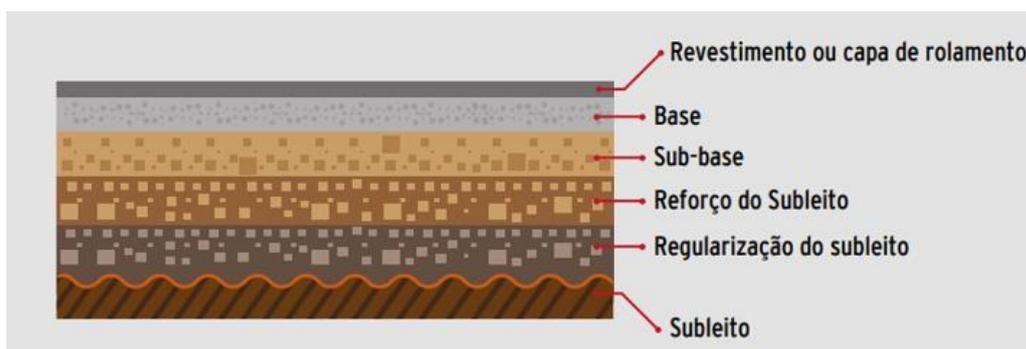


Figura 1- Camadas do pavimento flexível. (Fonte: CNT, 2017)

3.1.2 Pavimento Rígido

Os pavimentos rígidos são pouco deformáveis e constituídos por concreto e cimento, possuem elevada rigidez em relação as camadas inferiores, as tensões provenientes do tráfego são absorvidas e distribuídas em uma grande área, permitindo menores esforços sobre o subleito. As camadas que o constituem podem ser observadas na Figura 2.

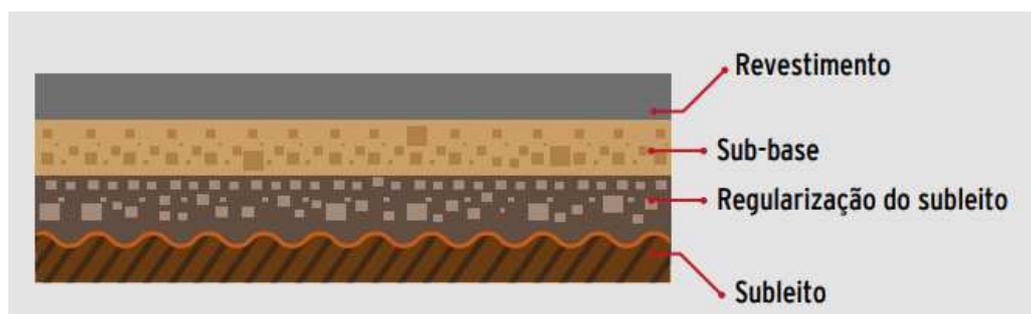


Figura 2- Camadas do pavimento rígido. (Fonte: CNT, 2017)

3.1.3 Pavimento Semi-Rígido

Os pavimentos semi-rígidos são um tipo de pavimento intermediário entre os pavimentos rígidos e flexíveis. Eles são compostos por camadas de base, sub-base e uma camada de ligação, além de uma camada superior de asfalto, como observado na Figura 3. Esses pavimentos apresentam uma proteção reforçada entre os pavimentos rígidos e flexíveis, e são frequentemente usados em rodovias de baixo e médio volume de tráfego (DNIT,2017).

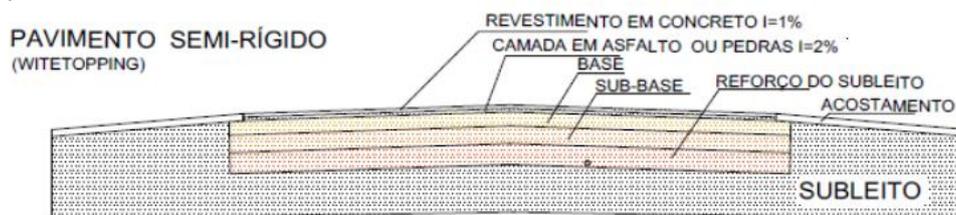


Figura 3- Camadas do pavimento semi rígido. (Fonte:Silva,2018)

3.2 Funções das camadas do pavimento

As camadas do pavimento desempenham funções específicas que são fundamentais para garantir a segurança e a durabilidade da estrada. Cada camada tem suas próprias especificações de serviço, que são determinadas pelo tipo de pavimento, pelas condições climáticas e pelo tráfego previsto.

3.2.1 Subleito

O subleito é uma camada estrutural fundamental em pavimentações, pois tem a função de distribuir as cargas dos veículos de maneira uniforme e proporcionar estabilidade à superfície do pavimento. Ela é composta geralmente por solos naturais, como solo compactada ou agregados, mas também pode incluir materiais como cascalho, areia ou pedra britada, conforme especificações do projeto (BRASÍLIA, 2017).

A camada de subleito deve ter uma espessura mínima de 30cm, ser compactada até um grau de compactação de 95% e não apresentar deformações excessivas sob as cargas aplicadas.

Além disso, é necessário realizar análises do solo do subleito para verificar sua capacidade de suportar as cargas aplicadas e avaliar se é necessário realizar algum tratamento prévio para melhorar as características do solo. Para realizar essas análises, é importante levar em consideração que o material ensaiado deve apresentar uma expansão menor ou igual a 2% e ISC (Índice de Suporte Califórnia) maior ou igual a 2%. Esses critérios são de fundamental importância para garantir a qualidade e segurança da construção (DNIT, 2006).

De acordo com SIURB/PMSP (2004), o subleito deve ser calculado em função do valor do Índice de Suporte Califórnia (ISC) representativo de suas camadas, deve ser isento de solos moles, orgânicos ou turfosos, e caso apresentem algum desses materiais, devem ser substituídos por material de jazida selecionada. Ainda pelo mesmo órgão, em sua instrução de projeto IP-06/2004, a camada de subleito deve apresentar um $ISC \geq 2\%$ e uma expansão menor ou igual a 2%, ambos ensaiados na energia de compactação normal. De forma semelhante, AGETOP (2016) determina que “os materiais de subleito deverão apresentar $ISC \geq 2,0\%$ e uma expansão livre medida no ensaio menor ou igual a 2,0%”. Havendo assim uma convergência entre as bibliografias citadas.

3.2.2 Reforço do subleito

O reforço do subleito é uma camada adicional colocada acima do subleito para melhorar a suportabilidade do solo natural, aumentando sua capacidade de suportar as cargas do pavimento. Ela é geralmente usada em solos moles ou com baixa capacidade de suporte.

A compactação da camada de reforço do subleito deve ser feita de forma a garantir um grau de compactação de 95% da densidade máxima seca do material utilizado. Além disso, é recomendado que o material seja submetido a ensaios de resistência à carga cisalhante para garantir a sua capacidade de suportar as cargas do pavimento.

Segundo o DNIT (2006), os materiais de reforço do subleito precisam apresentar ISC maior que subleito e expansão menor ou igual a 1%.

3.2.3 Sub-base

A sub-base é uma camada de material granular, localizada abaixo da camada de base, que tem como função distribuir as cargas aplicadas pela camada de pavimento para as camadas inferiores do solo e aumentar a capacidade de suporte do pavimento. Uma sub-base geralmente é composta por materiais como pedra britada, pedrisco, areia ou outros materiais granulares.

Em geral, deve ser resistente e capaz de suportar a carga aplicada pelo tráfego de veículos. É importante ressaltar também que a sub-base tenha uma boa drenagem, para evitar problemas de umidade e perda de capacidade de suporte.

Esta camada deve ser composta de materiais granulares, como pedra britada ou pedrisco, com diâmetro máximo de 63 mm. A espessura mínima recomendada é de 15 cm, mas pode variar de acordo com a carga prevista para o pavimento e conforme as condições do solo natural.

O suporte de ISC da sub-base deve ser maior ou igual a 20%, seu índice de grupo precisa ser igual a zero e sua expansão menor ou igual a 1% (DNIT,2006).

3.2.4 Base

A camada de base é projetada para resistir e distribuir esforços verticais, pois é sobre ela que o revestimento é construído. Sua capacidade de suporte está diretamente relacionada aos materiais utilizados, que podem ser os mesmos da sub-base, mas de qualidade superior. A tensão máxima de cisalhamento ocorre na camada de base, por isso é importante que seja feita com materiais de excelente qualidade. Em alguns casos, pode ser necessário aplicar uma camada fina de material asfáltico na superfície para promover a aderência entre as placas do pavimento (MARQUES, 2014; BRASÍLIA, 2017).

Para a base, considera-se que seu índice de plasticidade seja menor ou igual a 6%, limite de liquidez menor ou igual a 25%, ISC maior ou igual a 80% e expansão menor ou igual a 0,5%.

Os parâmetros estabelecidos para cada camada segundo o DNIT (2006) estão resumidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros de ensaios

Camadas	ISC (%)	I.G	Expansão (%)	LL e LP (%)
Subleito	≥ 2,0	-	≤ 2	-
Reforço do Subleito	ISC > Subleito	-	≤ 1	-
Sub-base	≥ 20	0	≤ 1	-
Base	≥ 80	-	≤ 0,5	LL ≤ 25 e IP ≤ 6

Fonte: DNIT (2006).

3.3 Classificação dos solos

A classificação dos solos é de extrema importância para que se possa estimar seu comportamento e orientar uma investigação necessária para uma adequada análise de um problema (PINTO,2006).

Os sistemas de classificações mais utilizados são *Highway Research Board* (HRB) e o Sistema Unificado de Classificações dos Solos (SUCS).

3.3.1 Classificação HRB

A classificação HRB é um sistema mais conhecido mundialmente e mais utilizado para finalidades rodoviárias. A proposta desta classificação é estabelecer uma categorização para os solos do subleito com base na realização de ensaios de granulometria e limites de liquidez e plasticidade.

Com esses resultados consulta-se a Figura 4 de classificação da HRB, sempre da esquerda para a direita, e de cima para baixo, obtendo-se assim o grupo a que pertence o solo ensaiado. Esse sistema propõe que os solos sejam classificados em materiais granulares e materiais siltosos e argilosos. Os granulares são aqueles que possuem 35% ou menos passando pela peneira de malha nº 200, enquanto os materiais siltosos e argilosos são os que possuem mais de 35% da sua fração passando pela peneira de nº 200.

A classificação da AASHTO classifica o solo como de excelente a bom e fraco a pobre.

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS: Sugestão do Highway Research Board-HRB adotada pela AASHTO

Classificação Geral	Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira nº 200)							Materiais siltosos e argilosos (mais de 35% passando na peneira nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 / A-7-6
Peneiração: % que passa: Nº 10 Nº 40 Nº 200 (p)	50 máx. 30 máx. 15 máx.	50 máx. 25 máx.	51 mín. 10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração que passa nº 40 Limite de Liquidez - LL (%) Índice de Plasticidade IP (%)				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Grupo	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais que predominam	Pedra Britada pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia silosa ou argilosa				Solos Siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Fraco a pobre			

Processo de classificação: Com os dados de laboratório, iniciar a classificação da esquerda para a direita, por eliminação. O primeiro grupo da esquerda que satisfizer os dados será o grupo procurado.

SOLOS A-7: Se $IP \leq LL - 30$, será A-7-5; Se $IP > LL - 30$, será A-7-6.

Índice de Grupo (IG): $IG = 0,2 \cdot a + 0,005 \cdot a \cdot c + 0,01 \cdot b \cdot d$

Onde:

p: teor de silte + argila do solo, ou seja, a porcentagem que passa na peneira nº 200.

$a = p - 35$ (se $p > 75\%$, adota-se 75 e se $p < 35\%$, adota-se 35)

a varia de 0 a 40 e 0,2 . a varia de 0 a 8.

$b = p - 15$ (se $p > 55\%$, adota-se 55 e se $p < 15\%$, adota-se 15)

b varia de 0 a 40 e 0,01 . $b \cdot d$ varia de 0 a 8.

$c = LL - 40$ (se $LL > 60\%$, adota-se 60 e se $LL < 40\%$, adota-se 40)

c varia de 0 a 20 e 0,005 . $a \cdot c$ varia de 0 a 4.

$d = IP - 10$ (se $IP > 30$, adota-se 30 e se $IP < 10$, adota-se 10)

d varia de 0 a 20 e 0,01 . $b \cdot d$ varia de 0 a 8.

$IG_{\min.} = 0$ $IG_{\max.} = 20$

IG - o resultado final obtido deve ser um nº inteiro - aproximação para o nº inteiro acima.

Figura 4- Classificação dos solos. (Fonte :Manual de Técnicas de Pavimentação,2018)

3.3.2 Classificação SUCS

O sistema SUCS (ou U.S.C.) é o aperfeiçoamento da classificação de Casagrande para utilização em aeroportos, adaptada para uso no laboratório e no campo pelas agências americanas "Bureau of Reclamation" e "U.S. Corps of Engenneers", com simplificações que permitem a classificação sistemática. Foi proposto por Arthur Casagrande no início da década de 40.

A ideia básica do Sistema Unificado de Classificação dos solos é que os solos grossos podem ser classificados de acordo com a sua curva granulométrica, ao passo que o comportamento de engenharia dos solos finos está intimamente relacionado com a sua plasticidade (MACHADO, 2022).

Quando apresentarem frações granulométricas inferiores a 0,42mm é necessário fazer o uso do ábaco de plasticidade no qual o eixo das abcissas apresenta o valor do limite de liquidez e no eixo das ordenadas o índice de plasticidade, como pode ser observado na Figura 5.

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS - SUCS

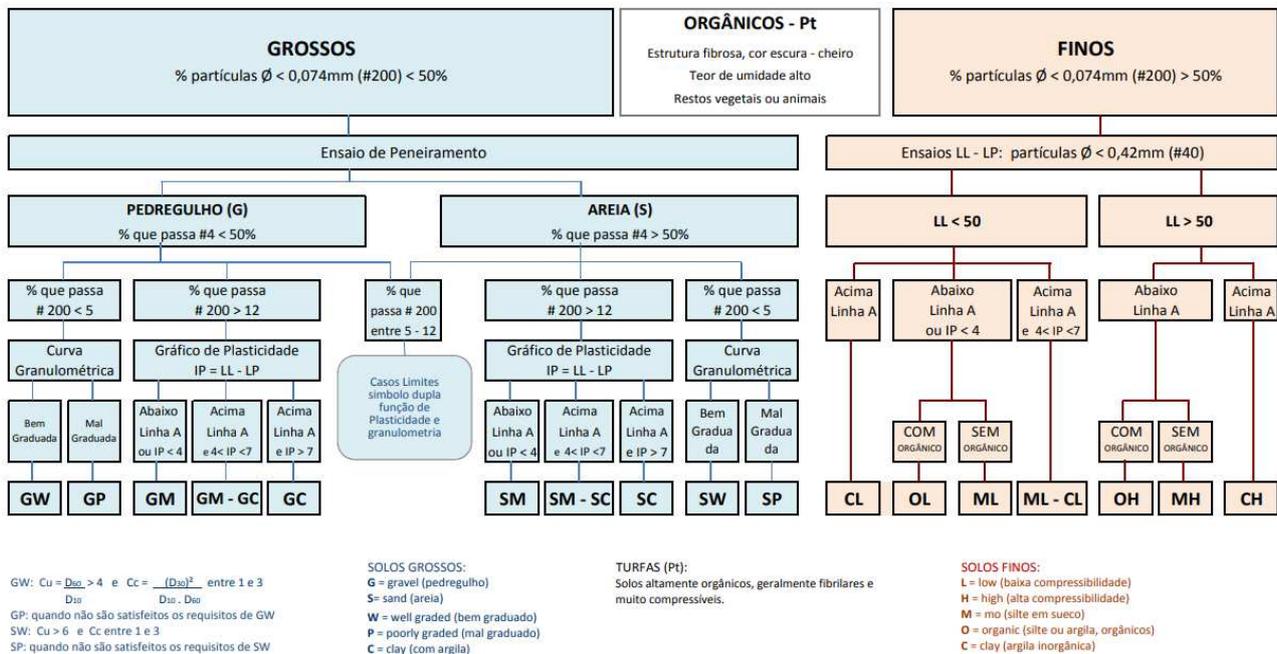


Figura 5- Classificação dos solos SUCS. (Fonte: Lab: John Neves Braga Santos,2017)

3.4 Estudos geotécnicos

Para a elaboração de projetos de pavimentação é imprescindível o conhecimento dos materiais da região estudada. Existem dois objetivos em destaque, são eles: a caracterização do subleito da estrada e o estudo dos materiais disponíveis para ser utilizados em camadas granulares do pavimento (DNIT,2006).

3.4.1 Granulometria

A análise granulométrica retrata a busca pelo conhecimento da dimensão média das partículas de um determinado tipo de solo, podendo ser determinada a curva granulométrica. Para a realização desta análise uma amostra será submetida ao peneiramento seguindo a NBR 7181 (ABNT, 2018).

De acordo com o DNIT (2006), a curva granulométrica é traçada em um diagrama semi-logarítmico que apresenta no eixo x os logaritmos das dimensões das partículas e como eixo y as porcentagens, em peso, de material que possui dimensão média menor que a dimensão considerada (porcentagem de material que passa através da peneira). Ela é utilizada para representar as características granulométricas de um determinado solo ou agregado.

3.4.2 Limites de consistência

Dentre as características mais importantes para os estudos da engenharia geotécnica estão os limites de consistência do solo. Eles definirão o comportamento do solo quando submetido a tensões e deformações (GONÇALVES, 2018).

Apenas a realização de ensaios de caracterização não fornece informações suficientes, pois o comportamento é destinto em função do teor de umidade. Portanto, os limites de Atterberg definem os teores de umidade do solo em função das mudanças de estado (SAYÃO; SIEIRA; SANTOS, 2009).

Com o intuito de conhecer o comportamento do solo que está sendo caracterizado, se fazem necessários ensaios para determinar os limites de umidade de diferentes estados físicos, regidos pela NBR 6459 (ABNT, 2016) e NBR 7180 (ABNT, 2016).

O Limite de Liquidez (LL) é o valor de umidade para qual o solo passa do estado líquido para o estado fluido. Já o Limite de Plasticidade (LP) é o valor em que o solo passa do estado semissólido para o estado plástico.

Depois de conhecidos os limites de consistência de um solo, vários índices podem ser definidos, dentre eles está o Índice de Plasticidade (IP), correspondendo a faixa de valores de umidade do solo em que ele se comporta de maneira plástica. É a diferença numérica entre os valores de limite de liquidez e plasticidade. Através do IP, é possível avaliar a plasticidade do solo e classificá-lo quanto ao seu índice de plasticidade (MACHADO, 2022).

3.4.3 Compactação

Segundo Orioli (2018) a compactação aumenta a densidade do solo, melhorando sua resistência e durabilidade. Isto é obtido pela redução de vazios da mistura por meio da energia imposta. A redução dos poros também inibe a percolação de água, aumentando sua durabilidade.

O ensaio de compactação dos solos é uma técnica fundamental para avaliar as propriedades mecânicas e geotécnicas dos solos e garantir sua qualidade quando utilizado em projetos de construção e terraplanagem. O grau de compactação do solo é a relação entre o teor de umidade do solo e sua massa específica seca. A compactação pode ser feita nas energias normal, intermediária ou modificada (OLIVEIRA *et al.* 2020).

3.4.4 Índice de Suporte Califórnia

O ensaio Índice de Suporte Califórnia é um método utilizado para avaliar a expansividade dos solos, ou seja, sua capacidade de suportar cargas. Este ensaio é amplamente utilizado em obras rodoviárias, pois permite determinar a qualidade dos solos utilizados em camadas de sub-base e base, bem como avaliar a necessidade de tratamento dos solos antes da construção.

De acordo com Ventura (2019), o ISC é expresso em termos percentuais e representa a relação entre duas amostras verificadas na mesma carga. Uma dessas

amostras é uma amostra padronizada de pedra, cujos resultados já são conhecidos, enquanto a outra amostra é de solo em estudo.

Até hoje, este ensaio é um dos parâmetros mais importantes utilizados no dimensionamento de rodovias. Outro fator crucial é o índice de suporte ao cisalhamento (ISC), que é condicionante para a aprovação de um tipo de solo como subleito. Para que o solo seja utilizado nessa camada, é necessário que o ISC mínimo seja de 2%. Já para que o material sirva como base, o valor mínimo deve ser de 80% (DNIT, 2006).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foram coletadas amostras de solo em um loteamento do município de Sousa- PB (Figura 6). Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e conduzidas até o laboratório da Terra Sol Engenharia Geotécnica, onde foram realizados os ensaios.



Figura 6- Localização. (Fonte: Autor,2023)

As amostras utilizadas neste estudo foram cuidadosamente coletadas por meio de sondagem a trado (Figura 7), seguindo rigorosamente o plano estabelecido pela empresa.

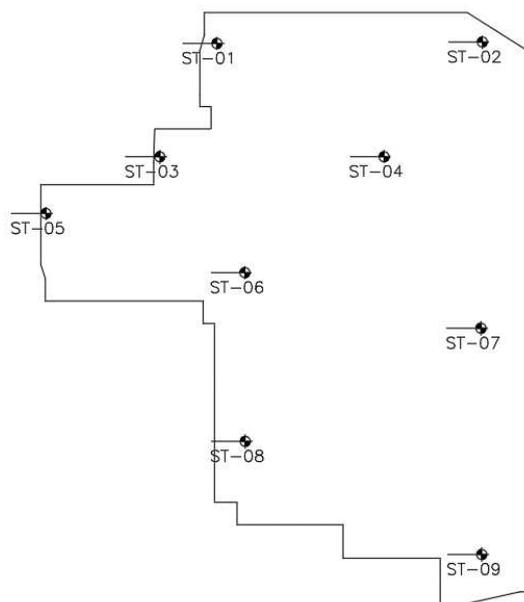


Figura 7- Localização dos pontos de sondagem (Fonte: Autor,2023)

As amostras foram extraídas da camada de subleito do loteamento em estudo, garantindo uma representatividade adequada das condições do solo (Tabela 2).

Tabela 2 – Profundidade das amostras

Amostra	Profundidade (m)
ST-01.A	0 a 0,42
ST-01.B	0,42 a 0,85
ST-01.C	0,85 a 2,00
ST-02.A	0,00 a 0,55
ST-02.B	0,55 a 0,80
ST-02.C	0,80 a 1,13
ST-03.A	0,00 a 0,57
ST-03.B	0,57 a 1,51
ST-04.A	0 a 0,42
ST-04.B	0,42 a 0,94
ST-04.C	0,94 a 1,58
ST-05.A	0,00 a 1,27
ST-06.A	0,00 a 1,23
ST-07.A	0,00 a 0,29
ST-07.B	0,29 a 0,96
ST-08.A	0,00 a 0,65
ST-08.B	0,65 a 1,60
ST-09.A	0,00 a 0,32
ST-09.B	0,32 a 1,10

Fonte: Autor, 2023

4.1 Granulometria por peneiramento

O ensaio de granulometria por peneiramento é regido pela NBR 7181 (ABNT 2018), realizado utilizando peneiras padronizadas, com malhas de diferentes tamanhos, para separar as partículas do material de acordo com o seu tamanho. Primeiramente, foi feita a lavagem da amostra nas peneiras de 2,0 e 0,075mm e colocadas em estufa (Figura 8) para secagem eliminando sua umidade para obter uma amostra seca para o ensaio. Logo em seguida, colocou-se na peneira de maior abertura, sendo agitada manualmente para que

as partículas menores passassem pelos orifícios. Esse processo foi repetido sucessivamente com peneiras cada vez menores, até que todas as partículas fossem separadas. As peneiras utilizadas foram as de números 50 mm, 32mm, 25mm, 19mm, 9,5mm, 4,8mm, 2,0mm, 1,20mm, 0,6mm, 0,420mm, 0,300mm, 0,150mm e 0,075mm, apresentadas na Figura 9.

Após o peneiramento, todo o material retido em cada peneira foi pesado individualmente, com os pesos determinados, foi possível calcular a porcentagem de material retido em cada peneira, bem como a porcentagem passante. Os resultados serão apresentados em uma curva granulométrica, mostrando a distribuição dos tamanhos de partículas.



Figura 8 – Separação de amostras para secagem na estufa. (Fonte: Terra Sol Engenharia Geotécnica,2021)



Figura 9 - Sequência de malhas. (Fonte: Terra Sol Engenharia Geotécnica,2021)

4.2 Limites de Atterberg

O ensaio de limite de liquidez foi realizado com base na norma NBR 6459 (ABNT, 2016). Primeiramente foram separados 200g de material previamente passado na peneira de 0,42mm, adicionando água destilada aos poucos conforme experiência do laboratorista da Terra Sol Engenharia Geotécnica, o material foi homogeneizado em uma porcelana e transferido para o aparelho de Casagrande, como observado na Figura 10, realizando-se uma ranhura com o auxílio do cinzel. Girou-se a manivela do equipamento contando o número de golpes até que a ranhura tenha se fechado em um comprimento de aproximadamente 13mm. Em seguida, retirou-se uma pequena amostra para a determinação da umidade, retornando para a porcelana e repetindo o ensaio por mais 3

vezes. O teor do limite de liquidez é considerado quando a ranhura feita no solo atinja 25 golpes.



Figura 10- Limite de Liquidez. (Fonte: Terra Sol Engenharia Geotécnica,2021)

Após a determinação do limite de liquidez, prosseguiu para o ensaio de limite de plasticidade, a NBR 7180 (ABNT, 2016) foi seguida para a realização. Com a mesma amostra utilizada no ensaio de liquidez, foi formada uma pequena bola, rolando com a mão sob uma placa de vidro até que ela se aproximasse de um cilindro comparativo que possui 3mm de diâmetro e 10 cm de comprimento, como é apresentado na Figura 14. Esse passo foi repetido três vezes, com a amostra sendo dividida em três partes iguais em 3 cápsulas. As amostras foram então levadas à uma estufa de 110°C por 24 horas. Após esse período, foram retiradas da estufa e pesadas em uma balança de precisão. A média dos resultados obtidos nas três cápsulas é o valor do limite de plasticidade.



Figura 11- Limite de Plasticidade. (Fonte: Terra Sol Engenharia Geotécnica,2021)

O Índice de Plasticidade é calculado subtraindo o Limite de Liquidez do Limite de Plasticidade e pode ser classificado de acordo com a Tabela 3.

Índice de Plasticidade	Classificação
IP = 0	Não Plástico
1 < IP < 7	Pouco Plástico
7 < IP < 15	Plasticidade Média
IP > 15	Muito Plástico

Fonte: Machado e Machado,2022.

4.3 Compactação

Este ensaio foi realizado com base na norma NBR 7182 (ABNT, 2016), buscando a determinação da curva de compactação, relacionando o teor de umidade e a massa específica aparente seca do solo. Foi utilizado cerca de 6kg de material destorroado, adicionando água destilada até obter uma mistura homogênea, a energia utilizada foi a normal, utilizando o molde cilíndrico Proctor pequeno, compactando a amostra em três camadas iguais com um soquete caindo a uma altura de 0,30m aplicando 26 golpes distribuídos de maneira uniforme (Figura 12). A superfície do material foi regularizada com o auxílio de uma régua biselada, retirando a base e o colarinho e pesando o conjunto cilíndrico junto com o solo compactado. A amostra então é retirada do cilindro com a ajuda de um extrator (Figura 13), partindo-se ao meio e recolhendo uma pequena quantidade de amostra colocando em uma cápsula para determinar a sua umidade, obtendo assim o primeiro ponto.

O ensaio ocorreu com reaproveitamento do material, sendo assim, ele foi desmanchado novamente, adicionando mais água para que se obtivesse novos pontos. Foram obtidos 5 corpos de prova.



Figura 12- Compactação (Fonte: Terra Sol Engenharia Geotécnica,2021)



Figura 13- Amostra retirada do extrator. (Fonte: Terra Sol Engenharia Geotécnica,2021)

Para calcular a massa específica aparente do solo seco compactado, é necessário determinar a massa específica aparente do solo úmido. Como pode ser observado na equação (1):

$$\gamma_h = \frac{Ph'}{V} \quad (1)$$

Em que, γ_h é a massa específica aparente do solo úmido, Ph' é o peso do solo úmido compactado e V é o volume do cilindro.

Em seguida, é determinada a massa específica aparente do solo seco (γ_s) utilizando a equação (2):

$$\gamma_s = \frac{\gamma_w}{(1 + w)} \quad (2)$$

onde h é o teor de umidade do solo seco.

Com isso, pode-se obter a curva de compactação, representada no sistema cartesiano, com a massa específica aparente do solo seco (γ_s) no eixo das ordenadas e o teor de umidade ótima em porcentagem (%) no eixo das abscissas.

4.4 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA

Foram realizados os ensaios de determinação do ISC seguindo a norma NBR 9895 (ABNT, 2017). Este ensaio se divide nas etapas de expansão e penetração. Para a etapa de expansão foi moldado um corpo de prova com o teor de umidade obtido no ensaio de compactação utilizando o cilindro Proctor grande, fazendo uso do disco espaçador e papel filtro, com o soquete grande utilizando energia normal de compactação, formando 5 camadas, cada uma com 12 golpes de soquete caindo a uma altura de 0,45m.

Assim como no ensaio de compactação, o colarinho foi removido e a superfície do cilindro foi regularizada, o cilindro foi invertido, e o disco espaçador substituído pelo prato perfurado com hastes e sobrecargas. Em seguida, transferidos para um tanque com água (Figura 14) onde ficaram 96 horas submersos, realizando leituras de expansão através de um extensômetro de 0,01mm a cada 24 horas.



Figura 14- Corpos de prova (Fonte: Terra Sol Engenharia Geotécnica,2021)

Para finalizar, os corpos de prova foram levados à prensa para realização dos ensaios de ISC (Figura 15), ajustando o cilindro com o pistão da prensa e zerando os extensômetros. Aplicou-se o carregamento com velocidade de 1,27mm/min, anotando-se a carga e penetração a cada 30 segundos em um intervalo de 8 minutos.



Figura 15- Rompimento dos corpos de prova (Fonte: Terra Sol Engenharia Geotécnica,2021)

O valor de ISC é calculado conforme as equações abaixo, os valores das pressões são expressos em kg porcentagem. A expansão foi determinada pela diferença de leitura no extensômetro durante as 96 horas e ISC adotando o maior valor, utilizando as equações (3) e (4).

$$\text{Expansão} = \frac{\text{Leitura final} - \text{leitura inicial}}{\text{altura do corpo de prova}} \quad (3)$$

$$\text{ISC} = \frac{\text{pressão calculada}}{\text{pressão padrão}} \times 100 \quad (4)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os ensaios realizados em laboratório desempenham um papel fundamental na determinação das características físicas, químicas e mecânicas dos solos. Nesta seção, serão apresentados os resultados obtidos por meio desses ensaios. Com base nos resultados obtidos, será realizada uma análise, levando em consideração os parâmetros estabelecidos pelo DNIT. Serão discutidas as variações observadas nos resultados, identificando amostras que atendem aos critérios estabelecidos e outras que não estão de acordo com tais parâmetros.

5.1 Classificação AASHTO

A classificação utilizada foi a AASHTO, pois é a mais utilizada na engenharia rodoviária. O material varia entre areia e silte, pode ser comprovado através da análise granulométrica, apresentada no item 5.2. Os grupos A-1, A-2 e A-3 são considerados excelente a bom para subleito, enquanto que os grupos A-4, A-5, A-6 e A-7 são fracos e pobres. Pode-se observar na Tabela 4 que a maioria das amostras são classificadas fracas ou pobres.

Tabela 4 – Classificação

Amostra	AASHTO
ST-01.A	A-4
ST-01.B	A-1-b
ST-01.C	A-6
ST-02.A	A-5
ST-02.B	A-7-6
ST-02.C	A-4
ST-03.A	A-1-a
ST-03.B	A-1-a
ST-04.A	A-1-a
ST-04.B	A-6
ST-04.C	A-7-5
ST-05.A	A-1-a
ST-06.A	A-4
ST-07.A	A-1-a
ST-07.B	A-1-a
ST-08.A	A-1-a
ST-08.B	A-1-a
ST-09.A	A-6
ST-09.B	A-7-5

Fonte: Autor, 2023

5.2 Análise Granulométrica

Os resultados da análise granulométrica estão apresentados na Tabela 5, classificados de acordo com a proporção de cada tipo de material encontrado (pedregulho, areia, silte+argila).

Observando os resultados, nota-se que a porcentagem de pedregulho varia de 3,64% a 48,85%, indicando uma presença significativa desse material em algumas amostras, mas não o suficiente para caracterizar o solo como predominantemente pedregulhoso.

A fração de areia foi bastante representativa na maioria das amostras, variando entre 20,08% e 70,98%. Essa variação sugere uma diversidade granulométrica considerável, com amostras que apresentam desde uma proporção relativamente baixa de areia até outras com uma presença mais expressiva. No entanto, a maioria das amostras apresenta teores de areia consideráveis, o que indica a possível classificação desses solos como areno-argilosos.

Em relação à fração de silte+argila, os valores variam de 15,35% a 71,13%. Essa ampla variação indica que algumas amostras possuem uma proporção significativa de material fino, caracterizado por silte e argila. Esses solos, com elevados teores de silte e argila, podem ser classificados como silto-argilosos.

A maioria das amostras apresenta características de solos areno-argilosos, com presença considerável de areia e proporções variáveis de silte e argila.

Tabela 5 – Granulometria

Amostra	Pedregulho (%)	Areia (%)	Silte+Argila (%)	Classificação
ST-01.A	8,80	20,08	71,13	Silte areno-argiloso
ST-01.B	36,24	37,84	25,91	Areia média a grossa silto-argilosa com pedregulhos
ST-01.C	3,64	25,98	70,37	Silte areno-argiloso
ST-02.A	17,46	29,63	52,91	Areia média a grossa silto-argilosa com pedregulhos
ST-02.B	7,32	27,39	65,29	Silte areno-argiloso
ST-02.C	10,62	44,56	44,82	Silte areno-argiloso
ST-03.A	12,46	69,35	18,19	Areia média a grossa
ST-03.B	31,55	50,62	17,83	Areia média a grossa com pedregulho
ST-04.A	48,07	28,62	23,31	Areia média a grossa com pedregulho
ST-04.B	11,09	40,37	48,54	Silte areno-argiloso
ST-04.C	10,84	48,12	41,03	Silte areno-argiloso
ST-05.A	26,93	57,72	15,35	Areia média grossa com pedregulhos
ST-06.A	21,43	26,78	51,79	Areia média a grossa com pedregulhos
ST-07.A	41,61	40,08	18,32	Areia média a grossa com pedregulhos
ST-07.B	48,85	32,16	18,99	Areia média grossa com pedregulhos
ST-08.A	16,86	54,99	28,15	Areia média a grossa com pedregulhos
ST-08.B	12,62	70,98	16,40	Areia média a grossa pouco siltosa
ST-09.A	29,06	22,12	48,82	Silte areno-argiloso com pedregulhos
ST-09.B	16,95	30,43	52,62	Silte areno-argiloso

Fonte: Autor, 2023

Das 19 amostras, foram constatadas que 57,89% (11 amostras) são areia média a grossa e 42,11% (8 amostras) são siltes arenosos.

5.3 Limites de Atterberg

A Tabela 6 apresenta os valores encontrados nos ensaios. De acordo com a Tabela 3, 31,58% destas amostras se classificam como não plásticas, 21,05% pouco plásticos, 5,26% com plasticidade média e 42,10% muito plásticos. A divergência de valores nos resultados encontrados para cada categoria se dá pela diferença nos tipos de solos analisados.

Tabela 6 – Limites de Atterberg

Amostra	LL (%)	LP (%)	IP (%)
ST-01.A	42,00	NP	NP
ST-01.B	50,0	29,0	21,0
ST-01.C	38,0	14,0	24,0
ST-02.A	51,0	50,0	1,0
ST-02.B	50,0	33,0	17,0
ST-02.C	40,0	35,0	5,0
ST-03.A	NL	NP	NP
ST-03.B	17,0	NP	NP
ST-04.A	25,0	18,0	7,0
ST-04.B	34,0	18,0	16,0
ST-04.C	47,0	31,0	16,0
ST-05.A	NL	NP	NP
ST-06.A	24,0	22,0	2,0
ST-07.A	NL	NP	NP
ST-07.B	30,0	14,0	16,0
ST-08.A	22,0	11,0	11,0
ST-08.B	19,0	NP	NP
ST-09.A	33,0	16,0	17,0
ST-09.B	46,0	30,0	16,0

Fonte: Autor, 2023

Solos não plásticos são mais rígidos e tendem a manter sua forma original mesmo quando aplicado cargas, indicando material arenoso. Solos com teores moderados de plasticidade indicam presença de argila, apresentando capacidade razoável de sofrer deformações. Enquanto solos muito plásticos tem alta capacidade de deformação quando submetidos a esforços.

5.4 Compactação

O teor de umidade ótimo e massa específica (Tabela 7) são itens fundamentais para a construção de estradas, visto que o material utilizado na pavimentação obedece a umidade ótima encontrada, assim, os resultados obtidos com o ensaio de compactação são indispensáveis para pavimentação.

Tabela 7 – Compactação

Amostra	W ótima (%)	Massa específica (g/cm ³)
ST-01.A	6,6	2,08
ST-01.B	11,4	1,87
ST-01.C	16,0	1,73
ST-02.A	13,4	1,81
ST-02.B	11,6	1,75
ST-02.C	18,8	1,67
ST-03.A	8,4	1,98
ST-03.B	8,6	2,04
ST-04.A	7,6	2,08
ST-04.B	24,2	1,64
ST-04.C	26,4	1,53
ST-05.A	7,4	2,04
ST-06.A	12,8	1,89
ST-07.A	7,7	2,13
ST-07.B	11,4	1,94
ST-08.A	8,8	2,04
ST-08.B	10,1	2,04
ST-09.A	17,3	1,71
ST-09.B	22,2	1,62

Fonte: Autor, 2023

A partir da Tabela 7, pode-se analisar que os valores de umidade ótima (W), variam de 6,6% (ST-01.A) a 26,4% (ST-04.C) indicando uma ampla variação nas condições de umidade necessárias para cada amostra atingir sua massa específica seca máxima. A utilização de energia normal em todas as amostras evidencia que materiais finos apresentam valores de umidade maiores em relação a materiais mais arenosos.

Para os valores de massa específica seca, observa-se uma variação de 1,53 g/cm³ (ST-04.C) a 2,13 g/cm³ (ST-07. A). Essa variação indica diferenças nas características de compactação e nas propriedades físicas dos solos analisados.

Essas variações nos valores de umidade ótima e massa específica seca são influenciadas por fatores como sua composição granulométrica que varia entre solos arenosos e areno-argilosos e sua plasticidade. Também é importante considerar que cada amostra foi coletada em um local específico, sujeito a condições geológicas e ambientais diferentes.

5.5 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA

Os resultados obtidos com o ensaio de ISC são indispensáveis para pavimentação. Quanto menor a expansão, menor a tendência a sofrer deformações volumétricas significativas, sendo estas as recomendadas para camadas de pavimentação, as amostras analisadas apresentam valores baixos de expansão, variando de 0,00% a 5,75%. Enquanto o ISC varia de 0% a 58%.

Segundo o DNIT (2006), SIURB/PMSP (2004) e AGETOP (2016), os valores recomendados para expansão são menores ou iguais a 2%, enquanto que o ISC seja maior ou igual a 2%. Analisando estas recomendações foi apresentado na Tabela 8 quais amostras atendem ou não a estes critérios.

Tabela 8 – ISC

Amostra	Expansão (%)	ISC (%)	Atendem aos critérios
ST-01.A	0,09	44	SIM
ST-01.B	0,39	0	NÃO
ST-01.C	5,75	1	NÃO
ST-02.A	0,35	1	NÃO
ST-02.B	0,04	1	NÃO
ST-02.C	3,76	2	NÃO
ST-03.A	0,04	58	SIM
ST-03.B	-0,12	28	SIM
ST-04.A	0,27	15	SIM
ST-04.B	1,46	1	NÃO
ST-04.C	0,04	9	SIM
ST-05.A	0,21	11	SIM
ST-06.A	1,70	3	SIM
ST-07.A	-0,07	39	SIM
ST-07.B	0,00	9	SIM
ST-08.A	0,01	8	SIM
ST-08.B	0,39	7	SIM
ST-09.A	5,50	3	NÃO
ST-09.B	1,16	6	SIM

Fonte: Autor, 2023

Posto isto, foi constatado que 63,16% (12 amostras) das amostras, são recomendadas para utilização em camadas de subleito enquanto que 36,84% (7 amostras) não são recomendadas.

5.6 Análise da viabilidade do solo

A partir da análise dos resultados dos ensaios geotécnicos realizados, foi possível observar que o solo investigado é predominantemente arenoso, com a presença de silte e argila. Além disso, constatou-se que apresenta uma plasticidade classificada como média a alta.

No entanto, ao avaliar os valores obtidos no ensaio de ISC, verificou-se que algumas amostras não atenderam aos critérios satisfatórios (Tabela 9) recomendados pelo DNIT (2006), SIURB/PMSP (2004) e AGETOP (2016) para utilização na camada de subleito.

Tabela 9 – Resumo das amostras

Amostra	Utilização
ST-01.A	Subleito
ST-01.B	-
ST-01.C	-
ST-02.A	-
ST-02.B	-
ST-02.C	-
ST-03.A	Subleito
ST-03.B	Subleito
ST-04.A	Subleito
ST-04.B	-
ST-04.C	Subleito
ST-05.A	Subleito
ST-06.A	Subleito
ST-07.A	Subleito
ST-07.B	Subleito
ST-08.A	Subleito
ST-08.B	Subleito
ST-09.A	-
ST-09.B	Subleito

Fonte: Autor, 2023

A Figura 16 apresenta um gráfico de dispersão que ilustra a relação entre os valores de ISC e a massa específica aparente seca. Observa-se uma concentração de amostras com ISC baixo, abaixo de 2%, e uma variação na massa específica entre 1,60 e 2,00. Essas amostras são classificadas como materiais siltosos e argilosos, o que as torna inadequadas para uso como material de subleito na pavimentação, conforme indicado na Tabela 9.

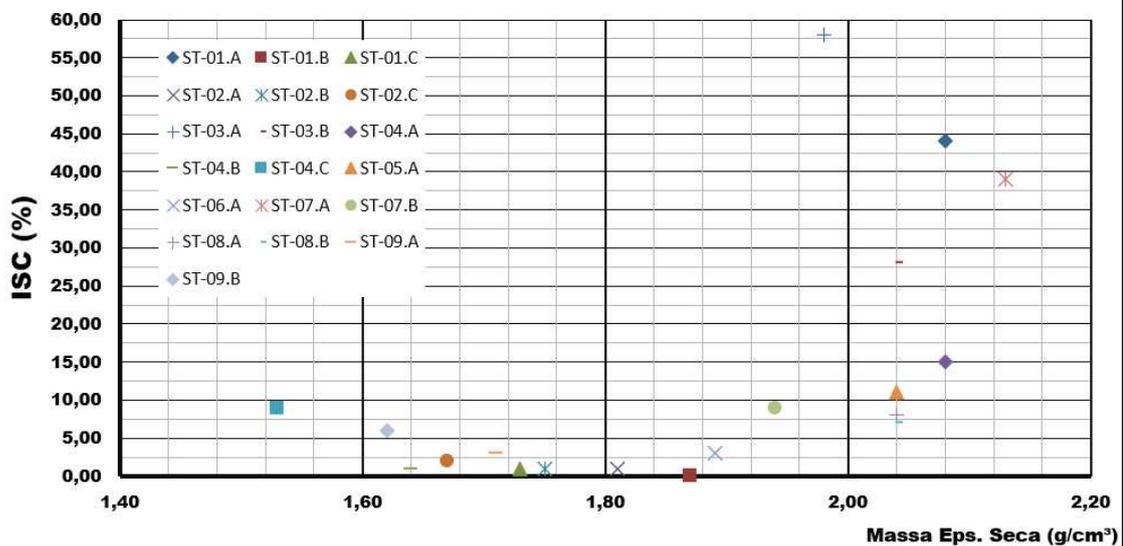


Figura 16- Gráfico de dispersão ISC x Massa Esp. Seca (Fonte: Autor,2023)

Para que o solo possa ser utilizado no subleito, é necessário realizar um estudo mais aprofundado, considerando aspectos como a regularização dessa camada e melhorias nesse solo. Será preciso adotar medidas adequadas para melhorar suas características e torná-lo compatível com os requisitos de resistência e capacidade de suporte exigidos para a pavimentação rodoviária.

6 CONCLUSÕES

O presente estudo revelou-se de extrema relevância, pois permitiu uma análise detalhada das amostras de solo de um loteamento na cidade de Sousa-PB, por meio de estudos geotécnicos, com o objetivo de avaliar sua adequação como camada de pavimento.

Ao realizar o ensaio de granulometria, constatou-se que as amostras possuem características predominantemente arenosas, com presença de silte e argila. Os materiais arenosos variam entre 20,08% e 70,98%, enquanto a parte fina composta por silte+argila apresenta valores entre 15,35% e 71,13%. No entanto, foi observado que esse material apresenta má graduação para pavimentação, devido à sua plasticidade variável, que pode ser classificada como não plástica, mediana e altamente plástica.

Quanto aos ensaios de compactação, verificou-se uma variação nos níveis de umidade, que variaram entre 6,6% e 26,4%. Essa variação ocorre devido à composição predominante de areia, porém também com presença de finos. Para a avaliação da viabilidade do solo, o ensaio de ISC é o mais significativo. Ao analisar os resultados obtidos, verificou-se que o solo em estudo apresenta variações, onde algumas amostras atendem aos parâmetros estabelecidos, enquanto outras não.

Dessa forma, o estudo realizado evidenciou que mesmo em um único local, o solo pode apresentar comportamentos distintos. Portanto, conclui-se que 63,16% (12 amostras) do material estudado pode ser utilizado em camadas de subleito para fins rodoviários desde que existam melhorias com a finalidade de torná-lo mais adequado para suportar cargas, enquanto que 36,84% (7 amostras) não se adequam as recomendações estabelecidas para reforço de subleito, base ou sub-base.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9895 - **Índice de suporte Califórnia (ISC) - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2017.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6459 - **Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 2016.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7180 - **Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 2016.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181 - **Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 2018.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 6457- **Preparação para ensaios de compactação e caracterização**. Rio de Janeiro, 2016.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 7182- **Ensaio de Compactação**. Rio de Janeiro, 2016.
- AZEVEDO, A. L. C., OLIVEIRA, A. JR., PEDROSA, R. A. e RAMALHO, R. W., **Estabilização de solos com adição de cal**. Belo Horizonte, 1998. Dissertação de pós-graduação. IPC/PUC. 78p.
- AZEVEDO, J. M. N.; FERNADEZ, M. F.; ARAÚJO, R. **Manual de Mecânica dos Solos**. São Paulo: Edgard Blücher, 1998. 669p.
- BRASÍLIA. CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES. **Transporte Rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do brasil não duram?** Brasília: II. Color, 2017. 160 p
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Pavimentação**. 3 ed. Rio de Janeiro, 2006
- DNIT – ME 160/201: **Solos – Pavimentação– Determinação da expansividade - Método de Ensaio**. Revisão da norma. DNER – ME 029/94 Rio de Janeiro, 2012.
- CHIOSSI, N. J. **Geologia aplicada à engenharia**. 2 ed. São Paulo: Grêmio Politécnico, 1979.
- KNAPPETT, J. A.; CRAIG, R. F. **Mecânica dos Solos**. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.
- MARQUES, Gabriele Born. **Análise de pavimento flexível: Estudo de um trecho crítico na rodovia ERS-421**. 2014. 83 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2014.
- MACHADO, S.L.; MACHADO, M.F.C, **Mecânica dos Solos I – Conceitos introdutórios**, 2022.
- Oliveira, M., Silva, JL, & Lopes, RF (2020). **Ensaio de compactação de solos: metodologia e aplicação**. Revista Tecnologia em Construção, 10(1), 1-9.

ORIOLO, Monigleicia Alcade. **Estudo do uso de agregado reciclado de resíduos de construção e demolição em misturas solo-agregado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas**. 3ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006

SAYÃO, Alberto; SIEIRA, Ana Cristina; SANTOS, Petrucio. **Reforço de Solos: Manual Técnico**. Empresa Maccaferri do Brasil. Jundiaí, 2009

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de técnicas de pavimentação**. 2. ed. [S. l.]: PINI Ltda, 2008. 758 p. v. 1.