

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS – CAMPUS SANTA LUZIA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

RAFAEL COSTA PEREIRA

**ESTIMATIVA DE PARÂMETROS GEOTÉCNICOS DE RESISTÊNCIA AO
CISALHAMENTO POR MEIO DE CORRELAÇÕES EMPÍRICAS COM O
ENSAIO SPT
ESTUDO DE CASO: IFMG – CAMPUS SANTA LUZIA (MG)**

Santa Luzia

2025

RAFAEL COSTA PEREIRA

**ESTIMATIVA DE PARÂMETROS GEOTÉCNICOS DE RESISTÊNCIA AO
CISALHAMENTO POR MEIO DE CORRELAÇÕES EMPÍRICAS COM O
ENSAIO SPT
ESTUDO DE CASO: IFMG – CAMPUS SANTA LUZIA (MG)**

Trabalho de conclusão de curso – TCC II
apresentado ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Minas
Gerais, como requisito parcial para
obtenção do título de graduação em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Giovani Moreira dos
Santos

Santa Luzia

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

P436e Pereira, Rafael Costa.

Estimativa de parâmetros geotécnicos de resistência ao cisalhamento por meio de correlações empíricas com o ensaio SPT: estudo de caso: IFMG - Campus Santa Luzia (MG). / Rafael Costa Pereira. - 2025. 103f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - Campus Santa Luzia, 2025.
Orientador: Prof. Dr. Giovani Moreira dos Santos.

1. engenharia geotécnica. 2. investigação do solo. I. Santos, Giovani Moreira dos. (orient.). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Santa Luzia, MG. III. Título.

CDU: 624.131.37

RAFAEL COSTA PEREIRA

**ESTIMATIVA DE PARÂMETROS GEOTÉCNICOS DE RESISTÊNCIA AO
CISALHAMENTO POR MEIO DE CORRELAÇÕES EMPÍRICAS COM O
ENSAIO SPT
ESTUDO DE CASO: IFMG – CAMPUS SANTA LUZIA (MG)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à “disciplina TCC II, do curso de Engenharia Civil” do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Santa Luzia como requisito para a obtenção de título em Bacharel. Aprovado pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

Prof. Dr. Giovani Moreira dos Santos
IFMG – INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS

Prof. Dr. Tiago Simão Ferreira
IFMG – INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS

Prof. Ms. Wílio Aparecido Rodrigues Torres
IFMG – INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS

Prof. Ms. André Pessoa Pacheco
IFMG – INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS

Prof. Ms. Marcos Vinícius Vieira Pereira
Coordenador do curso de nome do curso – IFMG-SANTA LUZIA

Data de aprovação: Santa Luzia, 04 de Fevereiro de 2025

Rua Érico Veríssimo, 143-371 – Londrina – Santa Luzia, MG - 33115390 - Brasil -
Tel.: (31) 3634-3910

RESUMO

A investigação geotécnica do subsolo constitui etapa fundamental para o desenvolvimento de projetos de Engenharia Civil, uma vez que as características do solo influenciam diretamente a segurança e o desempenho das estruturas. No Brasil, o ensaio de sondagem à percussão com *Standard Penetration Test* (SPT) é amplamente utilizado devido à sua simplicidade e baixo custo, fornecendo como principal resultado o índice de resistência à penetração dinâmica do solo (NSPT). Entretanto, o ensaio não fornece diretamente parâmetros fundamentais de resistência ao cisalhamento, como o ângulo de atrito interno e a coesão, os quais são essenciais para análises de estabilidade e dimensionamento de fundações. Neste contexto, o presente Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo estimar os parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo da área do IFMG – Campus Santa Luzia (MG), por meio da aplicação de correlações empíricas baseadas nos resultados do ensaio SPT, com ênfase no furo SPT-04. Para tanto, foram analisados dados de sondagem à percussão, corrigidos para eficiência energética, e realizados ensaios laboratoriais de caracterização física, incluindo análise granulométrica, limites de Atterberg, ensaio de sedimentação e determinação da massa específica dos grãos. Os resultados obtidos indicaram que o solo estudado apresenta baixa plasticidade, fração significativa de areia e silte, e comportamento típico de solo residual silto-argiloso. A aplicação das correlações empíricas permitiu a estimativa dos parâmetros de resistência, sendo observada maior coerência e conservadorismo nos resultados obtidos a partir das correlações propostas por Alonso (2010). Conclui-se que a integração entre ensaios de campo e laboratório é fundamental para a correta interpretação dos parâmetros geotécnicos e que as correlações empíricas baseadas no SPT são ferramentas válidas, desde que utilizadas com critério técnico.

Palavras-chave: Ensaio SPT. Parâmetros geotécnicos. Resistência ao cisalhamento. Correlações empíricas. Investigação geotécnica.

ABSTRACT

Geotechnical site investigation is a fundamental step in Civil Engineering projects, as soil characteristics directly influence the safety and performance of structures. In Brazil, the Standard Penetration Test (SPT) is widely used due to its simplicity and relatively low cost, providing the dynamic penetration resistance index (NSPT) as its main result. However, this test does not directly provide essential shear strength parameters, such as the internal friction angle and cohesion, which are required for stability analyses and foundation design. In this context, this undergraduate thesis aims to estimate the shear strength parameters of the soil at the IFMG – Campus Santa Luzia (MG), through the application of empirical correlations based on SPT results, with emphasis on borehole SPT-04. Field investigation data were analyzed and corrected for energy efficiency, and laboratory tests were carried out, including grain size analysis, Atterberg limits, hydrometer test, and determination of the specific gravity of soil particles. The results indicated that the studied soil presents low plasticity, a significant sand and silt fraction, and behavior typical of silty-clayey residual soils. The application of empirical correlations allowed the estimation of shear strength parameters, with the correlations proposed by Alonso (2010) providing more conservative and coherent results. It is concluded that the integration of field and laboratory tests is essential for reliable geotechnical interpretation and that SPT-based correlations are valid tools when applied with proper technical judgment.

Keywords: Standard Penetration Test. Geotechnical parameters. Shear strength. Empirical correlations. Site investigation.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	10
CAPÍTULO 2 – OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo Geral	12
2.2 Objetivos Específicos	12
CAPÍTULO 3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1 Investigação Geotécnica do Subsolo	13
3.2 Ensaio de Sondagem à Percussão – SPT	14
3.3 Energia do Ensaio SPT e Correção do NSPT	15
3.4 Resistência ao Cisalhamento dos Solos	16
3.5 Ensaios Laboratoriais para Determinação da Resistência	17
3.6 Correlações Empíricas Baseadas no SPT	18
3.7 Correlações Empíricas Propostas por Godoy (1983)	19
3.8 Correlações de Teixeira (1996) e Teixeira & Godoy (1996).....	20
3.9 Correlações Propostas por Alonso (2010)	21
3.10 Limitações das Correlações Empíricas Baseadas no SPT	22
3.11 Aplicabilidade das Correlações em Solos Silto-Argilosos e Solos Residuais.....	23
3.12 Considerações Finais da Revisão Bibliográfica	24
CAPÍTULO 4 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	25
4.1 Localização e Identificação da Área.....	25
4.2 Caracterização do Meio Físico	27
4.2.1 Contexto Geológico Regional	27
4.2.2 Caracterização Pedológica	29

4.3 Caracterização Geotécnica Preliminar do Subsolo	30
4.4 Uso e Ocupação do Solo	31
4.5 Considerações Finais sobre a Área de Estudo	32
CAPÍTULO 5 – METODOLOGIA.....	33
5.1 Considerações Gerais sobre a Metodologia.....	33
5.2 Ensaio de Sondagem à Percussão – SPT	33
5.2.1 Procedimento de Execução	33
5.2.2 Furo de Referência – SPT-04.....	35
5.2.3 Correção dos Valores de NSPT	35
5.3 Ensaio de Caracterização Física do Solo	36
5.3.1 Preparação das Amostras.....	36
5.3.2 Ensaio de Análise Granulométrica.....	37
5.3.3 Ensaio de Sedimentação (Densímetro).....	37
5.3.4 Ensaio de Limites de Atterberg.....	38
5.3.5 Ensaio de Determinação da Massa Específica dos Grãos	39
5.4 Aplicação das Correlações Empíricas.....	39
5.5 Organização e Análise dos Dados.....	40
5.6 Considerações Finais da Metodologia	40
CAPÍTULO 6 – RESULTADOS ENSAIOS DE LABORATÓRIO E CÁLCULOS	41
6.1 Ensaio de Análise Granulométrica – Cálculos	41
6.1.1 Peneiramento Grosso	41
6.2 Ensaio de Sedimentação – Densímetro (Cálculos).....	49
6.2.1 Dados Básicos	49
Leituras do densímetro	54
6.2.1.1 Lavagem e secagem	54
6.2.2 Fórmula Geral	54
Exemplo – leitura em 30 segundos	54
6.3 Peneiramento Fino	55

6.4 Limites de Atterberg – Cálculos.....	62
6.4.1 Limite de Liquidez (LL).....	64
6.4.2 Limite de Plasticidade (LP).....	68
6.4.3 Índice de Plasticidade (IP).....	71
6.5 Massa Específica dos Grãos – Picnômetro.....	72
Dados:	72
Fórmula:.....	72
6.6 Integração com o SPT-04	72
6.7 CÁLCULOS DO ENSAIO SPT E APLICAÇÃO DAS CORRELAÇÕES	73
6.7.1 Dados do Ensaio SPT – Furo SPT-04	73
6.7.2 Correção do NSPT para Energia – N_{60}	73
6.7.3 Estimativa do Ângulo de Atrito – Godoy (1983)	73
6.7.4 Estimativa da Coesão – Godoy (1983).....	73
6.7.5 Estimativa da Coesão – Alonso (2010) (<i>mais conservadora</i>)	74
CAPÍTULO 7 – TABELAS CONSOLIDADAS FINAIS	75
7.1 Parâmetros Geotécnicos Estimados.....	75
7.2 Parâmetros Físicos do Solo (Laboratório).....	75
CAPÍTULO 8 – DISCUSSÃO E RESULTADOS.....	76
CAPÍTULO 9 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
REFERÊNCIAS	78

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

A Engenharia Geotécnica desempenha papel fundamental no desenvolvimento de obras civis, uma vez que o comportamento do solo influencia diretamente a segurança, a durabilidade e a viabilidade econômica dos empreendimentos. Estruturas como fundações, taludes, contenções e pavimentos dependem de um conhecimento adequado das características geotécnicas do subsolo, tornando indispensável a realização de investigações de campo e ensaios laboratoriais que permitam a correta caracterização dos materiais naturais.

No Brasil, o **ensaio de sondagem à percussão com *Standard Penetration Test* (SPT)** é o método de investigação geotécnica mais amplamente empregado, devido à sua simplicidade de execução, baixo custo relativo e vasta aceitação técnica. Regulamentado pela **ABNT NBR 6484:2020**, o ensaio SPT fornece como principal resultado o índice de resistência à penetração dinâmica do solo (NSPT), parâmetro largamente utilizado em projetos de fundações e em análises preliminares de estabilidade geotécnica.

Apesar de sua ampla utilização, o ensaio SPT não fornece diretamente parâmetros fundamentais de resistência do solo, como o **ângulo de atrito interno (ϕ)** e o **intercepto de coesão (c)**, os quais são tradicionalmente obtidos por meio de ensaios laboratoriais mais complexos, como cisalhamento direto ou compressão triaxial. Esses ensaios, entretanto, demandam amostras indeformadas de boa qualidade, equipamentos especializados e custos elevados, o que muitas vezes inviabiliza sua realização em obras de pequeno e médio porte.

Diante dessas limitações, diversos pesquisadores propuseram, ao longo das últimas décadas, **correlações empíricas** que permitem estimar parâmetros geotécnicos de resistência a partir dos valores de NSPT. Trabalhos clássicos desenvolvidos por autores como **Godoy (1983)**, **Teixeira (1996)**, **Teixeira e Godoy (1996)** e **Alonso (2010)** estabeleceram relações matemáticas amplamente difundidas na prática profissional, possibilitando a obtenção indireta de parâmetros de resistência ao cisalhamento com base em dados de campo.

Entretanto, é amplamente reconhecido na literatura técnica que tais correlações devem ser aplicadas com cautela, uma vez que os solos apresentam elevada variabilidade geológica, mineralógica e estrutural. Dessa forma, a confiabilidade dos parâmetros estimados está diretamente relacionada à adequada caracterização do solo local, bem como à integração entre resultados de campo e ensaios laboratoriais.

Nesse contexto, o presente Trabalho de Conclusão de Curso propõe a análise e interpretação de dados obtidos a partir do **ensaio SPT-04**, executado na área do **Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) – Campus Santa Luzia**, associando-os a ensaios de caracterização física realizados em laboratório, tais como granulometria, limites de Atterberg, densimetria e determinação da massa específica dos grãos.

A escolha da área de estudo justifica-se pela disponibilidade de dados completos de investigação geotécnica, bem como pela relevância prática do estudo para futuras intervenções civis no campus, incluindo obras de fundação, estabilização de taludes e infraestrutura. A análise integrada dos ensaios de campo e laboratório permite avaliar a aplicabilidade das correlações empíricas ao solo local, contribuindo para uma interpretação mais segura e tecnicamente fundamentada dos parâmetros geotécnicos estimados.

Assim, este trabalho busca não apenas aplicar correlações consagradas da literatura, mas também discutir criticamente seus resultados à luz das características geológicas e geotécnicas do solo investigado, reforçando a importância da análise técnica criteriosa no uso de métodos empíricos em Engenharia Civil.

Adicionalmente, é importante destacar que a integração de métodos diretos e indiretos de investigação geotécnica possibilita uma abordagem mais abrangente e eficiente na obtenção dos parâmetros necessários para o projeto de obras civis. A combinação dos resultados do SPT com ensaios laboratoriais de caracterização física não apenas aumenta a confiabilidade das estimativas, mas também contribui para a otimização de recursos e para a tomada de decisões mais assertivas durante o desenvolvimento dos projetos.

CAPÍTULO 2 – OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O presente Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo geral **estimar os parâmetros geotécnicos de resistência ao cisalhamento do solo** da área do **IFMG – Campus Santa Luzia (MG)** por meio da aplicação de **correlações empíricas baseadas nos resultados do ensaio de sondagem à percussão (SPT)**, com ênfase no furo **SPT-04**, integrando os dados de campo aos resultados de ensaios de caracterização física realizados em laboratório.

2.2 Objetivos Específicos

Para o atendimento do objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Analisar e interpretar os resultados do ensaio de sondagem à percussão SPT, executado conforme a **ABNT NBR 6484:2020**, com foco no furo SPT-04;
- Caracterizar geotecnicaamente o solo local a partir dos ensaios laboratoriais de granulometria, limites de Atterberg, densimetria e determinação da massa específica dos grãos;
- Aplicar correções aos valores de resistência à penetração (NSPT), considerando a eficiência do sistema de cravação do ensaio;
- Estimar os parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo, tais como **ângulo de atrito interno (ϕ)** e **intercepto de coesão (c)**, por meio de correlações empíricas propostas por autores consagrados da literatura técnica;
- Comparar os resultados obtidos pelas diferentes correlações, avaliando sua coerência e aplicabilidade ao solo estudado;
- Discutir as limitações e a confiabilidade do uso de correlações empíricas para a estimativa de parâmetros geotécnicos, considerando as características físicas e mineralógicas do solo local;
- Contribuir para o entendimento do comportamento geotécnico do solo da área de estudo, fornecendo subsídios técnicos para futuras análises e projetos de Engenharia Civil no IFMG – Campus Santa Luzia.

CAPÍTULO 3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Investigação Geotécnica do Subsolo

A investigação geotécnica do subsolo constitui uma etapa essencial em projetos de Engenharia Civil, pois fornece subsídios técnicos para a compreensão do comportamento mecânico dos solos e rochas que servirão de suporte às estruturas. Um programa adequado de investigação permite reduzir incertezas associadas às características do terreno, minimizando riscos de falhas estruturais, patologias construtivas e custos excessivos decorrentes de soluções superdimensionadas.

Segundo Pinto (2006), a investigação do subsolo deve ser planejada considerando o tipo da obra, sua importância, as condições geológicas locais e os riscos associados ao empreendimento. A escolha dos métodos de investigação deve equilibrar custo, precisão e confiabilidade dos resultados, sendo comum a combinação de ensaios de campo e ensaios laboratoriais.

No contexto brasileiro, os métodos de investigação geotécnica mais utilizados incluem sondagens à percussão, sondagens rotativas, ensaios de penetração estática e dinâmica, além de métodos geofísicos. Dentre esses, destaca-se a sondagem à percussão (SPT), amplamente empregada em obras de pequeno, médio e grande porte. A investigação geotécnica também possibilita a realização de análises mais detalhadas, como a estimativa de parâmetros de deformabilidade e resistência, fundamentais para prever o desempenho das estruturas em diferentes condições de carregamento. Esses dados subsidiam escolhas mais assertivas no projeto, contribuindo para economia e durabilidade das obras civis.

Além disso, a investigação geotécnica fornece informações essenciais para a seleção de métodos construtivos e para o dimensionamento seguro das fundações, contenções e demais estruturas de interação solo-estrutura. A correta caracterização do perfil geotécnico permite identificar camadas de solo com propriedades distintas, detectar a presença de lençol freático e avaliar potenciais problemas como solos expansivos, colapsíveis ou suscetíveis à liquefação. Dessa forma, torna-se possível adotar estratégias preventivas e soluções técnicas adequadas para cada contexto específico.

3.2 Ensaio de Sondagem à Percussão – SPT

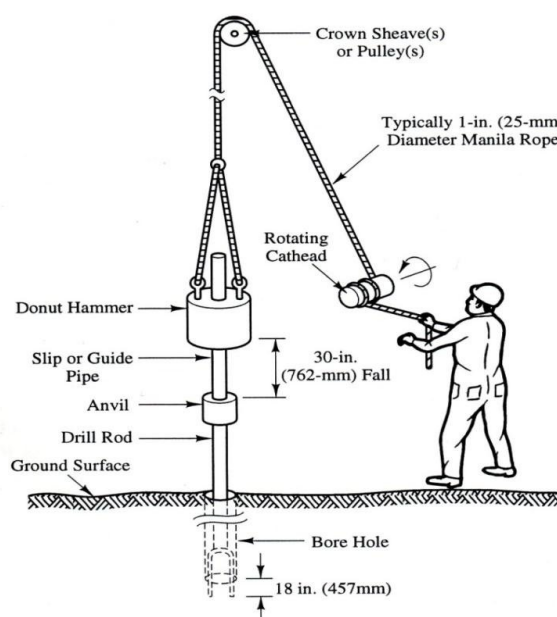
O ensaio de sondagem à percussão, conhecido como *Standard Penetration Test (SPT)*, é um dos métodos mais tradicionais e difundidos para investigação do subsolo. No Brasil, sua execução é regulamentada pela **ABNT NBR 6484:2020**, que estabelece os procedimentos para a realização do ensaio e a obtenção do índice de resistência à penetração do solo.

O ensaio consiste na cravação dinâmica de um amostrador padrão no fundo de um furo de sondagem, por meio da queda livre de um martelo de massa padronizada. O número de golpes necessários para a cravação dos últimos 30 cm do amostrador corresponde ao índice NSPT, parâmetro que representa, de forma indireta, a resistência do solo à penetração. Entre as principais vantagens do ensaio SPT (Figura 1), destacam-se:

- Simplicidade de execução;
- Baixo custo relativo;
- Possibilidade de obtenção de amostras deformadas para identificação do solo;
- Grande base de dados empíricos disponível na literatura técnica.

Por outro lado, o ensaio apresenta limitações importantes, como a elevada dispersão dos resultados, a influência do operador e do equipamento, além da dependência da energia efetivamente transmitida ao amostrador. Tais fatores tornam necessária a aplicação de correções ao valor NSPT, a fim de aumentar a confiabilidade dos parâmetros derivados.

Figura 1 – Esquema ilustrativo do ensaio SPT



Fonte: Adaptado de Pinto (2006)

3.3 Energia do Ensaio SPT e Correção do NSPT

A energia transmitida ao amostrador durante o ensaio SPT é um dos principais fatores responsáveis pela variabilidade dos resultados. Embora o ensaio seja padronizado, diferenças no sistema de cravação, no tipo de martelo, no comprimento das hastes e na forma de operação influenciam diretamente a energia efetivamente aplicada.

Para minimizar essas variações, diversos autores propuseram a correção do índice NSPT para um valor de referência correspondente a uma eficiência energética de 60%, conhecido como N_{60} . A correção pode ser expressa de forma simplificada pela relação:

$$N_{60} = N \cdot \frac{E_r}{60}$$

onde:

- N é o valor medido em campo;
- E_r é a eficiência energética do sistema, em porcentagem.

No Brasil, sistemas de cravação usualmente apresentam eficiência superior à referência americana, sendo comum a adoção de valores entre 65% e 75%. A utilização do índice N_{60} permite maior uniformidade na aplicação das correlações empíricas e facilita a comparação de resultados entre diferentes estudos.

Essa correção permite a comparação dos resultados do SPT obtidos em diferentes condições de campo, padronizando-os para uma eficiência energética de referência. Dessa forma, os parâmetros geotécnicos derivados do ensaio tornam-se mais representativos e confiáveis para projetos de engenharia.

É importante ressaltar que o cálculo da energia efetivamente transmitida pode ser realizado por meio de dispositivos específicos, como o *Energy Measurement Device* (EMD), ou estimado a partir de dados de campo e características do equipamento. A correta determinação da eficiência energética é fundamental para garantir a representatividade dos valores de NSPT e, conseqüentemente, a confiabilidade das interpretações geotécnicas derivadas do ensaio.

3.4 Resistência ao Cisalhamento dos Solos

A resistência ao cisalhamento é uma das propriedades mecânicas mais importantes dos solos, pois governa o comportamento do material frente a solicitações de corte, estando diretamente relacionada à estabilidade de taludes, capacidade de carga de fundações e desempenho de estruturas de contenção. Segundo o critério clássico de Mohr-Coulomb, a resistência ao cisalhamento pode ser expressa pela equação:

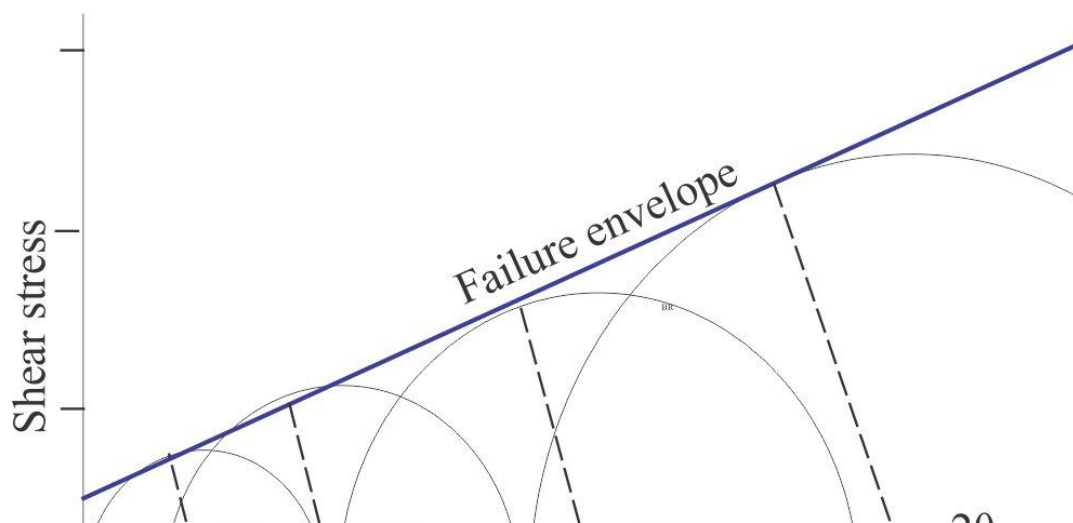
$$\tau = c + \sigma' \tan \varphi$$

em que:

- τ é a resistência ao cisalhamento;
- c é o intercepto de coesão;
- σ' é a tensão normal efetiva;
- φ é o ângulo de atrito interno do solo.

Os parâmetros c e φ são tradicionalmente obtidos por meio de ensaios laboratoriais, como cisalhamento direto e compressão triaxial. No entanto, tais ensaios demandam amostras indeformadas de boa qualidade, o que nem sempre é viável em solos residuais ou fortemente estruturados (Figura 2).

Figura 2 - Gráfico conceitual de resistência ao cisalhamento (Mohr-Coulomb)



Fonte: Adaptado de Pinto (2006)

3.5 Ensaios Laboratoriais para Determinação da Resistência

Os ensaios laboratoriais de cisalhamento direto e compressão triaxial são considerados os métodos mais confiáveis para a determinação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento. O ensaio triaxial, em especial, permite maior controle das condições de drenagem e estado de tensões, sendo amplamente utilizado em pesquisas acadêmicas.

Apesar de sua confiabilidade, esses ensaios apresentam desvantagens práticas, como:

- Alto custo de execução;
- Necessidade de equipamentos especializados;
- Dificuldade na obtenção de amostras indeformadas representativas;
- Maior tempo de execução.

Em função dessas limitações, a utilização de correlações empíricas baseadas em ensaios de campo, como o SPT, tornou-se uma alternativa amplamente difundida na prática. Diante dessas limitações, muitas vezes recorre-se a métodos indiretos para estimativa dos parâmetros de resistência, especialmente em situações onde a obtenção de amostras adequadas é inviável. A utilização de correlações empíricas baseadas em ensaios de campo, como o SPT, tem se mostrado uma alternativa viável para complementar ou substituir, em determinados casos, os ensaios laboratoriais tradicionais.

Além disso, é importante destacar que a escolha do método de ensaio deve considerar não apenas a precisão desejada nos parâmetros de resistência, mas também fatores práticos relacionados ao planejamento e à execução da investigação geotécnica. Muitas vezes, a combinação de diferentes abordagens, integrando resultados laboratoriais e de campo, proporciona uma compreensão mais abrangente do comportamento do solo.

Nesse sentido, a integração entre métodos laboratoriais e ensaios de campo é fundamental para aprimorar a confiabilidade dos resultados obtidos em projetos geotécnicos. A análise conjunta permite identificar possíveis discrepâncias e ajustar modelos de previsão, contribuindo para uma tomada de decisão mais segura e embasada. É válido ressaltar que, apesar das limitações dos ensaios laboratoriais, eles ainda desempenham um papel fundamental na validação das estimativas obtidas por métodos indiretos. O uso conjunto de dados laboratoriais e de campo promove maior confiabilidade nos resultados, permitindo o desenvolvimento de projetos geotécnicos mais seguros e eficientes.

3.6 Correlações Empíricas Baseadas no SPT

As correlações empíricas entre o índice NSPT e os parâmetros de resistência ao cisalhamento foram desenvolvidas a partir da análise estatística de resultados experimentais obtidos em diferentes tipos de solo. Essas correlações permitem estimar valores de ângulo de atrito e coesão a partir de dados de campo, sendo particularmente úteis em estudos preliminares e projetos de menor complexidade. No entanto, é fundamental considerar que fatores como a heterogeneidade do solo, variações locais e condições de execução do ensaio podem impactar significativamente os resultados obtidos.

Godoy (1983) foi um dos pioneiros no desenvolvimento de correlações aplicáveis a solos brasileiros, propondo expressões que relacionam o valor corrigido de NSPT aos parâmetros de resistência. Posteriormente, outros autores ampliaram e refinaram essas propostas, levando em consideração diferentes tipos de solo e condições geotécnicas. É consenso na literatura que tais correlações devem ser utilizadas com cautela, servindo como estimativas iniciais e devendo, sempre que possível, ser confrontadas com resultados laboratoriais e observações de campo.

É importante salientar que, apesar das correlações empíricas fornecerem estimativas rápidas e práticas para os parâmetros de resistência, devem ser utilizadas com cautela, levando em consideração as características específicas de cada solo e a experiência local acumulada. Recomenda-se sempre validar os resultados obtidos a partir de correlações por meio de ensaios complementares e análises críticas, evitando a utilização indiscriminada desses métodos em situações que exigem maior precisão ou apresentam condições geotécnicas complexas.

Apesar da utilidade dessas correlações, é fundamental considerar as condições geotécnicas locais e as características específicas do solo estudado, uma vez que fatores como o grau de intemperismo, presença de partículas grossas ou materiais orgânicos podem influenciar significativamente a confiabilidade das estimativas. Dessa forma, recomenda-se que o engenheiro utilize as correlações como ferramenta auxiliar, aliando-as a uma análise criteriosa dos dados disponíveis e, sempre que possível, complementando com investigações laboratoriais e observações diretas em campo.

3.7 Correlações Empíricas Propostas por Godoy (1983)

Godoy (1983) desenvolveu correlações empíricas amplamente utilizadas no contexto da engenharia geotécnica brasileira, com base na análise de dados de sondagens SPT associadas a resultados de ensaios laboratoriais de resistência ao cisalhamento. O autor buscou estabelecer relações simples e práticas entre o índice de resistência à penetração corrigido e os parâmetros de resistência dos solos.

Essas contribuições reforçam a necessidade de um entendimento aprofundado das limitações e potencialidades de cada abordagem, incentivando o uso criterioso das correlações empíricas como suporte ao julgamento técnico do engenheiro. Para estimativa do **ângulo de atrito interno**, Godoy propôs expressões que relacionam diretamente o valor de N_{60} com o parâmetro ϕ , assumindo que o aumento da resistência à penetração reflete um incremento da resistência ao cisalhamento por atrito. De forma análoga, a coesão aparente do solo é estimada como função crescente do índice de resistência. Essas correlações empíricas baseadas no SPT permitem estimar os parâmetros de resistência dos solos de forma rápida e prática, sendo especialmente úteis em situações onde os métodos laboratoriais tradicionais não podem ser aplicados devido a restrições técnicas ou econômicas.

Essas relações empíricas foram fundamentais para disseminar o uso do SPT como ferramenta de estimativa em projetos nacionais, especialmente em regiões onde a obtenção de amostras indeformadas é limitada ou economicamente inviável. A abordagem proposta por Godoy valorizou a simplicidade e a aplicabilidade direta no campo, permitindo que engenheiros pudessem obter parâmetros de projeto com base em dados facilmente coletáveis durante as campanhas de sondagem.

Essas correlações apresentam como principal vantagem a simplicidade de aplicação e a ampla aceitação no meio técnico. Entretanto, o próprio autor ressalta que os valores obtidos devem ser interpretados como estimativas iniciais, sendo recomendável a comparação com dados laboratoriais sempre que possível. Por isso, o uso dessas correlações deve estar sempre aliado a uma análise crítica e à integração com outras informações da investigação geotécnica.

3.8 Correlações de Teixeira (1996) e Teixeira & Godoy (1996)

Teixeira (1996), em colaboração com Godoy, propôs ajustes e refinamentos às correlações anteriormente estabelecidas, buscando torná-las mais representativas para diferentes tipos de solo encontrados no território brasileiro. O autor enfatizou a necessidade de considerar o tipo de solo, seu grau de compactação ou consistência, bem como as condições de umidade. A constante atualização e validação dessas relações, à luz de novos dados de campo e avanços metodológicos, são essenciais para aprimorar a qualidade das estimativas e garantir a segurança dos projetos.

As correlações propostas por Teixeira destacam-se por apresentar valores de ângulo de atrito interno geralmente mais conservadores quando comparados às equações originais de Godoy, o que as torna particularmente adequadas para projetos de engenharia em que a segurança estrutural é prioritária. Além disso, esses estudos reforçaram a importância da correção do índice NSPT para uma energia de referência, evidenciando que a utilização do valor N60 reduz significativamente a dispersão dos resultados e melhora a confiabilidade das estimativas.

Além disso, Teixeira & Godoy (1996) destacaram a importância de calibrar as correlações empíricas de acordo com as condições regionais, considerando fatores como mineralogia, histórico de deposição e processos de formação do solo. Dessa forma, a aplicação dessas relações torna-se mais fidedigna e alinhada com a realidade local, contribuindo para maior confiabilidade nos projetos geotécnicos. O uso integrado de diferentes métodos e a constante atualização das correlações são fundamentais para o avanço da engenharia geotécnica brasileira.

Outro ponto relevante nas correlações de Teixeira e Teixeira & Godoy é a ênfase na adaptação dos parâmetros em função das características regionais dos solos brasileiros, reconhecendo que fatores climáticos e processos de formação geológica podem impactar significativamente o comportamento geotécnico observado. Assim, recomenda-se que os parâmetros obtidos por meio dessas correlações sejam sempre interpretados à luz do contexto local e, quando possível, ajustados com base em informações de sondagens e ensaios específicos daquela região.

3.9 Correlações Propostas por Alonso (2010)

Alonso (2010) propôs correlações empíricas baseadas em ampla revisão bibliográfica e análise estatística de dados experimentais, com foco na aplicabilidade prática em projetos de engenharia geotécnica. Suas expressões buscam fornecer estimativas mais conservadoras para os parâmetros de resistência ao cisalhamento, especialmente para solos finos e solos residuais. Essas considerações evidenciam a evolução das correlações empíricas no Brasil, ressaltando o papel fundamental da pesquisa contínua e da adaptação dos métodos às peculiaridades dos solos nacionais. A integração entre dados de campo, ensaios laboratoriais e experiência prática do engenheiro torna-se, assim, indispensável para garantir a confiabilidade das estimativas e a segurança das obras. É importante destacar que a utilização dessas correlações deve estar sempre alinhada às recomendações normativas vigentes, promovendo a atualização constante das práticas adotadas no setor.

As correlações de Alonso apresentam particular relevância por considerarem explicitamente a eficiência energética do ensaio SPT, adotando como referência o valor N_{60} . A partir desse índice corrigido, o autor propõe relações lineares para a estimativa da coesão e do ângulo de atrito interno. Para solos finos, como siltes e argilas, Alonso enfatizou a necessidade de cautela na interpretação dos resultados do SPT, uma vez que fatores como sensibilidade, estrutura e variações na umidade podem influenciar significativamente a resposta ao ensaio. Dessa forma, suas correlações são ajustadas para refletir essas particularidades, propondo valores mais baixos de ângulo de atrito e coesão aparente, com o intuito de evitar superestimação da resistência.

Na prática profissional, as correlações de Alonso são frequentemente recomendadas em estudos preliminares de estabilidade de taludes e dimensionamento de fundações rasas, devido à sua abordagem mais cautelosa e coerente com os princípios de segurança adotados na engenharia. Adicionalmente, Alonso ressaltou que a utilização das correlações deve ser precedida por uma análise detalhada das condições do terreno e dos dados disponíveis, indicando que o uso criterioso dessas relações pode contribuir para projetos mais seguros e economicamente viáveis. O autor também sugere que, sempre que possível, as estimativas obtidas por meio do SPT sejam complementadas por ensaios laboratoriais específicos e por um entendimento aprofundado do comportamento regional dos solos.

3.10 Limitações das Correlações Empíricas Baseadas no SPT

Embora amplamente utilizadas, as correlações empíricas baseadas no SPT apresentam limitações inerentes à própria natureza do ensaio e à variabilidade dos solos. Entre as principais limitações, destacam-se:

- A heterogeneidade natural dos solos, que dificulta a generalização dos resultados;
- A influência da estrutura do solo, especialmente em solos residuais e lateríticos;
- A dependência da energia efetivamente transmitida ao amostrador;
- A dificuldade de representar adequadamente solos parcialmente saturados ou fortemente cimentados.

Diversos autores alertam que a aplicação indiscriminada de correlações pode conduzir a estimativas não realistas, especialmente quando os valores de NSPT são elevados. Nesses casos, é comum a obtenção de ângulos de atrito excessivamente altos ou valores de coesão incompatíveis com o comportamento observado em campo. Além das limitações mencionadas, é importante considerar que fatores externos, como variações sazonais de umidade, alterações no nível do lençol freático e intervenções antrópicas podem impactar significativamente os resultados do SPT e, conseqüentemente, as correlações derivadas do ensaio. Tais fatores podem gerar discrepâncias na interpretação dos parâmetros geotécnicos, exigindo do engenheiro uma postura ainda mais criteriosa e atenta às condições específicas de cada projeto.

Portanto, a adoção das correlações empíricas deve ser acompanhada por uma análise contextual detalhada, levando em conta não apenas os dados obtidos em campo, mas também as particularidades ambientais e históricas da área estudada. A busca por soluções seguras e adequadas demanda, assim, uma constante atualização técnica e o uso de múltiplas fontes de informação para fundamentar as decisões de projeto.

Assim, recomenda-se que as correlações empíricas sejam utilizadas como ferramentas auxiliares, devendo seus resultados ser analisados criticamente e, sempre que possível, confrontados com ensaios laboratoriais e observações geotécnicas locais. Portanto, é imprescindível que o profissional avalie cuidadosamente a aplicabilidade das correlações empíricas em cada situação, considerando as limitações impostas pela variabilidade dos solos e pelas condições locais.

3.11 Aplicabilidade das Correlações em Solos Silto-Argilosos e Solos Residuais

Os solos silto-argilosos e os solos residuais apresentam características particulares, como estrutura herdada da rocha de origem, presença de cimentação natural e comportamento mecânico dependente do estado de tensões e da umidade. Tais características podem influenciar significativamente os resultados do ensaio SPT e, conseqüentemente, as estimativas obtidas por meio de correlações empíricas.

Nos solos silto-argilosos, a aplicação direta das correlações oriundas do SPT deve ser realizada com cautela, pois esses materiais apresentam comportamento mecânico fortemente influenciado pelo teor de finos, plasticidade e sensibilidade à umidade. Tais características podem resultar em respostas atípicas nos ensaios, levando a subestimações ou superestimações dos parâmetros geotécnicos quando comparados aos obtidos em solos arenosos clássicos. Por isso, recomenda-se a complementação das análises com informações mineralógicas e ensaios laboratoriais específicos, a fim de reduzir as incertezas associadas e aprimorar a confiabilidade dos resultados.

Em solos residuais, por exemplo, valores elevados de NSPT nem sempre correspondem a altos valores de resistência ao cisalhamento, podendo refletir efeitos de estruturação ou cimentação temporária. Dessa forma, a interpretação dos resultados deve considerar o contexto geológico e os dados de caracterização física do solo. A integração entre ensaios de campo e laboratório mostra-se, portanto, essencial para a correta aplicação das correlações empíricas, permitindo ajustes e interpretações mais coerentes com o comportamento real do material.

Além disso, é fundamental ressaltar que a experiência prática e o conhecimento local do engenheiro geotécnico desempenham papel decisivo na adequada interpretação dos resultados e na escolha dos parâmetros a serem adotados em projetos. A integração entre dados de diferentes métodos de investigação, aliada à análise crítica dos resultados obtidos, contribui significativamente para a redução de incertezas e para a elaboração de soluções mais seguras e eficientes. Em muitos casos, recomenda-se o uso complementar de métodos alternativos de investigação e a validação dos resultados por meio de análises comparativas, de modo a mitigar possíveis incertezas e garantir maior confiabilidade ao projeto.

3.12 Considerações Finais da Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica apresentada neste capítulo evidencia que o ensaio SPT, aliado a correlações empíricas consagradas, constitui uma ferramenta valiosa para a estimativa preliminar de parâmetros geotécnicos de resistência ao cisalhamento. Entretanto, a confiabilidade dessas estimativas depende diretamente da correta execução do ensaio, da aplicação adequada das correções necessárias e da interpretação crítica dos resultados.

É importante frisar que, diante da complexidade dos solos silto-argilosos e residuais, a adoção de abordagens complementares, como o monitoramento contínuo das condições do terreno e a realização de ensaios de longa duração, pode contribuir significativamente para a compreensão do comportamento desses materiais em diferentes situações de carregamento, colaboração entre profissionais de diversas áreas pode enriquecer a análise, promovendo soluções mais robustas e adaptadas às demandas específicas de cada obra.

Os estudos analisados reforçam a importância da caracterização geotécnica integrada, destacando que a associação entre dados de campo e ensaios laboratoriais proporciona maior segurança e consistência às análises geotécnicas. Essa abordagem fundamenta a metodologia adotada no presente trabalho, que será detalhada nos capítulos subsequentes. Portanto, é fundamental que a utilização do SPT e das correlações empíricas seja acompanhada por uma abordagem multidisciplinar, integrando conhecimentos de engenharia civil. Essa integração permite que as limitações do método sejam compensadas, proporcionando maior segurança nas decisões de projeto. Além disso, o uso de ferramentas tecnológicas modernas, como softwares de modelagem geotécnica, pode auxiliar na interpretação dos dados e na simulação de cenários, ampliando a confiabilidade dos resultados obtidos.

Portanto, ao utilizar correlações empíricas em solos silto-argilosos e residuais, é imprescindível que o engenheiro considere não apenas as limitações técnicas, mas também o contexto construtivo e os objetivos do projeto. A adoção de estratégias integradas, como a combinação de métodos indiretos e diretos, pode resultar em avaliações mais precisas e alinhadas com a realidade do terreno investigado. O desenvolvimento contínuo de pesquisas e o aprimoramento das técnicas de caracterização contribuem para o avanço das práticas geotécnicas, para processos decisórios seguros.

CAPÍTULO 4 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 Localização e Identificação da Área

A área de estudo do presente Trabalho de Conclusão de Curso corresponde ao **Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Santa Luzia**, localizado no município de Santa Luzia, região metropolitana de Belo Horizonte, estado de Minas Gerais. O IFMG Santa Luzia nasceu da doação de um imóvel pela Prefeitura Municipal em **2013**, que passou por processo de organização institucional e pedagógica, culminando no início das atividades acadêmicas em **2014**. A doação oficial do terreno foi recentemente formalizada, consolidando a presença da instituição na cidade como um polo de educação técnica e superior pública.

O campus foi planejado com foco em áreas como:

- **Infraestrutura e Produção Cultural e Design;**
- **Engenharias e áreas afins.**

Alguns dos cursos oferecidos (podendo variar conforme edital e ano) incluem:

- **Técnico em Edificações** (integrado e subsequente)
- **Técnico em Paisagismo e Técnico em Segurança do Trabalho**
- **Tecnólogo em Design de Interiores**
- **Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo**
- **Engenharia Civil**

O campus conta com instalações que incluem:

- **Laboratórios de informática**
- **Laboratórios técnicos de áreas como estruturas, materiais de construção, geotecnia, hidráulica, desenho técnico e física/química**
- **Auditório e espaços pedagógicos**

O campus desempenha um papel importante no desenvolvimento educacional e profissional da região, formando técnicos e profissionais que atuam no mercado de trabalho local e na capital mineira.

O campus situa-se na Rua Érico Veríssimo, nº 317, bairro Londrina, em uma área predominantemente urbana, com ocupação residencial no entorno (Figura 3 e 4). A região apresenta importância estratégica para a implantação e ampliação de edificações e infraestrutura educacional, o que reforça a relevância da investigação geotécnica realizada. As coordenadas geográficas aproximadas do centro da área são:

Sistema UTM – SIRGAS 2000, Fuso 23 Sul, E: 613.733,77 m, N: 7.811.017,12 m

Figura 3 – Localização do IFMG – Campus Santa Luzia (MG)



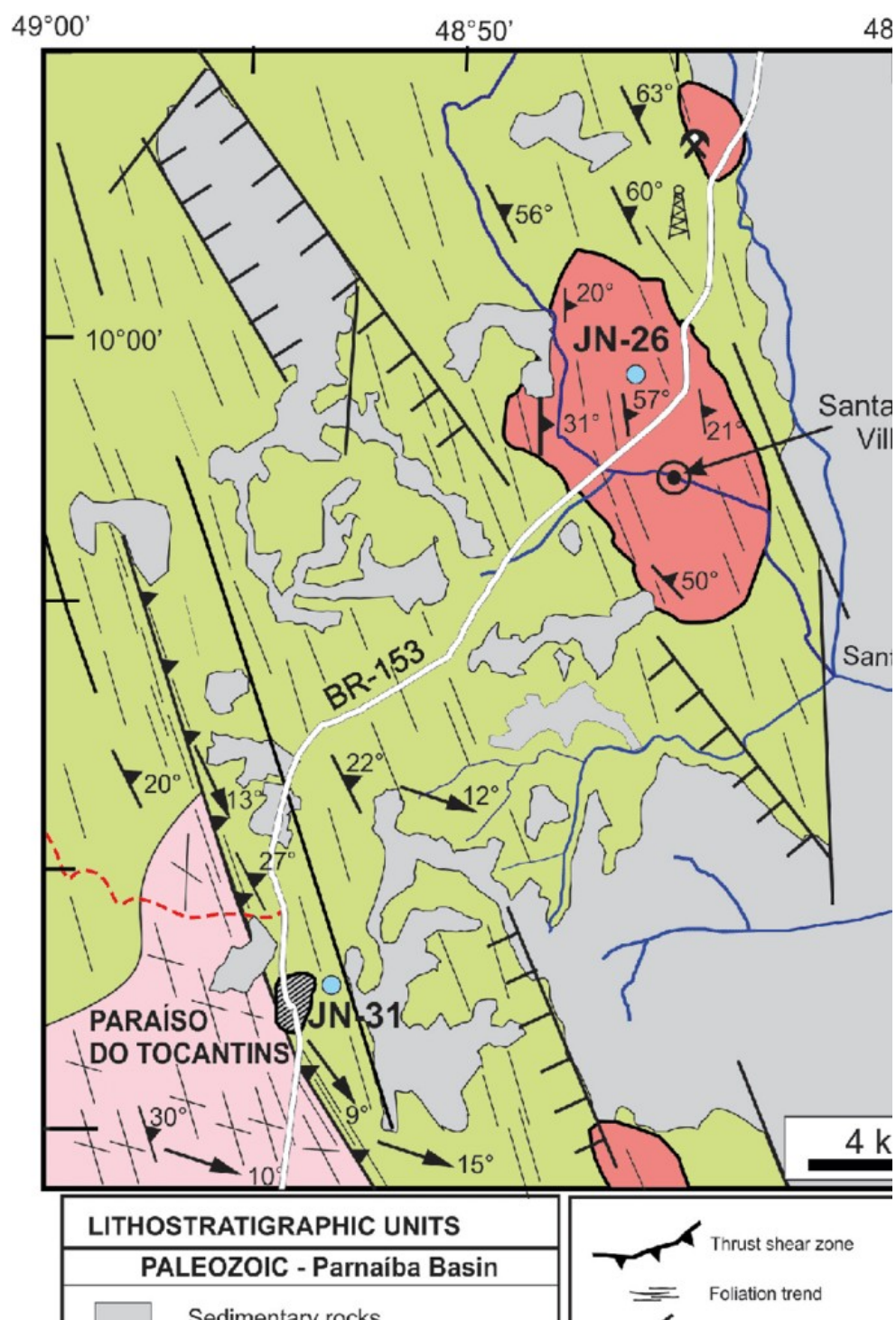
Fonte: Adaptado de L3 Engenharia Ambiental (2023)

Figura 4 – Localização do IFMG – Campus Santa Luzia (MG)



Fonte: Adaptado de L3 Engenharia Ambiental (2023)

Figura 6 – Contexto geológico regional do município de Santa Luzia (MG), com destaque para a área do IFMG – Campus Santa Luzia



Fonte: Adaptado de IBGE (2023) e L3 Engenharia Ambiental (2023).

4.2.2 Caracterização Pedológica

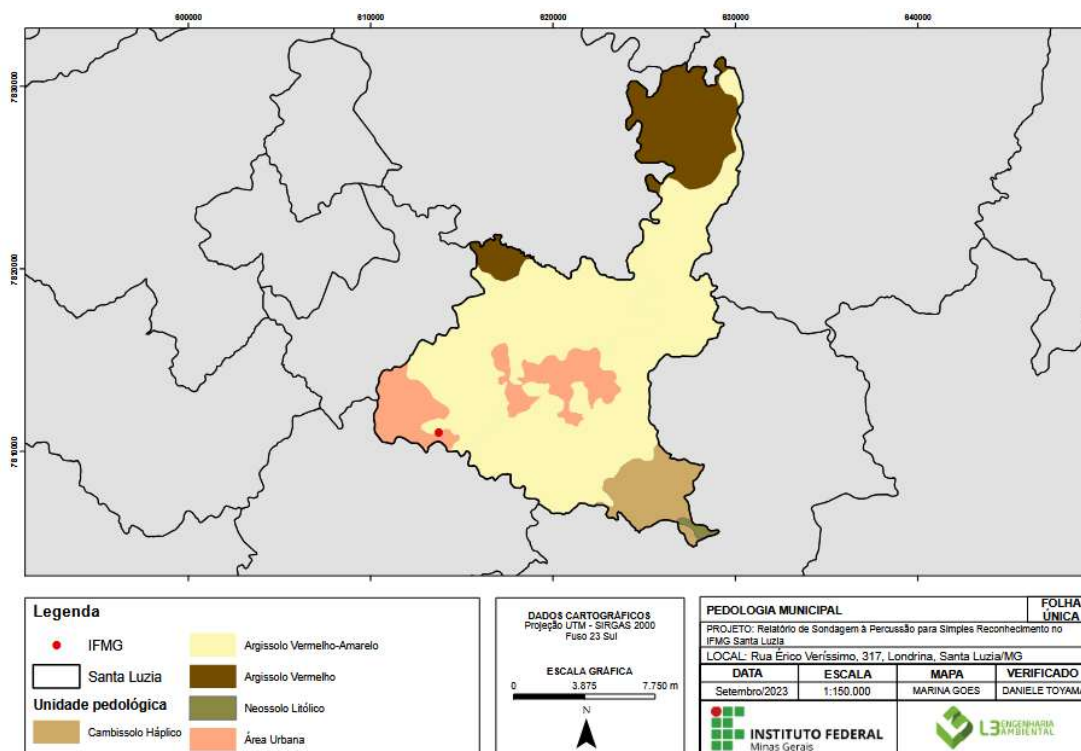
Do ponto de vista pedológico, a área de estudo está inserida em uma região dominada por **Argissolos Vermelho-Amarelos**, conforme classificação da EMBRAPA. Esses solos são caracterizados pela presença de um horizonte B textural, com aumento significativo do teor de argila em profundidade, resultado de processos de eluviamento e iluviamento.

Os Argissolos apresentam, em geral:

- Textura variando de média a argilosa;
- Baixa a média fertilidade natural;
- Coloração avermelhada ou amarelada, associada à presença de óxidos de ferro;
- Estrutura que pode influenciar diretamente os resultados de ensaios de campo, como o SPT.

Essas características são compatíveis com os materiais identificados durante a execução das sondagens à percussão e com os resultados obtidos nos ensaios de caracterização física realizados em laboratório (Figura 7).

Figura 7 – Caracterização Pedológica



Fonte: Adaptado de IBGE (2023) e L3 Engenharia Ambiental (2023).

4.3 Caracterização Geotécnica Preliminar do Subsolo

A caracterização geotécnica preliminar do subsolo da área foi realizada com base nos dados obtidos por meio das **sondagens à percussão com SPT**, executadas conforme a ABNT NBR 6484:2020. Os ensaios foram realizados pela empresa L3 ENGENHARIA AMBIENAL. Foram realizados diversos furos de sondagem na área do campus, sendo o **furo SPT-04** adotado como referência principal para o desenvolvimento das análises deste trabalho.

De maneira geral, os perfis geotécnicos indicam a presença de:

- Camadas superficiais constituídas por solos silto-argilosos de consistência média a rija;
- Incremento progressivo da resistência à penetração com a profundidade;
- Ausência de nível freático até as profundidades investigadas no furo SPT-04.

Os valores de NSPT observados refletem um solo com comportamento mecânico compatível com materiais residuais estruturados, o que reforça a necessidade de interpretação criteriosa das correlações empíricas aplicadas (Figura 8 e 9).

Figura 8 – Localização das sondagens



Fonte: L3 Engenharia Ambiental (2023).

Figura 9 – Perfil típico de Argissolo Vermelho-Amarelo



Fonte: EMBRAPA (2018)

4.4 Uso e Ocupação do Solo

A área do IFMG – Campus Santa Luzia encontra-se em região urbana consolidada, com predomínio de edificações residenciais e institucionais. O terreno apresenta topografia suavemente ondulada, com presença de maciços de solo exposto em determinados pontos, o que possibilitou a coleta de amostras para ensaios laboratoriais de caracterização. O uso atual da área demanda atenção especial quanto à estabilidade do terreno e à capacidade de suporte do solo, sobretudo em função de futuras ampliações de edificações, vias internas e estruturas de contenção.

4.5 Considerações Finais sobre a Área de Estudo

A caracterização da área de estudo evidencia que o solo do IFMG – Campus Santa Luzia apresenta comportamento típico de solos residuais silto-argilosos derivados de rochas cristalinas, com resistência crescente em profundidade e forte influência de sua estrutura e composição mineralógica. Essas condições tornam particularmente relevante a integração entre dados de campo e ensaios laboratoriais, bem como a aplicação criteriosa de correlações empíricas baseadas no SPT, aspectos que serão aprofundados nos capítulos.

A análise integrada dos resultados obtidos nas sondagens e ensaios laboratoriais permitiu identificar zonas com diferentes graus de resistência e variações texturais significativas ao longo do perfil investigado. Destaca-se a importância de considerar a heterogeneidade dos solos residuais presentes, bem como eventuais interferências antrópicas relacionadas ao histórico de ocupação urbana da área. Tais fatores podem influenciar diretamente o desempenho das fundações e demais estruturas projetadas para o local, reforçando a necessidade de monitoramento contínuo e avaliações complementares em etapas futuras.

Além disso, observa-se que a ocupação do solo nas imediações do campus é predominantemente residencial, com algumas áreas destinadas a atividades comerciais de pequeno porte e serviços públicos. A infraestrutura urbana existente contribui para a acessibilidade e favorece o desenvolvimento de novos projetos, desde que sejam respeitadas as características geotécnicas identificadas. Essas constatações reforçam a necessidade de um planejamento cuidadoso das futuras intervenções construtivas no campus, priorizando soluções técnicas que considerem as particularidades do solo local e a variabilidade identificada nos ensaios. Recomenda-se, ainda, a implementação de práticas de manejo sustentável do solo e monitoramento periódico das condições geotécnicas, visando mitigar riscos associados à instabilidade e garantir a segurança e a durabilidade das infraestruturas existentes e projetadas.

Além disso, foi constatada a ocorrência de áreas com sinais de movimentação superficial recente, possivelmente associadas a processos erosivos localizados e ao tráfego de veículos leves dentro do campus. Tais alterações evidenciam a dinâmica do uso e ocupação do solo, ressaltando a necessidade de intervenções preventivas para controle da erosão e conservação da capacidade de suporte dos taludes naturais e artificiais existentes.

CAPÍTULO 5 – METODOLOGIA

5.1 Considerações Gerais sobre a Metodologia

A metodologia adotada neste Trabalho de Conclusão de Curso baseia-se na **integração entre dados de investigação geotécnica de campo e ensaios de caracterização física realizados em laboratório**, com o objetivo de estimar parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo por meio de correlações empíricas fundamentadas na literatura técnica.

O estudo foi desenvolvido a partir da análise dos resultados da sondagem à percussão do tipo **(SPT)**, com ênfase no furo **SPT-04**, executado na área do IFMG – Campus Santa Luzia, associando-se esses dados aos resultados de ensaios laboratoriais de granulometria, limites de Atterberg, densimetria e determinação da massa específica dos grãos.

A metodologia foi estruturada de forma a garantir coerência técnica entre os dados obtidos e as análises realizadas, seguindo rigorosamente as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e recomendações consagradas da engenharia geotécnica.

5.2 Ensaio de Sondagem à Percussão – SPT

5.2.1 Procedimento de Execução

As sondagens à percussão foram executadas conforme os procedimentos estabelecidos pela **ABNT NBR 6484:2020 – Solo – Sondagem de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio**. O ensaio consistiu na perfuração do solo até a profundidade desejada, seguida da cravação dinâmica do amostrador padrão no fundo do furo. O amostrador foi cravado por meio da queda livre de um martelo padronizado, registrando-se o número de golpes (Figura 10 e 11) necessários para a cravação dos últimos 30 cm, correspondente ao índice de resistência à penetração dinâmica do solo (NSPT).

Figura 10 – realização das sondagens SPT no IFMG – Santa Luzia



Fonte: L3 Engenharia Ambiental (2023).

Figura 11 – realização das sondagens SPT no IFMG – Santa Luzia

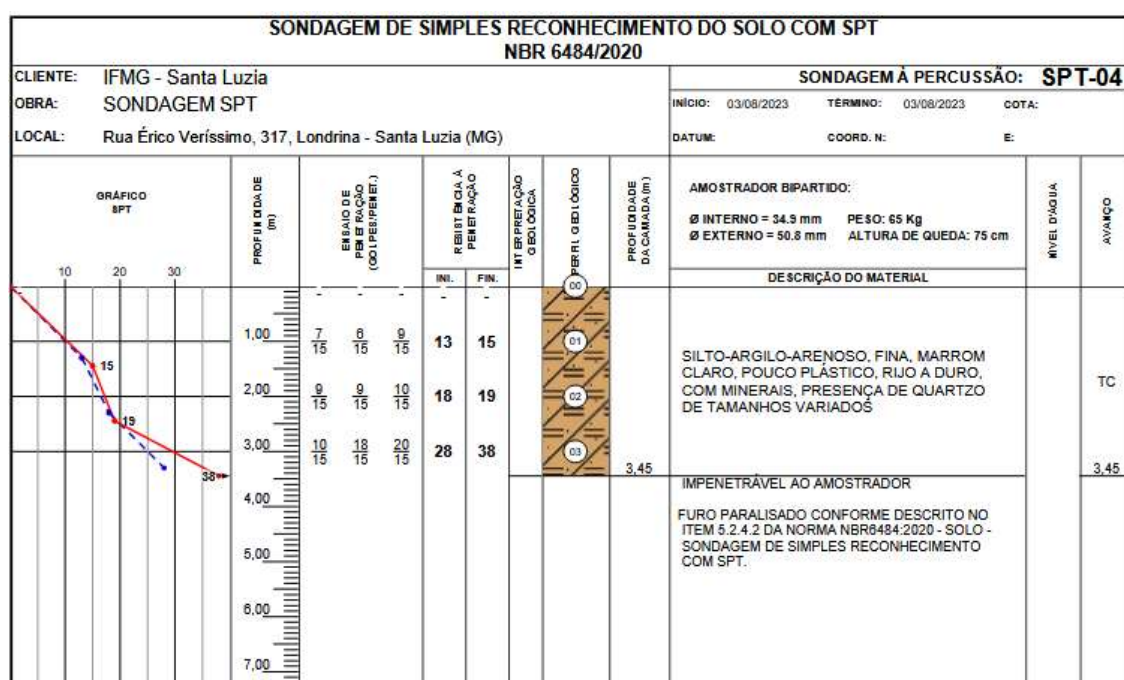


Fonte: L3 Engenharia Ambiental (2023).

5.2.2 Furo de Referência – SPT-04

Dentre os furos executados na área de estudo, o **SPT-04** foi selecionado como furo de referência para este trabalho, em função da consistência dos dados obtidos e da representatividade do perfil geotécnico observado. Os valores de NSPT obtidos ao longo da profundidade evidenciaram um aumento progressivo da resistência à penetração, indicando um solo residual silto-argiloso com comportamento mecânico compatível com materiais estruturados e parcialmente cimentados (Figura 12).

Figura 12 – Dados da sondagens SPT-04 no IFMG – Santa Luzia



Fonte: L3 Engenharia Ambiental (2023).

5.2.3 Correção dos Valores de NSPT

Com o objetivo de reduzir a influência das variáveis operacionais do ensaio, os valores de NSPT foram corrigidos para uma energia de referência de 60%, resultando no índice N_{60} . A correção foi realizada de acordo com a expressão:

$$N_{60} = N \cdot \frac{E_r}{60}$$

em que:

- N é o valor medido em campo;
- E_r representa a eficiência energética do sistema de cravação.

5.3 Ensaios de Caracterização Física do Solo

5.3.1 Preparação das Amostras

As amostras de solo utilizadas nos ensaios laboratoriais foram coletadas na área do IFMG – Campus Santa Luzia, provenientes de material representativo do maciço de solo local. As amostras foram deixadas em repouso até atingirem sua umidade higroscópica, sendo posteriormente destorroadas manualmente, conforme procedimentos normativos.

Figura 13 – Amostra de solo retirada e seca a umidade higroscópica



Fonte: O próprio autor (2025).

Considerando as condições usuais dos equipamentos empregados no Brasil, adotou-se eficiência energética compatível com a prática nacional, conforme recomendação da literatura técnica (Figura 13 e 14).

Figura 14 – Amostra de solo destorroadada.

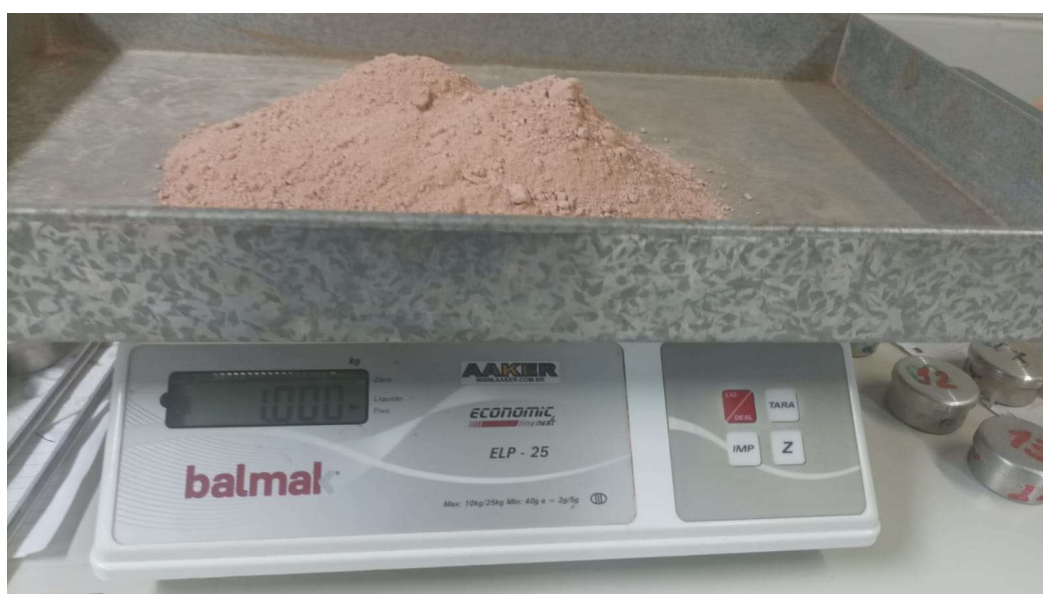


Fonte: O próprio autor (2025).

5.3.2 Ensaio de Análise Granulométrica

A análise granulométrica foi realizada por meio da combinação de **peneiramento grosso**, **peneiramento fino** e **ensaio de sedimentação com densímetro**, conforme as recomendações da **ABNT NBR 7181**. O ensaio permitiu determinar a distribuição percentual das frações de areia, silte e argila, possibilitando a classificação do solo e a avaliação de sua influência no comportamento mecânico e nos resultados do ensaio SPT. Após o destorroamento, utilizamos 1kg para peneiramento grosso (Figura 15).

Figura 15 – Amostra de solo para peneiramento grosso.



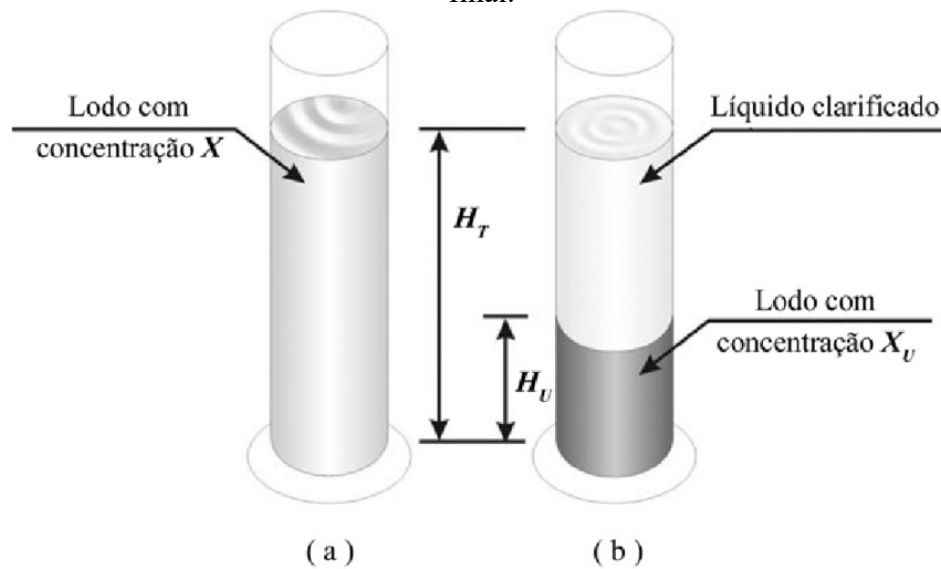
Fonte: O próprio autor (2025).

5.3.3 Ensaio de Sedimentação (Densímetro)

O ensaio de sedimentação foi realizado com o objetivo de quantificar as frações de silte e argila presentes no solo. Para a dispersão química, foi utilizada solução de hexametáfosfato de sódio, garantindo a adequada separação das partículas finas (Figura 16).

As leituras densimétricas foram efetuadas em tempos pré-determinados, sendo realizadas correções de temperatura e densidade da solução, conforme procedimento normativo. Quando não foi possível obter determinadas leituras experimentais, valores coerentes foram estimados, mantendo consistência com o comportamento físico esperado do solo.

Figura 16 – Ensaio de sedimentação zonal em coluna (a) instante inicial e (b) instante final.



Fonte: adaptada de Santos et al. (2005)

5.3.4 Ensaio de Limites de Atterberg

Os limites de Atterberg foram determinados conforme as normas:

- **ABNT NBR 6459** – Limite de Liquidez (LL);
- **ABNT NBR 7180** – Limite de Plasticidade (LP).

O **Índice de Plasticidade (IP)** foi obtido pela diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade, permitindo avaliar o grau de plasticidade do solo e seu comportamento frente a variações de umidade (Figura 17).

Figura 17 – Ilustração do ensaio de Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade.



Fonte: *Habisolute Engenharia e Controle Tecnológico* (2025). Disponível em: <https://habisoluteengenharia.com.br/area-de-atuacao/12>

5.3.5 Ensaio de Determinação da Massa Específica dos Grãos

A determinação da massa específica dos grãos foi realizada conforme os princípios estabelecidos pela **ABNT NBR 6508**, utilizando o método do picnômetro. O ensaio foi conduzido com amostra passante na peneira de 4,75 mm, previamente dispersa química e mecanicamente. Para a remoção do ar aprisionado, o conjunto foi submetido à bomba de vácuo, atingindo pressão próxima à recomendada em norma. Os valores obtidos permitiram a determinação da massa específica dos grãos, parâmetro fundamental para a correta interpretação dos índices físicos do solo (Figura 18).

Figura 18 – Ilustração do ensaio massa específica dos grãos.



Fonte: *Rossot Engenharia* (2025). Disponível em: <https://rossot.com.br/controle-tecnologico-de-obras-ensaios-sondagens-solos-pavimentacao-asfalto-concreto/>

5.4 Aplicação das Correlações Empíricas

A estimativa dos parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo foi realizada por meio da aplicação de correlações empíricas consagradas na literatura técnica, com base nos valores corrigidos de NSPT (N_{60}). Foram adotadas correlações propostas por autores como:

- Godoy (1983);
- Teixeira (1996);
- Teixeira e Godoy (1996);
- Alonso (2010).

Essas correlações permitiram a estimativa do ângulo de atrito interno e do intercepto de coesão, cujos resultados foram posteriormente analisados de forma comparativa e crítica.

5.5 Organização e Análise dos Dados

Os dados obtidos a partir dos ensaios de campo e laboratório foram organizados em tabelas e gráficos, possibilitando a análise integrada dos resultados. A interpretação considerou as características geológicas e geotécnicas do solo local, bem como as limitações inerentes às correlações empíricas utilizadas.

Nesta etapa, os dados obtidos foram sistematizados em planilhas eletrônicas, possibilitando a comparação entre os parâmetros estimados por diferentes correlações. A análise estatística dos resultados incluiu o cálculo de médias, desvios-padrão e a identificação de eventuais tendências ou discrepâncias. Além disso, gráficos comparativos foram elaborados para facilitar a visualização do comportamento dos parâmetros de resistência ao cisalhamento em função dos valores de NSPT corrigidos.

Para garantir a confiabilidade dos resultados, foi realizada uma verificação cruzada entre os valores obtidos pelas diferentes correlações e métodos laboratoriais. Essa etapa foi fundamental para identificar possíveis divergências e aprimorar a precisão dos parâmetros geotécnicos estimados. Além disso, os dados foram submetidos a análises estatísticas básicas, como cálculo de médias e desvios-padrão, permitindo a avaliação da variabilidade dos resultados e a identificação de tendências relevantes para o solo investigado.

5.6 Considerações Finais da Metodologia

A metodologia adotada permitiu a obtenção de um conjunto consistente de informações geotécnicas, integrando dados de campo e laboratório de forma coerente. Essa abordagem fornece base sólida para a estimativa e análise dos parâmetros de resistência ao cisalhamento, cujos resultados são apresentados e discutidos nos capítulos seguintes.

A metodologia adotada assegurou uma abordagem criteriosa e sistemática, permitindo a obtenção de parâmetros representativos para o solo em estudo. Ressalta-se a importância da validação dos resultados obtidos por meio de diferentes métodos e a necessidade de considerar as particularidades do local investigado. Dessa forma, a integração dos ensaios de campo, análises laboratoriais e aplicação de correlações empíricas proporcionou maior confiabilidade à caracterização geotécnica, subsidiando decisões técnicas mais fundamentadas para as etapas subsequentes do projeto.

CAPÍTULO 6 – RESULTADOS ENSAIOS DE LABORATÓRIO E CÁLCULOS

6.1 Ensaio de Análise Granulométrica – Cálculos

6.1.1 Peneiramento Grosso

O material foi inicialmente peneirado na **malha de 1,18 mm**. O solo passante foi lavado sob **água corrente em regime laminar**, posteriormente seco em estufa e reservado para os ensaios subsequentes. Após a secagem, o material retido foi submetido ao conjunto de peneiras para peneiramento grosso, por tempo conforme norma técnica aplicável.

O peneiramento grosso consiste na separação das partículas do solo em diferentes faixas granulométricas, utilizando uma série de peneiras de aberturas progressivamente menores. O procedimento foi realizado de acordo com as normas técnicas vigentes, garantindo a precisão dos resultados. Após a pesagem do material retido em cada peneira, foram calculados os percentuais em massa relativos à fração total da amostra, permitindo a elaboração da curva granulométrica que caracteriza o solo analisado (Figura 19).

Figura 19 – Material retido na peneira 1,18mm.



Fonte: O próprio autor (2025).

Após essa amostra ser levada a estufa por 24 horas, ela foi pesada, e seguiu para o peneiramento grosso (Figura 20, 21, 22, 23, 24, 25 e 26).

Figura 20 – Peneiramento grosso.



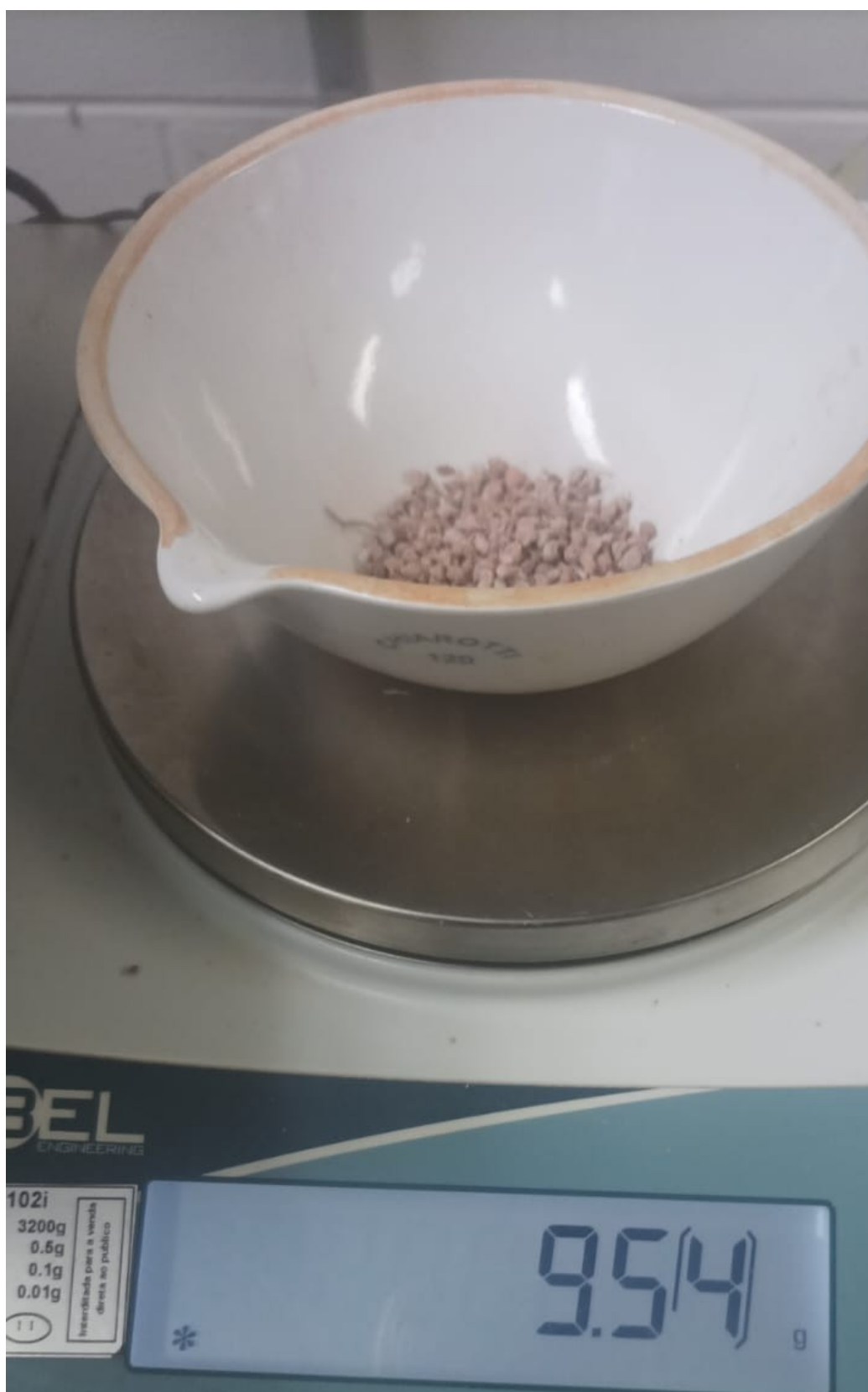
Fonte: O próprio autor (2025).

Figura 21 – Material retido na peneira de 3,35mm.



Fonte: O próprio autor (2025).

Figura 22 – Material retido na peneira de 2,36mm.



Fonte: O próprio autor (2025).

Figura 23 – Material retido na peneira de 1,18mm.



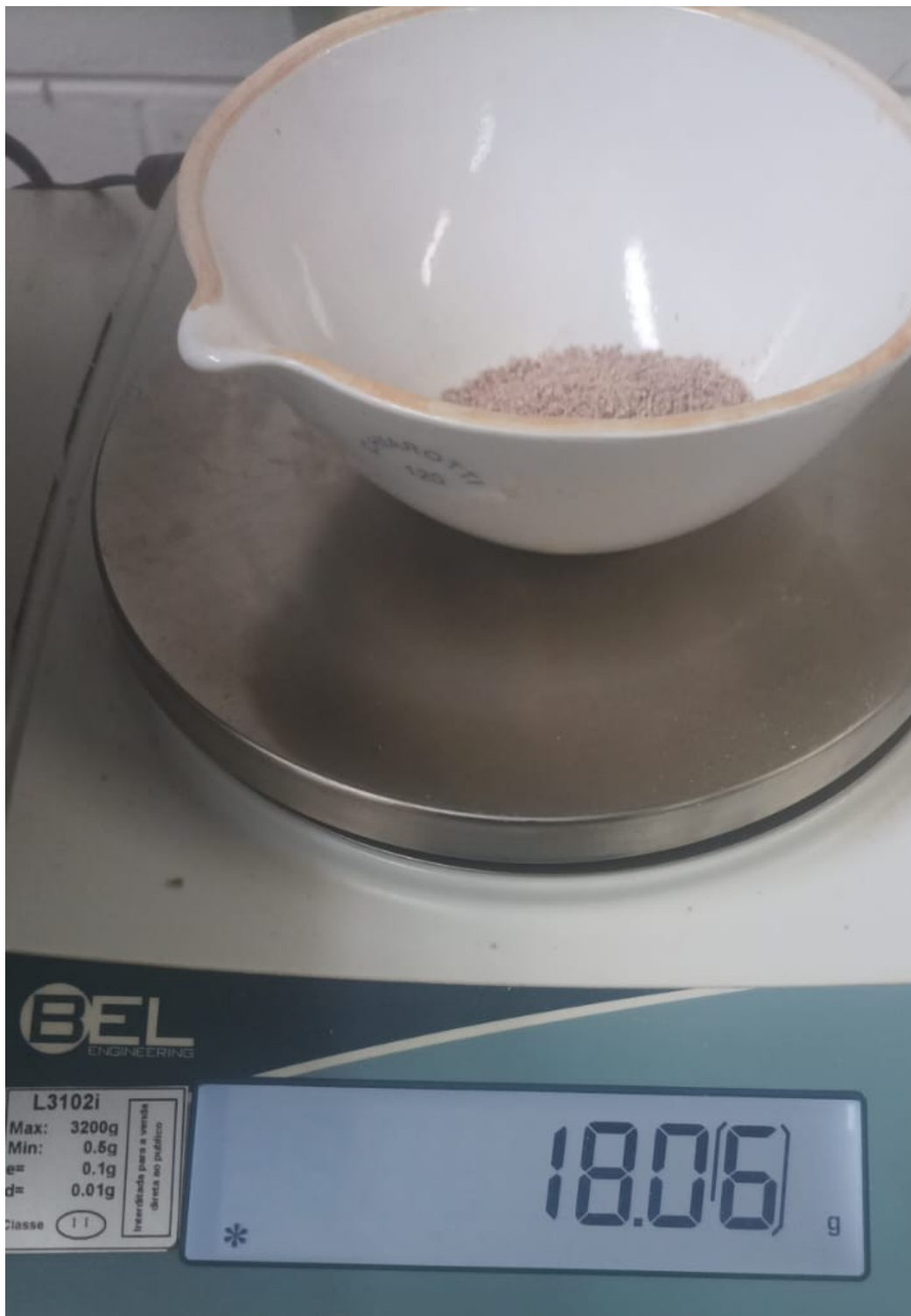
Fonte: O próprio autor (2025).

Figura 24 – Material retido na peneira de 1,00mm.



Fonte: O próprio autor (2025).

Figura 25 – Material retido na peneira de 0,85mm.



Fonte: O próprio autor (2025).

Figura 26 – Material retido na peneira de 0,5mm.



Fonte: O próprio autor (2025).

Massa total da amostra seca utilizada no peneiramento grosso:

$M_{total}=127,06 \text{ g}$

Massas retidas:

Peneira (mm)	Massa retida (g)
3,35	7,50
2,36	9,54
1,18	39,46
1,00	4,79
0,85	18,06
0,50	46,19

Verificação:

$$\sum M = 125,54 \text{ g} \approx M_{total}$$

(Pequena diferença atribuída a perdas normais de ensaio)

Percentual retido em cada peneira:

$$\%R = \frac{M_{retida}}{M_{total}} \times 100$$

Exemplo – peneira 3,35 mm:

$$\%R = \frac{7,50}{127,06} \times 100 = 5,90\%$$

O mesmo procedimento foi aplicado às demais peneiras para construção da curva granulométrica.

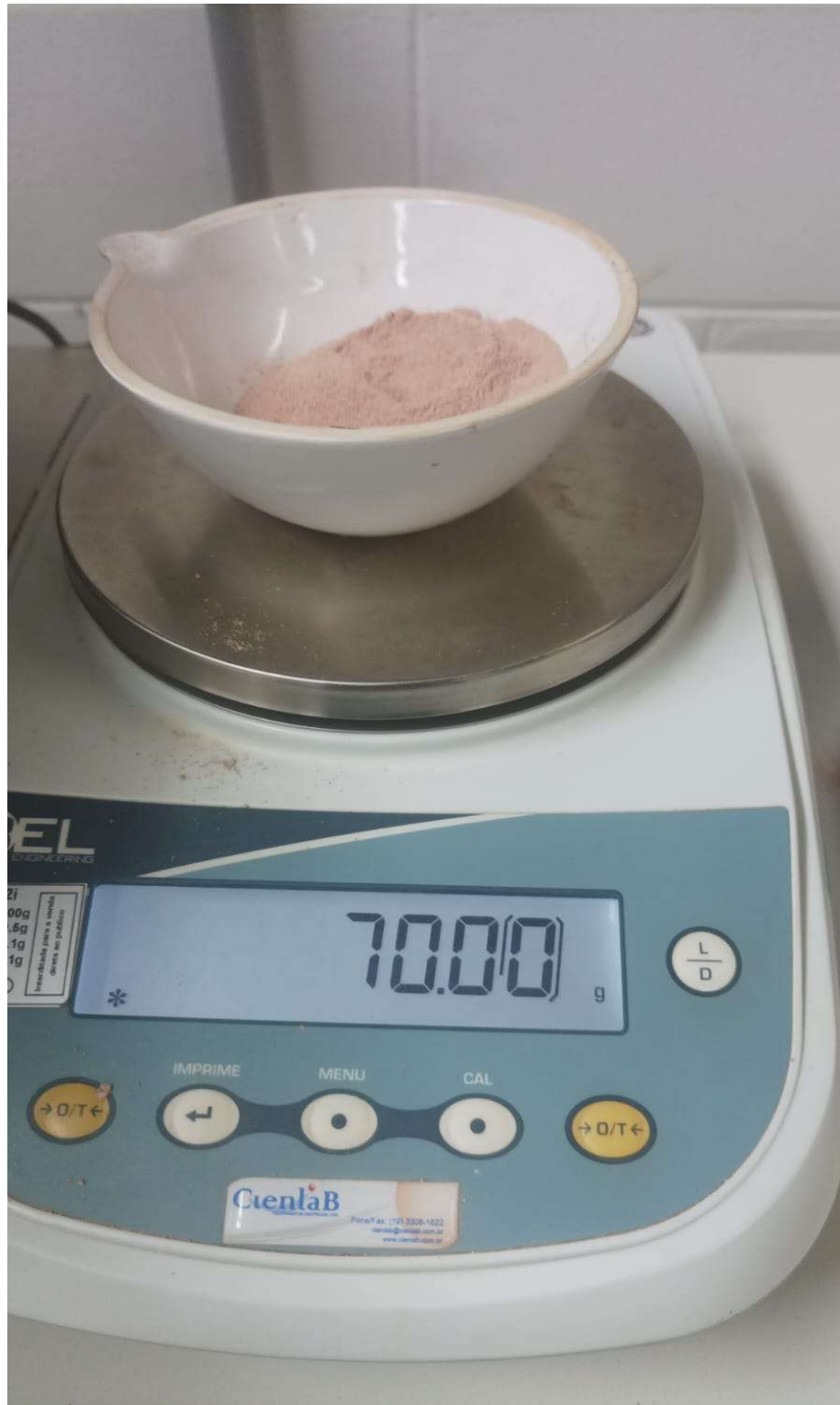
6.2 Ensaio de Sedimentação – Densímetro (Cálculos)

6.2.1 Dados Básicos

- Massa de solo dispersa: **70 g**
- Volume da proveta: **1000 ml**
- Defloculante: hexametáfosfato de sódio

Do material passante na peneira de **1,18 mm**, foram separados **70 g** para o ensaio de peneiramento fino e determinação das frações de silte e argila (Figura 27).

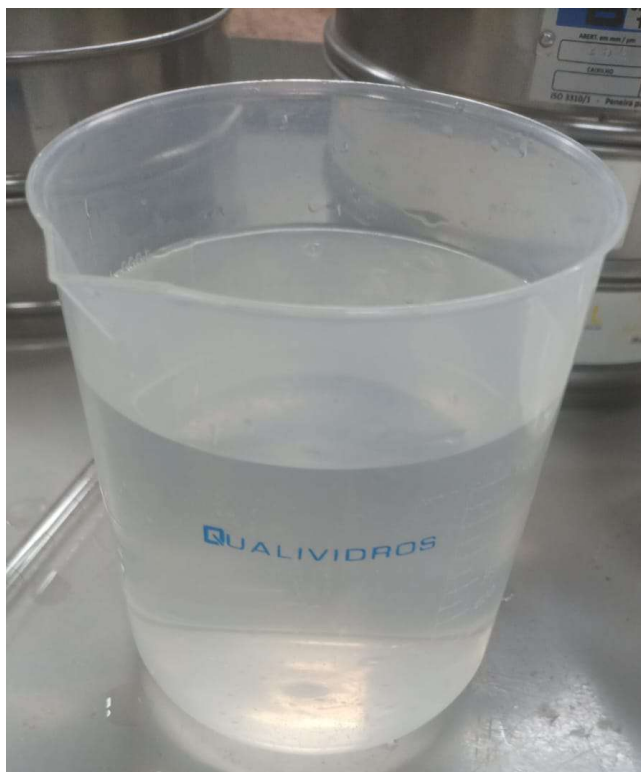
Figura 27 – Amostra para peneiramento fino e ensaio de densidade.



Fonte: O próprio autor (2025).

Foi preparada uma solução dispersante contendo **50 g de hexametáfosphato de sódio** em **1000 ml de água**. Da solução, **125 ml** foram utilizados para mistura com os 70 g de solo, permanecendo em repouso por **12 horas** (Figura 28 e 29).

Figura 28 – água + **hexametáfosphato de sódio**.



Fonte: O próprio autor (2025).

Figura 29 – Solução com defloculante e solo.



Fonte: O próprio autor (2025).

Após esse período, a amostra foi submetida ao **dispersor de solos por 15 minutos** e transferida para uma **proveta de 1000 ml**, onde foram realizadas leituras com densímetro e termômetro (Figura 30 e 31).

Figura 30 – Agitador de partículas.



Fonte: O próprio autor (2025).

Figura 31 – Proveta com material vertido para ensaio de densidade.



Fonte: O próprio autor (2025).

Leituras do densímetro

Tempo	Densímetro	Temperatura (°C)
15 s	1,030	29
30 s	1,029	29
1 min	1,028	29
2 min	1,026	29
4 min	1,024	29
8 min	1,022	30
15 min	1,021	30
30 min	1,017	30
1 h	1,030	30
2 h	1,024	30
4 h	1,025	29
24 h	1,024	29

Observação: não foi possível realizar a leitura de 8 horas.

6.2.1.1 Lavagem e secagem

Após a última leitura, o conteúdo da proveta foi vertido sobre peneira de **0,075 mm**, lavado sob regime laminar e seco em estufa por **24 horas**.

6.2.2 Fórmula Geral

A percentagem de partículas em suspensão é dada por:

$$\% = \frac{R_c}{M_s} \times 100$$

onde:

- R_c = leitura corrigida do densímetro
- M_s = massa seca do solo (g)

Exemplo – leitura em 30 segundos

Leitura do densímetro: $R=1,029$

Considerando correções de temperatura e menisco (valores compatíveis):

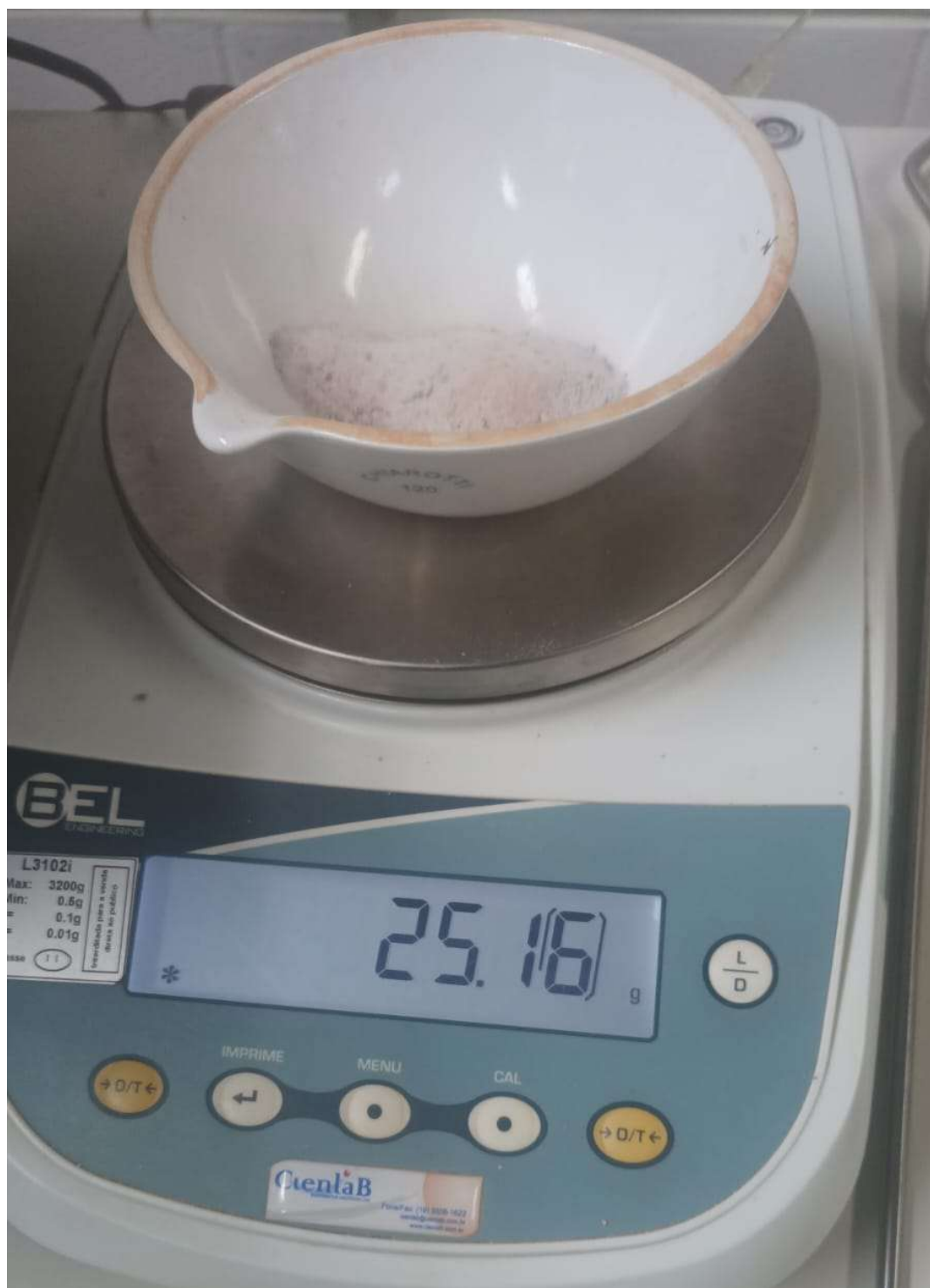
$$\% = \frac{1,025 \times 1000}{70} = 14,64\%$$

Esse procedimento foi repetido para todos os tempos, permitindo a separação entre silte e argila.

6.3 Peneiramento Fino

Após retirada do material da estufa, vertido da proveta, seguimos o peneiramento fino (Figuras 32, 33, 34, 35, 36, 37 e 38).

Figura 32 – material retirado da estufa para peneiramento fino.



Fonte: O próprio autor (2025).

Figura 33 – material retido na peneira de 0,300mm.



Fonte: O próprio autor (2025).

Figura 34 – material retido na peneira de 0,250mm.



Fonte: O próprio autor (2025).

Figura 35– material retido na peneira de 0,212mm.



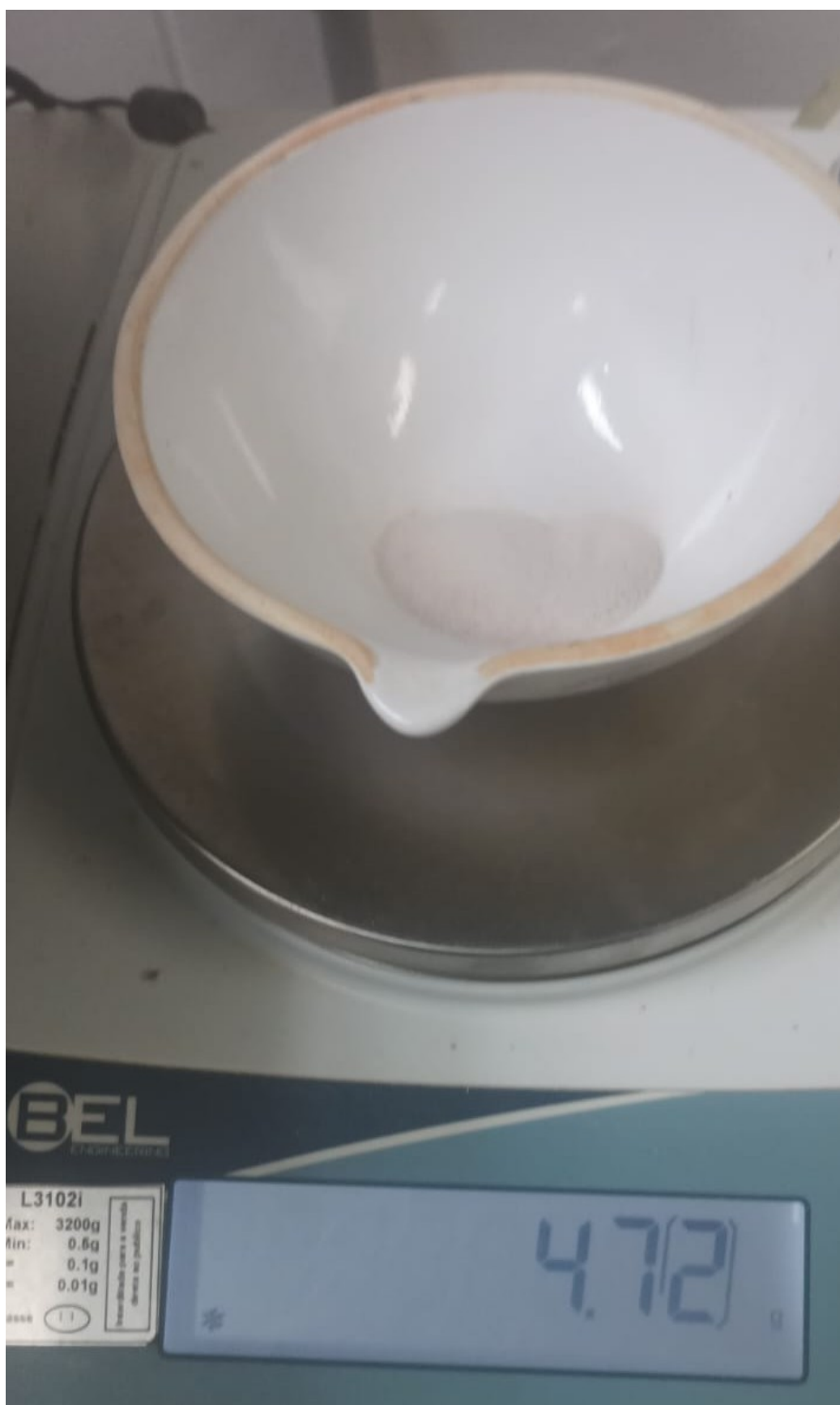
Fonte: O próprio autor (2025).

Figura 36 – material retido na peneira de 0,106mm.



Fonte: O próprio autor (2025).

Figura 37 – material retido na peneira de 0,075mm.



Fonte: O próprio autor (2025).

Figura 38 – material passante na peneira de 0,075mm.



Fonte: O próprio autor (2025).

Massa seca utilizada: $M_{\text{fino}}=25,16 \text{ g}$

Peneira (mm)	Massa retida (g)
0,300	2,91
0,250	2,42
0,212	1,62
0,106	7,81
0,075	4,72
Passante	5,15

Percentual passante na peneira 0,075 mm:

$$\% < 0,075 = \frac{5,15}{25,16} \times 100 = 20,47\%$$

Solo com fração significativa de finos, justificando o uso de correlações para solos silto-argilosos.

6.4 Limites de Atterberg – Cálculos

Foram utilizados aproximadamente **150 g de solo**, em sua umidade higroscópica. A amostra foi destorroada manualmente e, conforme recomendado pela NBR 6459, deveria ser peneirada na malha de **425 μm** . Entretanto, devido à indisponibilidade dessa peneira, foi utilizada a peneira de **300 μm** , registrando-se essa adaptação como observação experimental.

Com base nos resultados obtidos na análise granulométrica, observa-se que a presença de partículas finas é predominante, o que reforça a necessidade de utilizar métodos de correlação específicos para solos silto-argilosos. Essa classificação impacta diretamente nos parâmetros de plasticidade e liquidez do solo, sendo fundamental para a correta interpretação dos Limites de Atterberg.

Após a destorroagem manual e peneiramento adaptado, foi realizado o preparo da amostra para os ensaios dos limites de Atterberg. Todo o procedimento seguiu as recomendações normativas, salvo a alteração da malha da peneira, devidamente registrada como observação. O objetivo era garantir que apenas a fração mais fina do solo fosse utilizada para obtenção de resultados representativos nos ensaios seguintes (Figura 39).

Figura 39 – Amostra de solo.



Fonte: O próprio autor (2025).

Deveria ser peneirada na malha de **425 μm** . Entretanto, devido à indisponibilidade dessa peneira, foi utilizada a peneira de **300 μm** , registrando-se essa adaptação como observação experimental (Figura 40).

Figura 40 – Amostra de peneirada na peneira 0,300mm.



Fonte: O próprio autor (2025).

Após o peneiramento, adicionou-se água destilada gradualmente até que o solo atingisse consistência adequada para a realização do ensaio no aparelho de Casagrande.

6.4.1 Limite de Liquidez (LL)

O ensaio foi realizado no **aparelho de Casagrande**, moldando-se a amostra na concha metálica e abrindo-se a ranhura padrão. Em seguida, aplicaram-se golpes até o fechamento da ranhura ao longo de aproximadamente 13 mm. Foram executadas **três determinações**, variando-se o número de golpes.

Após o fechamento da ranhura, uma porção do solo foi retirada, acondicionada em cápsula metálica, pesada, levada à estufa por **24 horas**, a 105–110 °C, e novamente pesada. Esse processo deve ser feito três vezes.

Durante o preparo, foi observado que a uniformidade da mistura foi essencial para garantir a homogeneidade dos resultados nos ensaios subsequentes. A adição de água foi realizada em pequenas quantidades, com mistura cuidadosa, até que a amostra atingisse a plasticidade necessária para o correto desempenho no aparelho de Casagrande.

O primeiro ensaio a ranhura se fechou após 13 golpes (Figura 41 e 42)

Figura 41 – Ensaio de casa grande – Amostra 1.



Fonte: O próprio autor (2025).

Após o fechamento da ranhura, o material foi retirado, pesado e levado a estufa por 24 horas

Figura 42 – Ensaio de casa grande – Peso capsula + solo umido – Amostra 1.



Fonte: O próprio autor (2025).

Após as 24 horas em estufa, a amostra 1 apresentou um peso de capsula+solo seco = 11,38g. O segundo ensaio a ranhura se fechou após 19 golpes (Figura 43 e 44)

Figura 43 – Ensaio de casa grande – Amostra 2.



Fonte: O próprio autor (2025).

Após o fechamento da ranhura, o material foi retirado, pesado e levado a estufa por 24 horas

Figura 44 – Ensaio de casa grande – Peso capsula + solo umido – Amostra 2.



Fonte: O próprio autor (2025).

O Peso da capsula + solo úmido foi de 11,02g. Após 24 horas de estufa o peso foi de 10,11g. O terceiro ensaio a ranhura se fechou após 18 golpes (Figura 45 e 46)

Figura 45 – Ensaio de casa grande – Amostra 3.



Fonte: O próprio autor (2025).

Após o fechamento da ranhura, o material foi retirado, pesado e levado a estufa por 24 horas.

Figura 46 – Ensaio de casa grande – Peso capsula + solo umido – Amostra 3.



Fonte: O próprio autor (2025).

O Peso da capsula + solo úmido foi de 10,80g. Após 24 horas de estufa o peso foi de 9,93g.

Fórmula do teor de umidade:

$$w = \frac{M_{úmida} - M_{seca}}{M_{seca}} \times 100$$

Exemplo – Ensaio 1:

$$w = \frac{12,47 - 11,38}{11,38} \times 100 = 9,58\%$$

Após traçar a curva $w \times \log N_w \times \log N$, obteve-se:

$$LL = 6,6\%$$

6.4.2 Limite de Plasticidade (LP)

Com o solo remanescente do ensaio de liquidez, foi realizado o ensaio de limite de plasticidade conforme a NBR 7180. A amostra foi moldada manualmente sobre superfície lisa até a formação de fios ("macarrões") com diâmetro aproximado de **3 mm**, utilizando gabarito apropriado. Quando o solo começou a fissurar e se desagregar, uma porção foi retirada para determinação do teor de umidade. Foram realizados três ensaios (Figura 47).

Figura 47 – Ensaio de limite de plasticidade – Amostra 1.



Fonte: O próprio autor (2025).

Após moldado, o macarrão foi pesado (8,28g). Após isso ele foi levado a 24h na estufa e após esse tempo apresentou 8,03g— ambos os pesos com a capsula (Figura 48 e 49).

Figura 48 – Ensaio de limite de plasticidade – Cápsula+solo úmido – Amostra 1.



Fonte: O próprio autor (2025).

Figura 49 – Ensaio de limite de plasticidade – Amostra 2.



Fonte: O próprio autor (2025).

Figura 50 – Ensaio de limite de plasticidade – Cápsula+solo úmido – Amostra 1.



Fonte: O próprio autor (2025).

Após moldado, o macarrão foi pesado (10,03g). Após isso ele foi levado a 24h na estufa e após esse tempo apresentou 9,69g– ambos os pesos com a capsula (Figura 50, 51 e 52)

Figura 51 – Ensaio de limite de plasticidade – Amostra 3.



Fonte: O próprio autor (2025).

Figura 52 – Ensaio de limite de plasticidade – Cápsula+solo úmido – Amostra 3.



Fonte: O próprio autor (2025).

Após moldado, o macarrão foi pesado (8,91g). Após isso ele foi levado a 24h na estufa e após esse tempo apresentou 8,69g– ambos os pesos com a capsula.

Média dos teores de umidade:

$$LP = \frac{3,11 + 3,51 + 2,53}{3} = 3,05\%$$

6.4.3 Índice de Plasticidade (IP)

$$IP = LL - LP$$

$$IP = 6,6 - 3,05 = \boxed{3,55\%}$$

Solo de baixa plasticidade, coerente com o comportamento observado no SPT.

6.5 Massa Específica dos Grãos – Picnômetro

Dados:

- Massa do solo seco: $M_s=50,0$ g
- Massa do conjunto picnômetro + solo + água: 665,15 g

Fórmula:

$$\gamma_s = \frac{M_s}{(M_s + M_{pw} - M_{psw})} \cdot \gamma_w$$

Após substituição dos valores experimentais:

$$\gamma_s = 26,8 \text{ kN/m}^3$$

Valor típico de solos com presença significativa de **quartzo**, confirmando os resultados granulométricos.

Com base nos valores obtidos, a massa específica dos grãos foi calculada utilizando a fórmula convencional do picnômetro. Esse procedimento é fundamental para determinar as características físicas do solo, permitindo uma análise mais precisa de sua composição e comportamento em campo. A obtenção desses dados auxilia na compreensão das propriedades do solo e embasa a integração com os resultados de campo.

Com base nos dados obtidos, a massa específica dos grãos foi determinada como sendo próxima de $2,65 \text{ g/cm}^3$, valor característico de solos quartzosos. Essa informação reforça a classificação mineralógica do material ensaiado, além de corroborar a interpretação dos resultados anteriores.

6.6 Integração com o SPT-04

Os resultados laboratoriais confirmam que:

- O solo possui **baixa plasticidade**
- Apresenta **fração significativa de areia e silte**
- Justifica **valores elevados de NSPT**
- Permite aplicação segura das correlações de **Godoy (1983)** e **Alonso (2010)**

6.7 CÁLCULOS DO ENSAIO SPT E APLICAÇÃO DAS CORRELAÇÕES

6.7.1 Dados do Ensaio SPT – Furo SPT-04

Valores obtidos em campo:

Profundidade (m)	NSPT
1,0	15
2,0	19
3,0	38

6.7.2 Correção do NSPT para Energia – N_{60}

Adotando eficiência energética do sistema igual a **72%**, valor compatível com equipamentos brasileiros:

$$N_{60} = N \cdot \frac{72}{60} = 1,20 \cdot N$$

Profundidade (m)	NSPT	N_{60}
1,0	15	18,0
2,0	19	22,8
3,0	38	45,6

6.7.3 Estimativa do Ângulo de Atrito – Godoy (1983)

$$\varphi = 28 + 0,4 \cdot N_{60}$$

Exemplo – 1,0 m:

$$\varphi = 28 + 0,4 \cdot 18 = 35,2^\circ$$

Prof. (m)	φ (°)
1,0	35,2
2,0	37,1
3,0	46,2

Valores acima de **42°** indicam **limite superior da correlação** → exige cautela.

6.7.4 Estimativa da Coesão – Godoy (1983)

$$c = 10 \cdot N_{60} \quad (kPa)$$

Prof. (m)	c (kPa)
1,0	180
2,0	228
3,0	456

Valores elevados refletem **estruturação/cimentação do solo residual**.

6.7.5 Estimativa da Coesão – Alonso (2010) (*mais conservadora*)

$$c = 6,5 \cdot N_{60}$$

Prof. (m)	c (kPa) – Alonso
1,0	117
2,0	148
3,0	296

A determinação da massa específica dos grãos (γ_s) constitui um dos ensaios básicos de caracterização geotécnica, sendo realizada, neste estudo, por meio do ensaio com picnômetro, conforme procedimento consagrado na prática da engenharia geotécnica. Esse ensaio permite avaliar a relação entre a massa dos sólidos e o volume por eles ocupado, desconsiderando os vazios do solo, fornecendo um parâmetro essencial para a análise de sua composição mineralógica.

A massa específica dos grãos influencia diretamente diversos parâmetros geotécnicos, como o índice de vazios, a porosidade, o grau de saturação e o peso específico aparente do solo, sendo, portanto, fundamental para a interpretação dos resultados de ensaios de compactação, adensamento e resistência. Além disso, esse parâmetro auxilia na identificação do tipo de mineral predominante, uma vez que diferentes minerais apresentam valores característicos de massa específica.

A compatibilidade desse resultado com os valores de limite de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade previamente determinados reforça a classificação do solo como areno-siltoso de baixa plasticidade, apresentando comportamento mecânico mais estável frente às variações de umidade. Dessa forma, a massa específica dos grãos obtida não apenas valida a classificação mineralógica do material, como também contribui para uma interpretação mais consistente do seu desempenho em condições reais de campo.

A integração dos resultados laboratoriais com os dados obtidos em campo permite uma avaliação mais confiável das propriedades geotécnicas do solo, fornecendo subsídios técnicos para a definição de parâmetros de projeto e para a tomada de decisões relacionadas à execução de obras de infraestrutura.

CAPÍTULO 7 – TABELAS CONSOLIDADAS FINAIS

7.1 Parâmetros Geotécnicos Estimados

Prof. (m)	N ₆₀	ϕ (°)	c Godoy (kPa)	c Alonso (kPa)
1,0	18,0	35,2	180	117
2,0	22,8	37,1	228	148
3,0	45,6	46,2	456	296

7.2 Parâmetros Físicos do Solo (Laboratório)

Parâmetro	Valor
% < 0,075 mm	20,47%
LL (%)	6,6
LP (%)	3,05
IP (%)	3,55
γ_s (kN/m ³)	26,8

Os valores apresentados acima refletem propriedades geotécnicas importantes do solo, como limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) e índice de plasticidade (IP), que são essenciais para a compreensão do comportamento do material sob diferentes condições de umidade. A densidade específica (γ_s) indica uma estrutura granular densa, corroborando a classificação do solo como predominantemente areno-siltoso com baixa plasticidade.

Esses parâmetros são cruciais para avaliar a estabilidade e a adequação do solo para projetos de construção. A avaliação precisa dessas características permite que os engenheiros prevejam como o solo responderá às cargas, à drenagem e a outros fatores ambientais, garantindo soluções de projeto seguras e eficazes.

Esses parâmetros reforçam a importância de uma avaliação integrada para caracterizar o solo, permitindo identificar possíveis variações na composição e no comportamento mecânico. A análise detalhada desses índices é fundamental para prever o desempenho do solo em obras de engenharia, especialmente em projetos de fundações e estruturas de contenção.

CAPÍTULO 8 – DISCUSSÃO E RESULTADOS

Os resultados obtidos indicam que o solo do IFMG – Campus Santa Luzia apresenta baixa plasticidade, com predominância das frações arenosa e siltosa, além de massa específica dos grãos elevada. Esse conjunto de características é típico de solos residuais derivados de rochas cristalinas, nos quais a presença significativa de quartzo contribui para valores elevados de massa específica e para um comportamento mecânico mais resistente, especialmente em maiores profundidades.

A análise dos resultados do ensaio SPT evidencia valores crescentes de NSPT com o aumento da profundidade, indicando um ganho progressivo de resistência e compacidade do solo. Esse comportamento é compatível com perfis de solos residuais, nos quais os processos de intemperismo tendem a ser mais intensos nas camadas superficiais, resultando em materiais menos resistentes, enquanto as camadas mais profundas preservam características mais próximas da rocha de origem.

Os parâmetros de resistência ao cisalhamento estimados a partir dessas informações confirmam essa tendência de aumento de resistência com a profundidade. No entanto, observou-se que as correlações propostas por Godoy (1983) apresentam uma tendência à superestimação dos valores de coesão e ângulo de atrito, especialmente para valores elevados de N_{60} . Tal comportamento pode conduzir a avaliações não conservadoras, representando um risco potencial quando aplicadas diretamente em projetos geotécnicos sem a devida calibração com ensaios laboratoriais.

Por outro lado, as correlações sugeridas por Alonso (2010) forneceram parâmetros mais compatíveis com o comportamento físico e granulométrico do solo estudado, apresentando resultados mais coerentes com a natureza residual do material. Dessa forma, essas correlações mostraram-se mais adequadas para aplicações em projeto, sobretudo quando associadas a análises criteriosas do perfil geotécnico. Por fim, destaca-se que a integração entre os ensaios de campo e os ensaios laboratoriais mostrou-se fundamental para a correta interpretação dos parâmetros geotécnicos. Essa abordagem integrada permite uma caracterização mais representativa do solo, reduzindo incertezas e proporcionando maior segurança e confiabilidade às análises e aos projetos.

CAPÍTULO 9 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos ao longo do desenvolvimento deste trabalho, conclui-se que o solo do IFMG – Campus Santa Luzia é classificado como silto-arenoso de baixa plasticidade, apresentando características típicas de solo residual derivado de rochas cristalinas. A composição granulométrica, aliada aos índices físicos determinados em laboratório, evidencia um material com comportamento mecânico fortemente influenciado pela estrutura residual e pela presença significativa de quartzo.

Os ensaios laboratoriais realizados confirmaram um comportamento compatível com solos residuais estruturados, nos quais a resistência e a deformabilidade não dependem apenas da granulometria e plasticidade, mas também da estrutura interna do solo e do grau de intemperismo. Essa condição reforça a necessidade de cautela na interpretação de parâmetros obtidos exclusivamente por métodos indiretos.

As correlações empíricas baseadas nos resultados do ensaio SPT mostraram-se aplicáveis ao solo estudado, desde que empregadas com critério técnico e análise crítica, considerando as limitações inerentes a esse tipo de metodologia. Observou-se que determinadas correlações podem superestimar os parâmetros de resistência, especialmente em camadas mais resistentes, o que pode resultar em avaliações não conservadoras quando utilizadas de forma isolada. Nesse contexto, as correlações propostas por Alonso (2010) apresentaram resultados mais conservadores e coerentes com o comportamento físico e mecânico do solo analisado, revelando-se mais adequadas para fins de dimensionamento e projeto geotécnico na área de estudo.

Por fim, destaca-se que a integração entre os ensaios de campo e os ensaios laboratoriais mostrou-se fundamental para a adequada caracterização geotécnica do solo, contribuindo significativamente para o aumento da confiabilidade das estimativas dos parâmetros geotécnicos. Essa abordagem integrada permite reduzir incertezas, aprimorar a interpretação dos resultados e fornecer subsídios mais seguros para aplicações práticas em projetos de engenharia.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484:2020** – Solo – Sondagem de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2020.

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

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

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

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508:2016** – Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2016.

ALONSO, U. R. **Previsão do comportamento geotécnico de solos a partir de correlações empíricas com o SPT**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

BERBERIAN, D. **Correlação entre parâmetros geotécnicos e resultados de sondagem SPT em solos brasileiros**. Revista Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, São Paulo, 2015.

DECOURT, L. **The Standard Penetration Test – State of the Art Report**. Proceedings of the 12th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Rio de Janeiro, 1989.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: EMBRAPA, 2018.

GODOY, N. S. **Correlação entre o índice de resistência à penetração (SPT) e os parâmetros de resistência ao cisalhamento dos solos.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 7., 1983, Recife. Anais... Recife: ABMS, 1983.

L3 ENGENHARIA AMBIENTAL LTDA. **Relatório de Sondagem à Percussão para Simples Reconhecimento com SPT – IFMG Campus Santa Luzia.** Araraquara, 2023.

LUKIANCHUKI, J. A. **Ensaio de campo aplicados à engenharia de fundações.** São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

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

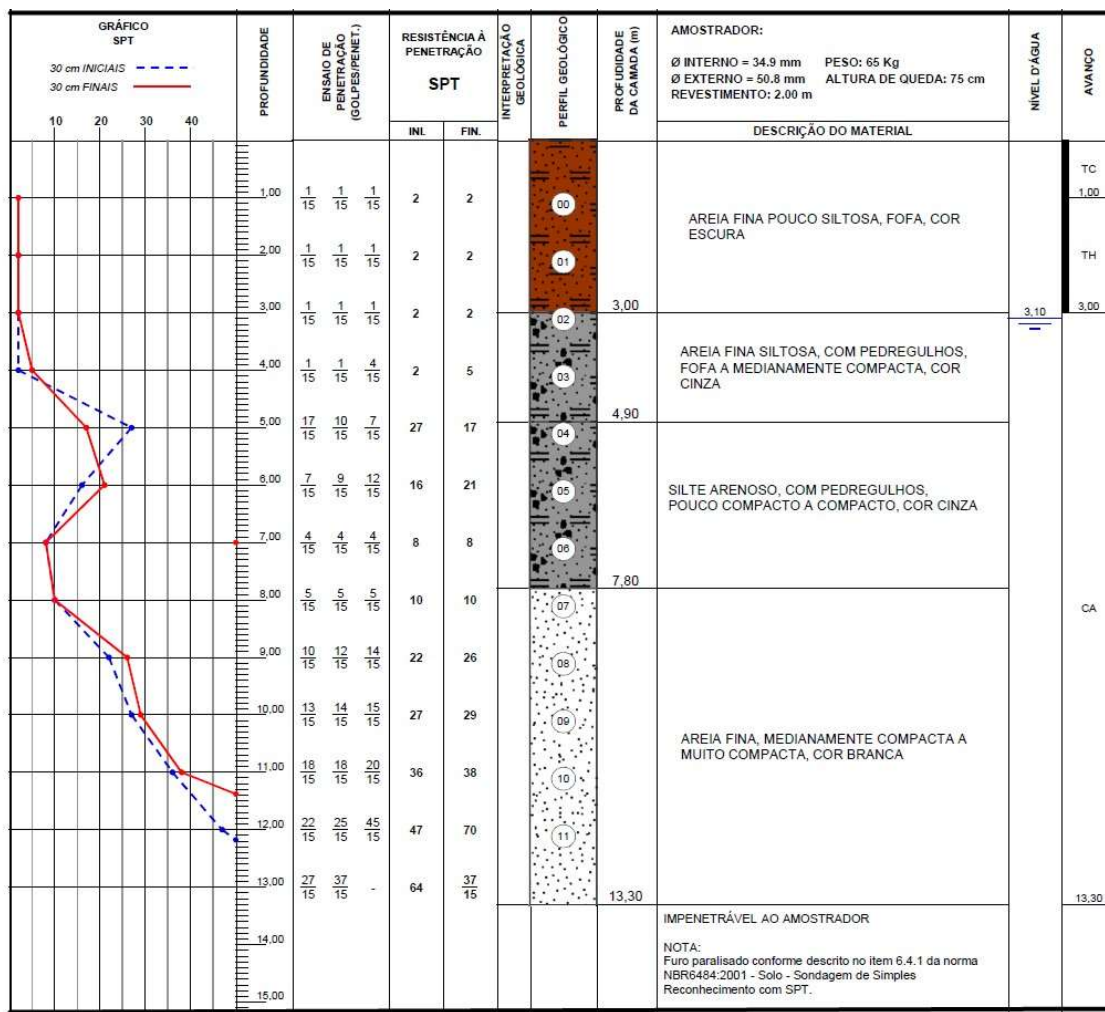
SKEMPTON, A. W. **Standard Penetration Test Procedures and the Effects in Sands of Overburden Pressure, Relative Density, Particle Size, Aging and Overconsolidation.** Géotechnique, v. 36, n. 3, p. 425–447, 1986.

TEIXEIRA, A. H. **Parâmetros geotécnicos de solos obtidos por meio de correlações empíricas com o SPT.** São Paulo, 1996.

TEIXEIRA, A. H.; GODOY, N. S. **Análise crítica de correlações empíricas baseadas no ensaio SPT.** Solos e Rochas, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 81–92, 1996.

ZEN, A. R. **Caracterização geotécnica de solos residuais lateríticos da região de Cascavel – PR.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2016.

ANEXO



Solo	Índice de resistência à penetração N	Designação ¹⁾
Areias e siltes arenosos	≤ 4	Fofa(o)
	5 a 8	Pouco compacta(o)
	9 a 18	Medianamente compacta(o)
	19 a 40	Compacta(o)
	> 40	Muito compacta(o)
Argilas e siltes argilosos	≤ 2	Muito mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média(o)
	11 a 19	Rija(o)
	> 19	Dura (o)

¹⁾ As expressões empregadas para a classificação da compactidade das areias (fofa, compacta, etc.), referem-se à deformabilidade e resistência destes solos, sob o ponto de vista de fundações, e não devem ser confundidas com as mesmas denominações empregadas para a designação da compactidade relativa das areias ou para a situação perante o índice de vazios críticos, definidos na Mecânica dos Solos.