



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS VIII
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

FRANSUÉLIO BATISTA DA SILVA

**AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE DOS REQUISITOS TÉCNICOS NOS
SERVIÇOS DE TERRAPLENAGEM DE EMPREENDIMENTOS RESIDENCIAIS:
ESTUDO DE CASO**

**ARARUNA-PB
2016**

FRANSUÉLIO BATISTA DA SILVA

**AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE DOS REQUISITOS TÉCNICOS NOS
SERVIÇOS DE TERRAPLENAGEM DE EMPREENDIMENTOS RESIDENCIAIS:
ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado à Universidade Estadual da
Paraíba, como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Ma. Maria das Vitórias do
Nascimento.

Coorientador: Prof. Dr. Daniel Baracuy da
Cunha Campos.

**ARARUNA – PB
2016**

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

586 Silva, Fransuélío Batista Da
Avaliação da conformidade dos requisitos técnicos nos
serviços de terraplenagem de empreendimentos residenciais
[manuscrito] : Estudo de caso / Fransuélío Batista Da Silva. -
2016.
50 p. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em
ENGENHARIA CIVIL) - Universidade Estadual da Paraíba,
Centro de Ciências Tecnologia e Saúde, 2016.

"Orientação: Maria das Vitórias do Nascimento,
Departamento de Engenharia civil".

"Co-Orientação: Daniel Baracuy da Cunha Campos
1. Engenharia Civil. 2. Terraplenagem. 3. Falhas de
Compactação I. Título.

21. ed. CDD 624.162

FRANSUÉLIO BATISTA DA SILVA

**AValiação da CONFORMIDADE DOS REQUISITOS TÉCNICOS NOS
SERVIÇOS DE TERRAPLENAGEM DE EMPREENDIMENTOS RESIDENCIAIS:
ESTUDO DE CASO**

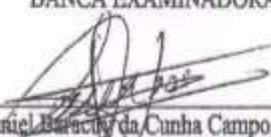
Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado à Universidade Estadual da
Paraíba, como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

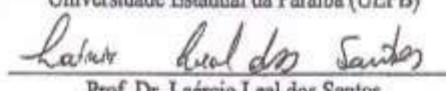
Orientadora: Prof^a. Ma. Maria das Vitórias do
Nascimento.

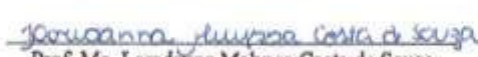
Coorientador: Prof. Dr. Daniel Baracuy da
Cunha Campos.

Aprovada em: 25/05/2016.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Daniel Baracuy da Cunha Campos (Coorientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Prof. Dr. Laércio Leal dos Santos
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Prof. Ma. Loredanna Melyssa Costa de Souza
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Aos meus pais, pela dedicação, companheirismo e amizade, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Deus que me iluminou com muita saúde e força de vontade para vencer os desafios encontrados durante este período tão importante para minha vida.

Aos meus pais, Francisco Pedro da Silva e Maria Salete Batista, que apesar das dificuldades sempre me ajudaram a conseguir vencer os obstáculos da vida.

A minha orientadora, Prof^a Ma. Maria das Vitórias do Nascimento, pelo suporte correções e incentivos.

Aos professores do Curso de Engenharia Civil da UEPB, em especial àqueles que contribuíram ao longo de mais de 5 anos por meio das disciplinas e debates para o desenvolvimento de minha formação acadêmica e profissional.

Aos funcionários da UEPB pela presteza e atendimento quando nos foi necessário.

Aos colegas de classe pelos momentos de amizade e apoio, em especial aos amigos Jandeilson, José Elianderson, Valdemar, Hugo e Aldemir que foram meus parceiros de trabalho durante o curso.

RESUMO

Uma das etapas relevantes em uma obra é a terraplenagem devido ela está diretamente relacionada ao comportamento de outros elementos construtivos de uma obra. Frequentemente, encontram-se nas obras diversos problemas decorrentes de falhas na terraplenagem. As anomalias mais frequentes encontradas são as erosões, afundamentos do solo de fundação causados por recalques excessivos e ruptura de taludes em cortes profundos. Para se obter obras de terraplenagem de boa qualidade faz-se necessário realizar o controle tecnológico em todas as etapas do serviço. A ABNT (NBR 5681/1980) normaliza o controle tecnológico de obras de terraplenagem de empreendimentos residenciais, comerciais e industriais, seja público ou privado. Segundo a norma supracitada, o controle deve ser feito em obras com responsabilidade de suporte de fundações, pavimentos ou estruturas de contenção; em aterros superiores a 1,0 m; e, aterros com volumes superiores a 1000 m³. Entretanto, seja qual for o volume de aterro é importantíssimo que se realize um controle, ao menos, sobre: os materiais empregados no aterro, a umidade e grau de compactação. Esses cuidados evitam problemas antes, durante e após a construção. O objetivo deste trabalho foi realizar, por meio de ensaios de laboratório e de campo, a análise dos serviços e metodologias empregados na terraplenagem de empreendimentos residenciais buscando identificar possíveis falhas no processo de execução e mostrar a importância do controle tecnológico para este tipo de obra. A metodologia consistiu em observar os tipos de serviços empregados na terraplenagem, realizar ensaios para caracterizar e classificar os solos empregados nos aterros, determinar o grau de compactação do aterro e buscar a identificação dos problemas decorrentes de possíveis falhas. Foi verificado o emprego das máquinas adequadas para a execução de serviços de terraplenagem de grande porte. Constatou-se que foram utilizados no aterro solos argilosiltosos de baixa compressibilidade e que foi realizado os serviços adequados de preparação para receber o aterro. O grau de compactação do aterro analisado foi de 83 %, não atendendo as exigências normativas, pois não atingiu o valor mínimo exigido para o tipo de obra analisada que é de 95 %. Isso pode ter sido ocasionado por diversos motivos, entre os quais, os mais relevantes são a baixa energia de compactação e a compactação com teor de umidade diferente do teor ótimo que é de 18 % para o solo analisado.

Palavras-Chave: Terraplenagem. Controle Tecnológico. Falhas de Compactação.

ABSTRACT

One of the relevant steps in a work is the embankment because she is directly related to the behavior of other constructive elements of a work. Often, are in the works several problems arising from faults in the earthwork. The most common abnormalities found are the erosions, soil Foundation sags caused by excessive slope break repressions in deep cuts. For excavation works of good quality it is necessary to carry out the technological control in all stages of the service. ABNT (NBR 5681/1980) normalizes the technological control of excavation works of residential, commercial and industrial enterprises, whether public or private. According to the aforementioned standard, the control must be made in the works with responsibility to support from foundations, floors or containment structures; in landfills over 1.0 m; and landfills with volumes larger than 1000 m³. However, whatever the volume of landfill it is important that a control, at least about: the materials used in landfill, moisture and degree of compression. These precautions prevent problems before, during and after construction. The aim of this work was to perform, by means of laboratory and field testing, analysis services and methodologies employed in grading of residential seeking to identify possible failures in the implementation process and show the importance of technological control for this type of work. The methodology consisted in observing the types of services used in earthworks, perform tests to characterize and classify the soils used in landfills, determine the degree of compression of the landfill and the identification of problems arising from possible failures. It was verified the employment of appropriate machinery for the execution of large earthwork services. It was found that were used at landfill argilosiltosos soils of low compressibility and that appropriate services of preparation to receive the landfill. The degree of compression of the landfill was 83%, analyzed not meeting the regulatory requirements, do not reach the minimum required for the type of work considered that is 95%. This may have been caused by several reasons, among which, the most relevant are the low power compression and compression with different moisture content of great content that is 18% for soil analysis.

Keywords: earthwork. Technological Control. Failures compression.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Distribuição granulométrica por peneiramento.....	16
Figura 2 –	Aparelho Casagrande para determinação do limite de liquidez.....	17
Figura 3 –	Ensaio de plasticidade.....	18
Figura 4 –	Esquema para a classificação dos solos pelo SUCS.....	20
Figura 5 –	Classificação AASHTO.....	21
Figura 6 –	Influência da energia de compactação.....	26
Figura 7 –	Localização do empreendimento.....	30
Figura 8 –	Áreas de Aterro com declividades acentuadas.....	30
Figura 9 –	Perfil de solo da amostragem.....	31
Figura 10 –	Gráfico de granulometria por peneiramento.....	36
Figura 11 –	Gráfico de limite de liquidez do solo ensaiado.....	37
Figura 12 –	Gráfico de compactação do solo.....	40
Figura 13 –	Processo erosivo no aterro.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Índices de Alguns Solos Brasileiros.....	19
Tabela 2	– Energia de compactação.....	22
Tabela 3	– Preparação para a análise granulométrica por peneiramento.....	35
Tabela 4	– Análise granulométrica por peneiramento.....	35
Tabela 5	– Resumo da granulometria.....	36
Tabela 6	– Limite de liquidez do solo.....	37
Tabela 7	– Limite de plasticidade do solo.....	38
Tabela 8	– Classe de Solo pelo IP.....	39
Tabela 9	– Classificação do solo.....	39
Tabela 10	– Propriedades esperadas do grupo de solos do SUCS.....	40
Tabela 11	– Massa específica aparente.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagens
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ASTM	American Society for Testing and Materials
TRB	Transportation Research Board
SUCS	Sistema Unificado de Classificação dos Solos
IP	Índice de Plasticidade
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
CBR	Califórnia Bearing Ratio
ISC	Índice de Suporte Califórnia
IG	Índice de Grupo
G_c	Grau de Compactação
f_c	Fator de Correção

LISTA DE SÍMBOLOS

$\%$	Porcentagem
δ	Massa específica
γ	Peso específico
δ_a	Massa específica aparente
h_{hig}	Umidade higroscópica
$H_{\text{ótima}}$	Umidade ótima
γ_d	Peso específico seco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS.....	14
2.1	<i>Objetivo geral.....</i>	14
2.2	<i>Objetivos específicos.....</i>	14
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
3.1	Terraplenagem	15
3.1.1	<i>Caracterização dos Solos.....</i>	15
3.1.1.1	<i>Granulometria.....</i>	15
3.1.1.2	<i>Limites de Consistência.....</i>	16
3.1.1.3	<i>Classificação dos Solos.....</i>	19
3.1.2	<i>Ensaio de Compactação</i>	21
3.1.3	<i>Ensaio Realizados no Controle Tecnológico dos Serviços de Compactação....</i>	22
3.1.3.1	<i>Determinação do teor de Umidade do Solo Pelo Aparelho Speedy Test.....</i>	22
3.1.3.2	<i>Determinação da Massa Específica com o Emprego do Frasco de Areia.....</i>	22
3.1.3.3	<i>Determinação do Grau de Compactação.....</i>	23
3.1.4	<i>Serviços Preliminares.....</i>	23
3.1.5	<i>Corte.....</i>	23
3.1.6	<i>Aterro.....</i>	24
3.1.6.1	<i>Compactação em Campo.....</i>	26
3.2	Controle tecnológico em obras de terraplenagem.....	27
3.2.1	<i>Controle dos Materiais e Sua Compactação.....</i>	27
3.1.3	<i>Controle dos Serviços Realizados.....</i>	28
4	METODOLOGIA.....	29
5	ESTUDO DE CASO.....	29
5.1	Descrição da Área Estudada.....	29
5.2	Amostragem e Metodologia dos Ensaio.....	31
5.2.1	<i>Ensaio de Caracterização.....</i>	32
5.2.1.1	<i>Ensaio de Granulometria.....</i>	32
5.2.1.2	<i>Limites de Consistência.....</i>	33
5.2.2	<i>Ensaio de Compactação.....</i>	33

5.3	Resultados e Discussões.....	34
<i>5.3.1</i>	<i>Ensaio de Caracterização do Solo.....</i>	<i>34</i>
<i>5.3.1.1</i>	<i>Análise Granulométrica por Peneiramento</i>	<i>34</i>
<i>5.3.1.2</i>	<i>Limites de Consistência.....</i>	<i>36</i>
<i>5.3.1.3</i>	<i>Classificação dos Solos.....</i>	<i>39</i>
<i>5.3.2</i>	<i>Ensaio de Compactação.....</i>	<i>40</i>
<i>5.3.2.1</i>	<i>Compactação em Campo.....</i>	<i>41</i>
5.3.3	Análise dos Serviços e Metodologia Empregada nos Serviços de Terraplenagem do loteamento	42
5.4	Importância do Controle Tecnológico.....	44
6	CONCLUSÃO.....	45
	REFERÊNCIAS.....	46

1 INTRODUÇÃO

A busca por espaço nas grandes e pequenas cidades é um fator que impulsiona a necessidade de exploração de novas áreas para a construção. Essa exploração quase sempre é executada sem nenhum controle sobre os serviços de terraplenagem. Na construção de um empreendimento, seja qual for o porte, é necessário que se faça um correto serviço de terraplenagem para garantir estabilidade para a execução de projetos com segurança e economia. Um correto serviço de movimentação de terra exige um amplo conhecimento e aplicação das metodologias e controle em sua execução.

O comportamento dos cortes e aterros está intimamente relacionado com as características do solo utilizado nas obras de terraplenagem, pois, o solo é um material de construção que exige um amplo conhecimento de suas características geotécnicas. Seja qual for o porte da obra, deve-se aplicar os conhecimentos geotécnicos na execução dos aterros para evitar problemas nas obras de engenharia. Lozano, (2016) exemplifica os diversos problemas decorrentes de falhas na execução de aterros:

- a) Recalques e afundamentos de pisos, ruas, vias e fundações;
- b) Vazamentos de redes hidráulicas e sanitárias;
- c) Deslizamentos de taludes, contenções, muros de arrimo;
- d) Vazamentos de lagoas de tratamento de resíduos e líquidos;
- e) Erosões internas em diques e barragens;
- f) Não enchimento de lagoas, diques e barragens por perda d'água.

Devido a esses problemas é necessário fazer o controle tecnológico das movimentações de terra. Esse controle tecnológico é realizado por diversos ensaios que visam conhecer as propriedades do solo e os comportamentos deste diante das solicitações impostas.

Vargas (1978), afirma que as propriedades físicas de maior interesse do ponto de vista geotécnico no estudo de um solo são: a textura, a plasticidade e a estrutura; a partir delas é possível fazer uma caracterização expedita do solo.

As condições topográficas dos terrenos exigem, às vezes expressivas movimentações de terra, e em geral, é fundamental o uso de materiais os mais próximos possíveis da obra. Quando possível se faz a compensação de volume utilizando o material de corte nos aterros e quando não há essa possibilidade é necessário encontrar áreas de empréstimo que forneçam materiais

de boa qualidade para a construção dos aterros. Encontrar solos de boa qualidade perto da obra é uma tarefa essencial para a economicidade do empreendimento. É necessário estudar tanto os materiais empregados quando as técnicas construtivas buscando sempre a melhor alternativa técnica e econômica para o projeto.

O que se observa nas construções que envolvem movimentações de terra, principalmente nas pequenas cidades, é que geralmente não se dá a devida importância à questão. Nesse contexto, o presente trabalho se propõe a fazer uma análise dos serviços e metodologias empregados na terraplenagem de um loteamento localizado na cidade de Solânea – PB, buscando mostrar a importância do controle tecnológico na realização desses serviços.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Realizar, através de ensaios de laboratório e de campo, a análise dos serviços e metodologias empregados na terraplenagem, bem como identificar possíveis falhas no processo de execução deste tipo de obra em um loteamento na cidade de Solânea – PB, buscando mostrar a importância do controle tecnológico.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar e classificar dos solos empregados nos aterros;
- Verificar se o grau de compactação do aterro atende as exigências normativas;
- Fazer uma análise dos serviços de terraplenagem empregados na obra;
- Mostrar possíveis falhas na execução do serviço de movimentação de terra;
- Mostrar a importância do controle tecnológico em obras de terraplenagem de construções comerciais e residenciais.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Terraplenagem

A terraplenagem é uma operação essencial em uma obra, ela é destinada a conformar o terreno existente aos gabaritos especificados em projeto.

(NICHOLS, 2010 apud SOUZA, 2014) define a terraplenagem ou movimento de terras, como o conjunto de operações necessárias para remover a terra dos locais em que se encontra em excesso para aqueles em que há falta, tendo em vista um determinado projeto a ser implantado. De maneira geral ela engloba as seguintes etapas: serviços preliminares, corte (escavação de materiais) e aterro (deposição e compactação dos materiais).

3.1.1 Caracterização dos Solos

Para a avaliação de um solo para uso em aterros, geralmente, utiliza-se os ensaios de compactação (Proctor), CBR ou ISC – Índice de Suporte Califórnia, expansibilidade, análise granulométrica por peneiramento, e ensaio físico para determinação dos limites de liquidez (LL) e plasticidade (LP) e o índice de plasticidade.

A caracterização dos solos é feita por meio dos ensaios de granulometria, limites de consistência e densidade real do solo.

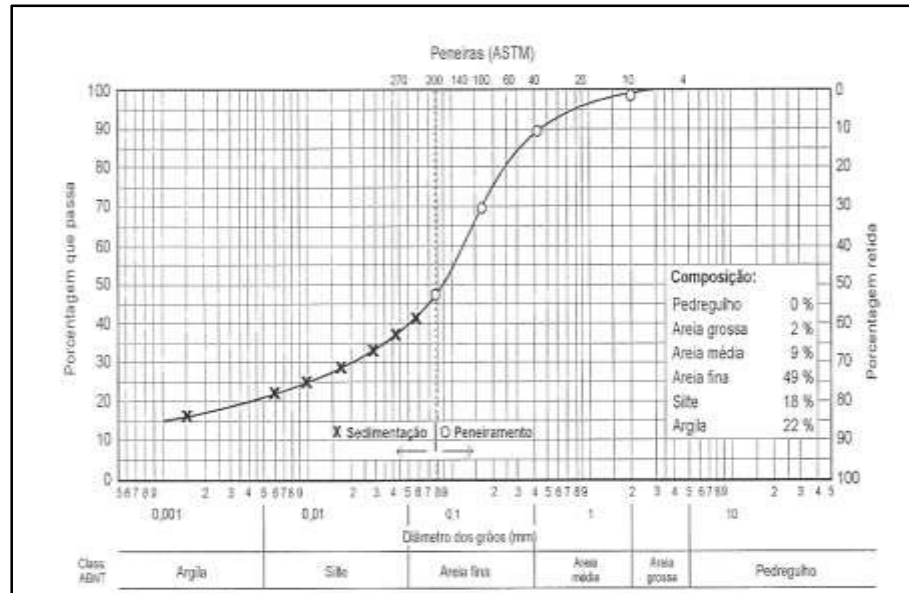
3.1.1 Ensaios de Caracterização dos Solos

3.1.1.1 Granulometria

O ensaio de granulometria é o processo utilizado para a determinação da porcentagem em peso que cada faixa especificada de tamanho das partículas representa na massa total ensaiada. Os resultados do ensaio permitem a construção da curva granulométrica que tem importante utilidade tanto na classificação dos solos quanto na estimativa de parâmetros para diversas obras dentre as quais: aterros em obras de terraplenagem, que será objeto de estudo deste trabalho. O peso do material que passa em cada peneira, referido ao peso seco da amostra, é a porcentagem que passa que é representado graficamente em função da abertura da peneira em escala logarítmica.

De acordo com a NBR 7181/1988, a análise granulométrica pode ser realizada por peneiramento, ou por uma combinação de peneiramento e sedimentação. A Figura 1 ilustra a distribuição granulométrica de um solo:

Figura 1: Distribuição Granulométrica por Peneiramento.



Fonte: (PINTO, 2006).

3.1.1.2 Limites de Consistência

De acordo com Pinto (2006), só a distribuição granulométrica não caracteriza bem o comportamento dos solos sob o ponto de vista da engenharia, pois as frações finas do solo têm uma grande importância nesse comportamento. Segundo o Autor supracitado, a busca por uma forma prática de identificar a influência das partículas argilosas resultou numa análise indireta baseada no comportamento do solo na presença de água. Essa análise, proposta por Atterberg e adaptada por Casagrande, é baseada no comportamento particular dos solos argilosos diante de variação de umidade.

Para Caputo (1988), embora os limites de consistência sejam definidos de maneira convencional, eles permitem, de forma simples e rápida, ter uma noção clara do tipo de solo e de suas propriedades. Esses índices são padronizados no Brasil pelas seguintes normas: NBR 6459/1984 (limite de liquidez) e NBR 7180/1984 (limite de plasticidade).

- **Limite de liquidez**

Normatizado pela NBR 6459/1984 o ensaio de limite de liquidez visa determinar o teor de umidade a partir do qual o solo passa a se comportar como um líquido. O limite de liquidez é definido como o teor de umidade do solo com o qual uma ranhura nele feita requer 25 golpes para se fechar, numa concha. A Figura 2 mostra o aparelho de Casagrande, aparelho utilizado para realizar o ensaio de limite de liquidez.

Figura 2: Aparelho Casagrande.



- **Limite de Plasticidade**

O limite de plasticidade é definido como o menor teor de umidade com o qual se consegue moldar um cilindro de 3 mm de diâmetro, rolando-se o solo com a palma da mão (NBR 7180/1984). A Figura 3 ilustra o ensaio de plasticidade.

Figura 3: Ensaio de plasticidade.



- **Índice de Plasticidade**

O índice de plasticidade define a zona em que o solo se apresenta no estado plástico e, é definido como a diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade:

$$IP = LL - LP \quad (1)$$

O índice de plasticidade fornece um critério de verificação do caráter argiloso de um solo. Quanto maior o IP de um solo mais plástico este será.

As argilas com IP elevado apresentam uma maior compressibilidade. Segundo (JENKINS, apud CAPUTO, 1988), os solos poderão ser classificados em:

- Fracamente plásticos – $1 < IP < 7$;
- Mediamente plásticos – $7 < IP < 15$;
- Altamente plásticos – $IP > 15$.

A Tabela 1 mostra índices de consistência de alguns solos brasileiros.

Tabela 1: Índices de alguns solos brasileiros

Solos	LL %	IP %
Residual de arenito (arenosos finos)	29-44	11-20
Residual de gnaiss	45-55	20-25
Residual de basalto	45-70	20-30
Residual de granito	45-55	14-18
Argilas orgânicas de várzeas quaternárias	70	30
Argilas orgânicas de baixadas litorâneas	120	80
Argila vermelha de São Paulo	65 a 85	25 a 40
Argila variegadas de São Paulo	40 a 80	15 a 45
Areias argilosas variegadas de São Paulo	20 a 40	5 a 15
Argilas duras, cinzas, de São Paulo	64	42

Fonte: (PINTO, 2006).

3.1.1.3 Classificação dos Solos

Segundo PINTO (2006), a classificação dos solos, para fins de engenharia civil, objetiva estimar o provável comportamento do solo ou, ao menos poder criar condições que oriente investigações necessárias à análise de um problema. O autor supracitado acrescenta que os sistemas de classificação baseados nas características dos grãos do solo objetivam definir grupos sob os aspectos de interesse da engenharia civil. Esses sistemas empregam a composição granulométrica e os limites de Atterberg.

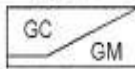
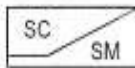
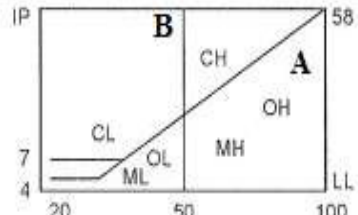
- **Sistema Unificado de Classificação dos solos (SUCS)**

Segundo DAS (2013), o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) é amplamente utilizado pelos engenheiros. Segundo o Autor este sistema classifica o solo em duas grandes categorias: solos de granulação grossa, pedregulho e areia, cujo material que passa pela peneira nº 200 é menor que 50 % e solos de granulação fina cujo material que passa 50 % ou mais na peneira nº 200. De acordo com Pinto (2006) todos os solos são identificados pelo conjunto de duas letras: a primeira indica o tipo principal de solo e a segunda corresponde a dados complementares dos solos. Para a classificação por este sistema o primeiro aspecto a considerar é a porcentagem de finos presentes no solo. Se a porcentagem for inferior a 50, o

solo é considerado de granulação grossa, G ou S. Se for superior a 50 %, o solo será considerado de granulação fina, M, C ou O (PINTO, 2006).

Uma característica complementar dos solos finos é a sua compressibilidade que é tanto maior quanto maior for o limite de liquidez do solo. O SUCS classifica – se secundariamente como de alta compressibilidade (H) ou de baixa compressibilidade (L) os solos M, C ou O, em função do limite de liquidez ser superior ou inferior a 50, respectivamente. Quando os índices indicam uma posição muito próxima as linhas A ou B, é considerado um caso intermediário e as duas classificações são apresentadas (PINTO, 2006). A Figura 4 apresenta o esquema para a classificação do solo pelo SUCS.

Figura 4: Esquema para a classificação dos solos pelo SUCS.

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

Fonte: Adaptado de (PINTO, 2006).

- **Sistema de Classificação da AASHTO**

Embora essa classificação não leve em conta as características diferenciadas dos solos tropicais, é adotada pela maioria dos órgãos rodoviários brasileiros.

Segundo Das (2013), esse sistema classifica o solo em sete grandes grupos: A-1 a A-7. Os solos classificados como pertencentes aos grupos A-1, A-2, e A-3 são materiais granulares nos quais 35% ou menos das partículas passam pela peneira nº 200. Já os solos nos quais mais de 35% das partículas passam pela peneira nº 200 pertencem aos grupos A-4, A-5, A-6 e A-7.

A Figura 5 apresenta o resumo dessa classificação.

Figura 5: Classificação AASHTO.

		% P #10 2,0 mm	% P #40 0,42 mm	% P #200 0,075 mm	IP
% P #200 < 35	A-1a	< 50	< 30	< 15	< 6
	A-1b		< 50	< 25	< 6
	A-3		> 50	< 10	NP
	A-2				
	A-2-4				
	A-2-5				
	A-2-6				
	A-2-7				
% P #200 > 35	A-4				
	A-5				
	A-6				
	A-7-5				
	A-7-6				

Fonte: (PINTO, 2006).

3.1.2 Ensaio de Compactação

O ensaio de compactação, padronizado no Brasil pela NBR 7182/1986, é um procedimento que visa obter a densificação do solo removendo o ar contido entre os seus grãos empregando-se energia mecânica. Esse ensaio objetiva determinar a relação entre o teor de umidade e a massa específica seca quando a fração de solo que passa na peneira 19 mm é compactada.

O ensaio de compactação (Proctor) pode ser realizado de três modos: normal, intermediário e o modificado. A Tabela 2 mostra as características do ensaio para cada energia de compactação:

Tabela 2: Energia de Compactação

Cilindro	Característica da energia de compactação	Energia		
		Normal	Intermediária	Modificada
Pequeno	Soquete	Pequeno	Grande	Grande
	Número de camadas	3	3	5
	Número de golpes por camada	26	21	27
Grande	Soquete	Grande	Grande	Grande
	Número de camadas	5	5	5
	Número de golpes por camada	12	26	55
	Altura disco espaçador (mm)	63,5	63,5	63,5

Fonte: ABNT/NBR 7182/1986.

3.1.3 Ensaios Realizados no Controle Tecnológico dos Serviços de Compactação

Nos serviços de compactação os ensaios de campo mais empregados são a determinação da umidade, pelos métodos da frigideira e do speedy test, e a determinação da massa específica aparente seca máxima determinada pelo método do frasco de areia.

3.1.3.1 Determinação do teor de umidade do solo pelo aparelho Speedy Test

A determinação da umidade pelo aparelho speedy test é realizada por meio da reação química da água da amostra com o carbureto de cálcio. A norma DNER – ME 052/94, preconiza os procedimentos gerais para a determinação da umidade pelo emprego do aparelho “speedy”.

3.1.3.2 Determinação da Massa Específica Seca com o Emprego do Frasco de Areia

De acordo com a ABNT NBR 7185/1986 o método de determinação da massa específica pelo frasco de areia aplica-se a solos com qualquer tipo de granulação, contendo ou não pedregulhos, que possam ser escavados com ferramentas manuais, e cujos vazios naturais sejam suficientemente pequenos para que a areia usada no ensaio neles não penetre. O material em estudo deve ser suficientemente coeso e firme para que as paredes da cavidade a ser aberta permaneçam estáveis e as operações realizadas não provoquem deformações na cavidade.

3.1.3.3 Determinação do grau de compactação

O grau de compactação de um aterro é um parâmetro de avaliação dos serviços de compactação e é determinado pela seguinte equação:

$$G_c = \frac{\gamma_{s,campo}}{\gamma_{s,máxima}} \times 100 \quad (2)$$

3.1.4 Serviços preliminares

A preparação do terreno é uma etapa importante que precede os serviços de movimentações de terra. (ABRAM, 2000 apud SOUZA, 2014) aponta as seguintes etapas:

- a) Desmatamento (retirada da vegetação de grande porte);
- b) Destocamento (retirada de troncos e raízes);
- c) Limpeza – retirada da vegetação rasteira;
- d) Remoção da camada vegetal.

3.1.5 Corte

Souza (2014), define escavação como sendo o processo empregado para romper a compacidade do solo em seu estado natural, por meio de equipamentos manuais ou mecânicos, para tornar possível o seu manuseio. O processo de escavação exige uma etapa preliminar de preparação do terreno que engloba os seguintes serviços: desmatamento, destocamento e limpeza da área de empréstimo.

- **Empréstimo**

O empréstimo consiste no processo de escavação de material nas jazidas para complementar o material necessário a execução do aterro.

- **Transporte**

O transporte consiste enchimento da caçamba ou no acúmulo diante da lâmina, do com o material escavado.

- **Espalhamento**

O espalhamento consiste em espalhar o material trazido pelos caminhões basculantes pela área do aterro. Esse processo é realizado por meio de tratores e/ou motoniveladoras, uniformizando a camada para receber o aterro.

3.1.6 Aterro

Para a execução de aterros faz-se necessário o conhecimento dos materiais advindos do corte. De acordo com a especificação da norma DNIT-ES – 108/2009, os materiais a serem utilizados na execução dos aterros serão provenientes das escavações referentes à execução dos cortes e da utilização de empréstimos, devidamente caracterizados e selecionados com base nos Estudos Geotécnicos desenvolvidos através do projeto de engenharia.

- **Compactação**

A compactação de um solo é o processo que visa aumentar a sua densificação por meio de equipamento mecânico. De acordo com Pinto (2006), a compactação é empregada em diversas obras de engenharia. Segundo o citado autor, o tipo de obra e de solo disponível vão ditar o processo de compactação a ser empregado, a umidade em que o solo deve se encontrar na ocasião e a densidade a ser atingida, com o objetivo de reduzir futuros recalques, aumentar a resistência do solo etc.

O início da técnica de compactação é creditado ao engenheiro norte-americano Proctor, que em 1933 publicou observações sobre a compactação de aterros, mostrando que, ao aplicar-se certa energia de compactação, o peso específico aparente resultante é função da umidade em que o solo foi compactado (PINTO, 2006). A partir dessas observações surgiu o método de Proctor que visa identificar a umidade ótima e a massa específica seca máxima após a compactação.

(BARROS et al, 2014), afirmam que vários pesquisadores tentaram explicar a influência da água na microestrutura do solo compactado. A teoria de Olson conclui que a adição de água, até certo teor, ajuda na lubrificação e expulsão do ar, provocando um novo rearranjo das partículas a cada esforço aplicado. Quando a quantidade de água presente nos vazios não permitir o rearranjo das partículas, o solo terá atingido o peso específico aparente seco máximo e a umidade ótima (FILHO, 1995 apud BARROS et al, 2014).

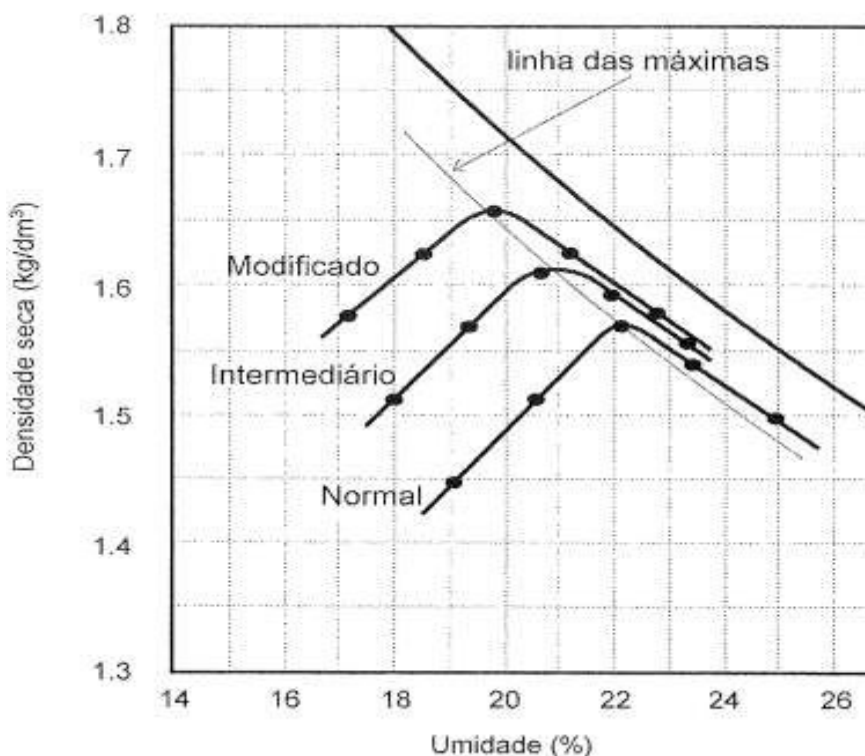
A criação de “filmes” de água que se formam em volta dos grãos quando o solo está na umidade ótima, ou próxima disso, implica na lubrificação das partículas. A redução da viscosidade da água ocasiona a diminuição do atrito entre os grãos melhorando a eficiência da compactação com aumento do peso específico do solo (HOGENTOGGLER, 1937 apud BARROS et al, 2014). Este aumento da massa específica ocorre devido a eliminação do ar dos vazios que é facilitada pela ação da umidade que permitem a formação de canalículos interconectados. A redução do atrito pela água e os canalículos de ar permitem a massa específica maior quando o teor de umidade é maior. A partir de certo teor de umidade, a compactação não consegue expulsar o ar dos vazios devido ao efeito da saturação que envolve o ar com água. Para cada energia aplicada, há um certo teor de umidade, denominado teor ótimo, que conduz a densidade seca máxima (PINTO, 2006).

- **Influência da Energia de Compactação**

A densidade seca máxima e a umidade ótima dependem da energia aplicada. Quando o solo se encontra com umidade abaixo da ótima, a aplicação de maior energia de compactação provoca um aumento na densidade seca, mas quando a umidade é maior que a ótima, maior esforço de compactação pouco ou nada provoca na de aumento de densidade, pois não se consegue expelir o ar dos vazios (PINTO, 2006). No campo, devido a insistência da passagem de equipamento compactador quando o solo se encontra muito úmido faz ocorrer o fenômeno do solo “borrachudo”, ou seja, o solo comprime com a passagem do equipamento, mas se dilata logo após.

O aumento da energia de compactação provoca um aumento na densidade seca máxima e uma diminuição na umidade ótima, deslocando a curva de compactação para a esquerda e para o alto (PINTO, 2006). A Figura 6 mostra a influência da energia de compactação na curva de compactação do solo.

Figura 6: Influência da Energia de Compactação.



Fonte: (PINTO, 2006).

3.1.6.1 Compactação em Campo

Segundo Pinto (2006), a compactação consiste em várias operações tais como:

- **Escolha da área de empréstimo:**

A escolha da área de empréstimo deve levar em conta o fator técnico-econômico. Deve-se escolher jazidas com menor distância de transporte e melhor qualidade geotécnica do material.

- **Transporte e espalhamento do solo:**

A espessura da camada solta a espalhar deve ser compatível com a espessura final, normalmente estabelecida em 15 a 20 cm.

- **Acerto da umidade:**

Realizado por irrigação ou aeração, seguida de revolvimento mecânico do solo de maneira a homogeneizá-lo;

- **Compactação propriamente dita:**

Os equipamentos devem ser escolhidos de acordo com o tipo de solo. Para solos argilosos os rolos pé de carneiro são ideais. Rolos pneumáticos são eficientes para uma grande variedade de solos e os rolos vibratórios são especialmente aplicados em solos granulares. (PINTO, 2006, p.87) em aterros de pouca responsabilidade, um caminhão de transporte carregado pode substituir um equipamento específico de compactação, porém devido a pequena área de contato, fica condicionada a um maior número de passadas para se conseguir homogeneidade adequada.

- **Controle da compactação:**

O controle de compactação é feito sobre o teor de umidade e grau de compactação. São aceitos desvios de umidade em relação a ótima de mais ou menos 2%. O grau de compactação mínimo exigido é de 95 %.

- **Falhas de Compactação**

Lozano, (2016) afirma que independente do volume de aterro, do solo do local e das possibilidades de áreas de empréstimo (de onde se remove o solo), há um procedimento executivo de engenharia civil geotécnica adequado, que proporcionará economia e segurança.

As falhas de execução dos aterros ocorrem por falhas no processo de compactação. Lozano, (2016) exemplifica os diversos problemas decorrentes de falhas na execução de aterros:

- a) Recalques e afundamentos de pisos, ruas, vias e fundações;
- b) Vazamentos de redes hidráulicas e sanitárias;
- c) Deslizamentos de taludes, contenções, muros de arrimo;
- d) Vazamentos de lagoas de tratamento de resíduos e líquidos;
- e) Erosões internas em diques e barragens;
- f) Não enchimento de lagoas, diques e barragens por perda d'água.

3.2 Controle Tecnológico em Obras de Terraplenagem

Os serviços de terraplenagem em uma obra é parte fundamental no sucesso de um empreendimento, pois são destinados a compatibilizar o terreno natural as condições exigidas pelo projeto. Devida a importância deste serviço é essencial que se faça, independente do porte da obra, o controle tecnológico nas condições exigidas pelas normas regulamentadoras.

A NBR 5681/1980 especifica que na execução de um aterro de obras de edificações residenciais é obrigatório fazer um controle tecnológico que leve em conta as exigências do projeto e das especificações particulares de cada obra em especial quanto a:

- Característica e qualidade do material a ser utilizado;
- Controle da umidade do material;
- Espessura e homogeneidade das camadas;
- Equipamento adequado para a compactação;
- Grau de compactação mínimo a ser atingido.

3.2.1 Controle dos Materiais e sua Compactação

A NBR 5681/1980 preconiza as exigências mínimas dos ensaios necessários e suficientes a um controle estatístico do material compactado. Segundo a citada norma técnica, são necessários no mínimo os seguintes ensaios geotécnicos do material dos aterros:

- Nove ensaios de compactação conforme NBR 7182/1986, para cada 1000 m³ de um mesmo material; além de 9000 m³ deverá ser acrescido um ensaio;
- Nove ensaios para determinação da massa específica seca, in situ, para cada 500 m³ de material compactado; além de 4500 m³ deverá ser acrescido um ensaio;
- Nove ensaios de granulometria por peneiramento (NBR 7181), limite de liquidez (NBR 6459) e de limite de plasticidade (NBR 7180), para cada grupo de quatro amostras submetidas ao ensaio de compactação da alínea a); além de 9000 m³ deverá ser acrescido um ensaio.

3.2.2 Controle dos serviços realizados

Além dos ensaios exigidos para o controle estatístico dos materiais empregados nos aterros, alguns aspectos são de fundamental importância para a eficácia do serviço de compactação. A NBR 5681/1980 afirma que devem ser controlados no local os seguintes aspectos:

- Preparação adequada do terreno para receber o aterro: retirada de vegetação ou restos de demolições;
- Emprego de materiais selecionados para os aterros, não podendo ser tufas, argilas orgânicas, nem solos com matéria orgânica micácia, devendo ser evitados o uso de solos expansivos;

- As operações de lançamento, homogeneização, umedecimento ou aeração e compactação do material, de forma que a espessura das camadas compactadas sejam de no máximo 0,30 m;
- O grau de compactação mínimo exigido é de 95 % ou mais elevado, conforme especificações elaboradas para cada obra;
- As camadas que não tenham atingido as condições mínimas de compactação, ou que estejam com espessura maior que a máxima especificada, devem ser escarificadas, homogeneizadas, levadas à umidade adequada e novamente compactadas antes do lançamento da camada sobrejacente.

4 METODOLOGIA

A metodologia empregada neste trabalho consistiu em verificar os solos empregados nos serviços de terraplenagem e coletar amostras deformadas para a caracterização. Foram realizados ensaios de determinação da umidade e do grau de compactação para verificar se a compactação em campo está de acordo com as especificações de laboratório. A amostra de solo foi coletada no pé do talude remanescente da escavação feita por processo mecânico. Foram realizados ensaios de caracterização, densidade *in situ* e um ensaio de compactação para verificação do grau de compactação do aterro de uma área escolhida por uma observação visual dos materiais, e verificar se o grau de compactação atende as prescrições das normas técnicas vigentes.

5 ESTUDO DE CASO

O presente estudo de caso buscou a partir da caracterização dos solos e do ensaio de densidade *in situ*, analisar os serviços e metodologias empregados em uma terraplenagem no município de Solânea – PB, e a partir daí mostrar a importância da realização do controle tecnológico nesse tipo de serviço.

5.1 Descrição da Área Estudada

Na área objeto de estudo será construído um condomínio fechado com 40.000 m². O empreendimento está localizado na cidade de Solânea- PB, na Avenida Governador João Fernandes de Lima, às margens da rodovia estadual PB-105.

A cidade de Solânea está localizada na Mesorregião do Agreste Paraibano e na Microrregião do Curimataú Oriental do Estado da Paraíba. A Figura 7 ilustra a localização geográfica do local do empreendimento em relação a cidade de Solânea.

Figura 7: Localização do Empreendimento.



Fonte: Googleearth. Acesso em: 09/05/2016.

Esta área apresenta, em sua maior parte, um relevo com declividades acentuadas exigindo expressivas movimentações de terra. Conforme ilustra a Figura 8.

Figura 8: Áreas de aterro com declividades acentuadas.



5.2 Amostragem e Metodologia dos Ensaios de Laboratório

Os ensaios de caracterização e compactação foram realizados no Laboratório de Geotecnia da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), em amostras de solo argiloso extraída do talude remanescente do corte, situado próximo à rodovia estadual PB – 105. Também foi realizado ensaio de densidade in situ com emprego do frasco de areia, a fim de determinar o grau de compactação (G_c) do aterro executado.

A área de investigação deste trabalho apresenta diferentes tipos de solos com camadas de pequena espessura. Os materiais dessas camadas foram objeto de amostragem para ensaios de laboratório. A Figura 9 apresenta a imagem do perfil de solo onde foi coletada uma amostra deformada de solo.

Figura 9: Perfil de solo da amostragem.



Na imagem da figura 9 pode-se observar as camadas que compõem o perfil de solo. A camada 1, composta por um solo argiloso com pedregulho e matéria orgânica, tem uma profundidade de aproximadamente 50 cm. A camada 2 tem uma profundidade de 150 cm e é composta por um solo argiloso com pedregulho.

Foi realizada a coleta de uma amostra de solo para os ensaios de caracterização e compactação. A amostra foi retirada do pé do perfil de solo (Figura 9), distante 50 m da rodovia PB- 105.

5.2.1 Ensaios de Caracterização

Os ensaios de caracterização realizados foram ensaio de granulometria, ensaio de limite de liquidez (LL), ensaio de limite de plasticidade (LP). A preparação de amostras para os ensaios de caracterização seguiu as recomendações da Norma Brasileira ABNT NBR 6457/1986 (Amostras de solo – Preparação de amostras para ensaios de compactação e ensaios de caracterização). Para a execução dos citados ensaios foram seguidas as recomendações das seguintes normas:

ABNT NBR 7181/1984 (Solo – Análise Granulométrica), ABNT NBR 6459/1984 (Solo – Determinação do Limite de Liquidez) e ABNT NBR 7180/1984 (Solo – Determinação do Limite de Plasticidade).

5.2.1.1 Ensaio de Granulometria

A amostra de solo que foi ensaiada, depois de destorroada, foi repartida com repartidor de amostras para a obtenção de uma quantidade significativa da amostra necessária ao ensaio de granulometria. Após a preparação da amostra fez-se o peneiramento da amostra na peneira 2,00 mm. O material retido foi lavado em água potável à baixa pressão para retirada do material fino aderente nos grãos grossos. Após a lavagem a mostra foi colocado na estufa à 105- 110 graus Celsius para a secagem do material. Do material passante na peneira 2,00 mm, retirou-se cerca de 150 g de solo para a determinação da umidade higroscópica e 150 g de solo para o peneiramento fino. O material destinado ao peneiramento fino foi lavado na peneira 0,075 mm e seco em estufa por 24 horas.

Conforme salienta Silveira (2003), a ABNT NBR 7181/1984 não especifica o procedimento a ser adotado na lavagem da peneira 200, mencionando somente que esta deve ser feita com água potável à baixa pressão. Segundo (SILVEIRA, 1991 e RIGO, 2000 apud SILVEIRA, 2003) a utilização da mão do operador durante a lavagem do material na peneira número 200 resulta em perdas consideráveis de solo devido à quebra das partículas durante este processo. Neste trabalho procurou-se, durante a lavagem, tomar os devidos cuidados para não ocasionar perdas de material. Ao término da secagem do material procedeu-se os peneiramentos grosso e fino, anotando-se o material retido em cada peneira.

5.2.1.2 Limites de Consistência

Os ensaios de limites de consistência foram realizados com amostra destorroada e peneirada na peneira 0,42 mm, de maneira a obter-se a quantidade necessária para o ensaio. As amostras assim obtidas foram misturadas com água formando-se uma pasta. Os limites de liquidez e de plasticidade foram realizados conforme os procedimentos normalizados pelas normas ABNT NBR 6459/1984 e ABNT NBR 7180/1984. O limite de plasticidade é dado pela média das umidades obtidas, sendo aceitáveis valores que não diferir das umidades individuais em mais ou menos 5 %. As equações 3 e 4 são utilizadas para fazer esta verificação, valores que fiquem fora deste intervalo devem ser descartados e uma nova média deve ser obtida.

$$LP = média + 0,05x média \quad (3)$$

$$LP = média - 0,05x média \quad (4)$$

5.2.2 Ensaio de Compactação

O ensaio de compactação foi realizado utilizando as especificações preconizados pela norma ABNT NBR 7182/1986 (Solo – Ensaio de Compactação).

- **Preparação da Amostra:**

A amostra de solo foi preparada com secagem prévia até próximo a umidade higroscópica, conforme especifica a NBR 6457/1986 (Amostras de solo – Preparação de Amostras para Ensaio de Compactação e Caracterização). A amostra foi destorroada e quarteada com o uso do repartidor de amostras, de modo a se obter uma amostra representativa em quantidade suficiente para a realização do ensaio. Observou-se que a amostra representativa não passava integralmente na peneira 4,8 mm, então a mesma foi peneirada na peneira 19 mm. Verificou-se que a amostra passou integralmente na peneira 19 mm, então conforme a NBR 6457/1986.

- **Execução do Ensaio:**

Foram realizados os seguintes procedimentos:

- a) Fixou-se o molde cilindro à sua base, acoplou-se o cilindro complementar, colocou-se o disco espaçador e apoiou-se o conjunto em uma base rígida;

- b) Na bandeja metálica, com o auxílio da proveta graduada adicionou-se água gradativamente e revolvendo continuamente o material de forma a se obter uma umidade estima de 5% abaixo da umidade ótima presumida que foi de 20%;
- c) Após a homogeneização do material, procede-se a compactação para a energia normal de compactação: 5 camadas com 12 golpes por camada;
- d) Após a compactação da última camada, retirou-se o cilindro complementar e com o auxílio da régua biselada foi removido o excesso de solo para que corpo de prova ficasse na altura exata do molde;
- e) Pesou-se com resolução de 1 g, e por subtração do peso do molde do cilindro, obteve-se o peso do solo úmido compactado, p_h ;
- f) Retirou-se o corpo de prova do molde e do cetro do mesmo, uma amostra para a determinação da umidade, h ;
- g) Destorroou-se o material e adicionou-se água de forma a incrementar um teor de umidade de aproximadamente de 2%. Acrescentou-se para cada incremento 120 ml de água;
- h) Repetiu-se os procedimentos anteriores de modo a se obter 5 pontos, sendo dois no ramo seco, um próximo a umidade ótima e dois no ramo úmido.

5.3 Resultados e Discussões

5.3.1 Ensaios de caracterização do solo

5.3.1.1 Análise Granulométrica por Peneiramento

O ensaio de análise granulométrica por peneiramento foi realizado conforme os procedimentos descritos em 5.2.1.1. Para a determinação da amostra total seca multiplicou-se o material passante na peneira nº 10 úmida pelo fator de correção determinado pela equação:

$$f_c = \frac{100}{h+100} \quad (3)$$

Onde:

h = umidade higroscópica.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos no ensaio:

Tabela 3: Preparação para a análise granulométrica por peneiramento.

Amostra total seca	
Amostra total úmida	1500 g
Retida nº 10 seca	81,69 g
Passante nº 10 úmida	1418,31 g
Água	72,54 g
Passante nº 10 seco	1345,77 g
Umidade higroscópica, h	5,39 %
Fator de correção, f_c	0,95
Amostra total seca	1427,46 g

A partir dos resultados mostrados acima, fez-se o peneiramento conforme a NBR 7181/1984. A Tabela 4 ilustra os resultados obtidos:

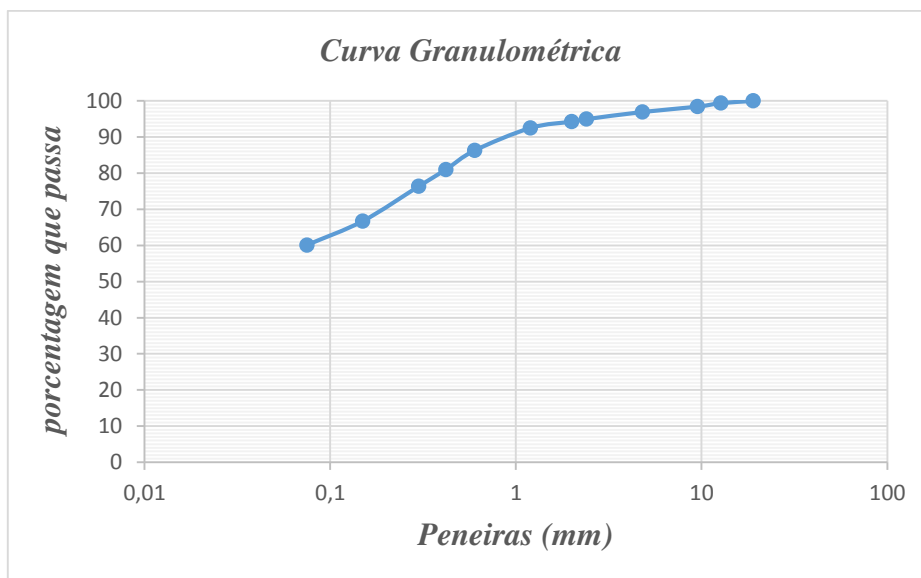
Tabela 4: Análise granulométrica por peneiramento

Peneira	Material retido			% passante
Mm	Peso (g)	% amostra total	% acumulada	% da amostra total
19,00	0	0	0	100
12,70	8,55	0,60	0,60	99,40
9,50	13,94	0,98	1,58	98,42
4,80	21,21	1,49	3,06	96,94
2,40	28,27	1,98	5,04	94,96
2,00	9,85	0,69	5,73	94,27
1,20	24,7	1,73	7,46	92,54
0,60	89,20	6,25	13,71	86,29
0,42	75,20	5,27	18,98	81,02
0,30	66,40	4,65	23,63	76,37
0,15	137,40	9,63	33,26	66,74
0,075	94,90	6,65	39,90	60,10

Conforme a NBR 7181/1988, o resultado final do ensaio de granulometria deve ser apresentado graficamente, dispondo em abcissas os diâmetros das partículas, em escala

logarítmica, e em ordenada as porcentagens das partículas menores do que os diâmetros considerados, em escala aritmética. O gráfico abaixo ilustra os resultados obtidos no ensaio:

Figura 10: Gráfico de granulometria por peneiramento.



Os resultados obtidos mostram que o solo estudado apresentou uma grande porcentagem de finos (silte+argila) 60,10 %; com uma expressiva porcentagem de areia, 34,17% e pequena porcentagem de pedregulho 5,73 %. A tabela 5 apresenta o resumo da granulometria segundo o DNIT:

Tabela 5: Resumo da granulometria

Resumo da granulometria	
Pedregulho – acima de 2,0 mm	5,73 %
Areia grossa – 2,0 a 0,42 mm	13,25%
Areia fina – 0,42 a 0,075 mm	20,93%
Silte +argila – menor que 0,075 mm	60,10 %

5.3.1.2 Limites de Consistência

Os limites de consistência foram determinados conforme os procedimentos preconizados pelas seguintes normas técnicas: **ABNT NBR 6459/1984**; Solo – Determinação do Limite de Liquidez e **ABNT NBR 7180/1984**; Solo – Determinação do Limite de Plasticidade.

- **Determinação do Limite de Liquidez**

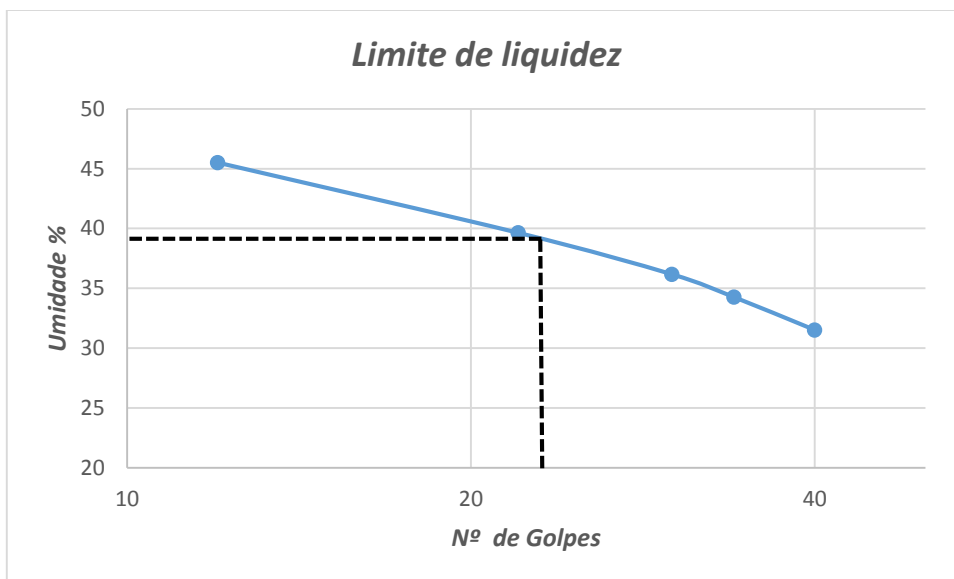
A Tabela 6 mostra os resultados obtidos no ensaio de limite de liquidez do solo ensaiado.

Tabela 6: Limite de liquidez do solo

Limite de Liquidez					
Cápsula nº	4	5	3	10	11
Amostra úmida+cápsula (g)	14,13	14,68	15,46	14,05	17,13
Amostra seca + cápsula (g)	12,63	12,94	13,50	12,35	14,25
Peso água (g)	1,50	1,74	1,96	1,70	2,88
Peso solo (g)	4,76	5,08	5,42	4,29	6,33
Peso cápsula (g)	7,87	7,86	8,08	8,06	7,92
Umidade (%)	31,51	34,25	36,16	39,63	45,50
Número de golpes	40	34	30	22	12

A partir dos resultados da Tabela 6 constrói-se um gráfico no qual se permita determinar o teor de umidade correspondente a 25 golpes. A Figura 10 mostra o gráfico dos resultados obtidos no ensaio:

Figura 11-Gráfico de Limite de liquidez do solo ensaiado.



De acordo com a NBR 6459/1984 o limite de liquidez do solo é o teor de umidade correspondente a 25 golpes. Pela análise do gráfico acima constata-se que o limite de liquidez do solo ensaiado é 39 %.

- **Determinação do Limite de Plasticidade**

O limite de plasticidade do solo foi determinado conforme a NBR 7180/1984, A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos:

Tabela 7 – Limite de plasticidade do solo.

Limite de plasticidade do solo					
Cápsula Nº	1	2	9	3	2*
Amostra úmida (g)	2,88	2,76	1,83	4,53	3,98
Amostra seca (g)	2,33	2,22	1,51	3,62	3,19
Água (g)	0,55	0,54	0,32	0,91	0,79
Umidade (h) %	23,61	24,32	21,19	25,14	24,76
Umidade média %	23,80				

De acordo com o especificado em 5.2.1.2, calcula-se a média dos valores de umidade e descarta-se os valores que diferir da média em mais ou menos 5 %. Substituindo os valores de umidade da tabela 7 nas equações 3 e 4 encontra-se como limites inferior e superior 24,99 % e 22,61% respectivamente. Logo, descarta-se os valores de 21,19 % e 25,14 %. A nova média será:

$$Média = \frac{23,61 + 24,32 + 24,76}{3} = 24,23\%$$

Fazendo-se a verificação, por meio das equações 3 e 4, de acordo com o procedimento acima constata-se que os valores são aceitáveis. Logo o limite de plasticidade do solo é 24%. A partir dos valores de índices de consistência obtidos torna-se possível obter um parâmetro bastante importante para a caracterização dos solos, o índice de plasticidade.

Conforme prescrito na NBR 7180/1984, o Índice Plasticidade do solo é obtido substituindo os valores dos limites de liquidez e plasticidade na equação 1, assim o índice de

plasticidade do solo é 15. (JENKINS, apud CAPUTO, 1988)), faz uma classificação do solo a partir do IP do solo. A Tabela 8 apresenta esta classificação:

Tabela 8: Classe do Solo Pelo IP.

Classe de solo		
Classe	Índice de plasticidade (%)	Termo
1	Menor que 1	Não plástico
2	1 a 7	Fracamente plástico
3	7 a 15	Mediamente plástico
4	Maior que 15	Altamente plástico

Fonte: Pinto (2006).

De acordo com a tabela 8 o solo analisado é classificado, de acordo com sua plasticidade, como mediamente plástico.

5.3.1.3 Classificação dos Solos

Conforme Pinto (2006), a classificação dos solos permite estimar o provável comportamento do solo ou orientar o programa de investigação necessário para permitir a adequada análise de um problema. A Tabela 9 apresenta os resultados de classificação do solo obtidos por meio dos sistemas de classificação da AASHTO e do SUCS.

Tabela 9: Classificação do solo

Amostra	Limites de consistência		Classificações	
	LL	IP	AASHTO	USCS
Única	39	15	A-6	CL- ML

Na classificação da AASHTO o solo analisado foi classificado como um solo A-6 – solo Argiloso. Já na classificação USCS o solo é classificado como CL-ML, solo argiloso com silte, de baixa compressibilidade. Segundo Murieta (1994) citado por Pessoa (2004), o solo analisado apresenta as seguintes propriedades quanto ao uso como material para aterro:

Tabela 10: Propriedades esperadas do grupo de solos do SUCS.

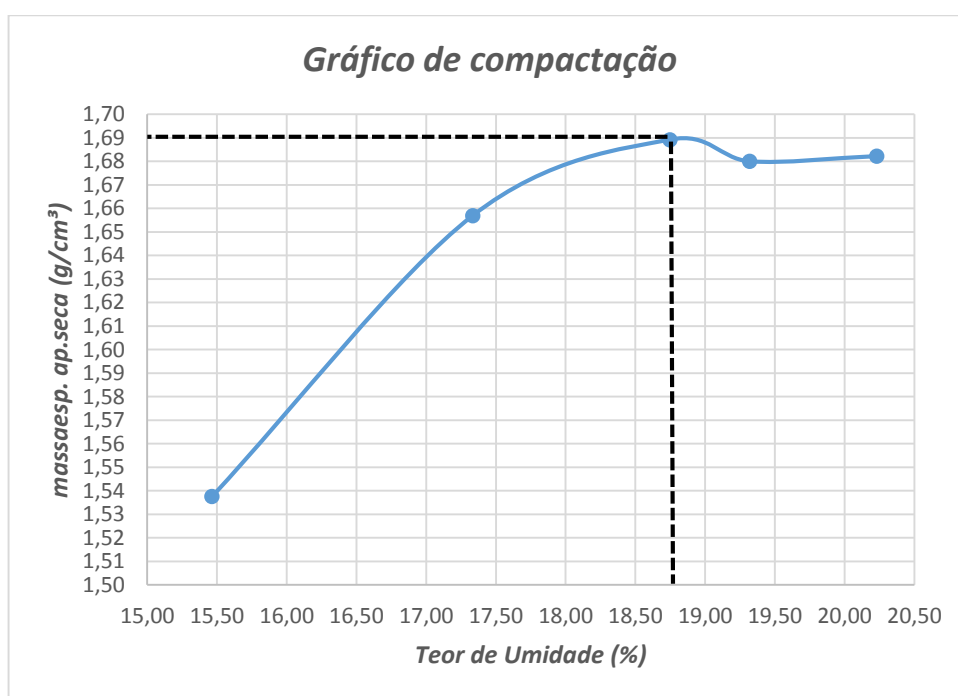
Grupo	Compactação	Compressibilidade e expansão	Qualidade como aterro
CL	Boa a regular	Média	Estabilidade boa
ML	Boa a ruim	Pequena a média	Estabilidade regular

Fonte: Pessoa (2004).

De acordo com a tabela 10 pode-se inferir que o solo analisado é um material que apresenta compactação boa a ruim, compressibilidade e expansão de pequena a média e sua qualidade como aterro apresenta boa a regular estabilidade.

5.3.2 Ensaio de compactação

O ensaio de compactação foi realizado com a energia normal, conforme a ABNT NBR 7182/1986. Os resultados obtidos mostram que, como era esperado para o tipo de solo analisado, uma curva de compactação com pico menos íngreme e umidade ótima relativamente alta. A Figura 12 mostra o gráfico de compactação que ilustra os resultados obtidos:

Figura 12- Gráfico de Compactação do solo.

Com base no gráfico presente na Figura 12, observa-se que o ponto 5 do ensaio de compactação apresentou uma ligeira discrepância em relação ao ponto 4, pois, como esperado, a densidade seca do ponto 5 deveria ser imediatamente menor a densidade do ponto 4. Isso mostra que no ponto 5 está sobre a curva de saturação, ou seja, o solo foi compactado com teor de umidade um pouco acima do teor ótimo de umidade. Esse teor de umidade deve ser evitado na compactação em campo pois como salienta (PINTO, 2006), a insistência da passagem de equipamento compactador quando o solo se encontra muito úmido faz com o que ocorra o fenômeno do solo “borrachudo” ou seja, o solo se comprime com a passagem do equipamento compactador, mas, logo em seguida se dilata, como se fosse uma borracha.

Pela análise do gráfico obteve-se os seguintes valores de densidade seca máxima e umidade Ótima: 1,69 g/cm³ e 18,75 % respectivamente.

5.3.2.1 Compactação em Campo

A compactação em campo foi avaliada por meio do ensaio de massa específica aparente *in situ* utilizando o frasco de areia. Os resultados dos ensaios são mostrados na Tabela 11:

Tabela 11: Massa específica aparente

Massa específica da areia	Volume do furo	Umidade do solo
1,31 g/cm ³	2359,80 cm ³	12%
Peso do solo úmido	Fator de conversão	Peso do solo seco
3728,92 g	0,89	3318,74 g
Massa específica seca <i>in situ</i>	Massa específica seca máxima	
1,41 g/cm ³	1,69 g/cm ³	

- **Massa Específica Seca**

Conforme apresenta a Tabela 11, a massa específica aparente seca apresentou um valor relativamente menor que o valor da massa específica seca máxima obtida em laboratório. Isto se deve a falhas no processo de compactação do aterro. Estas falhas podem estar relacionadas a:

- Número de insuficiente de passagens do equipamento compactador;
- Umidade abaixo da umidade ótima;

- Equipamento compactador inadequado ao tipo de solo e ao tipo de aterro.

O trecho analisado foi um aterro sobre declividade acentuada e, portanto, sujeito a um maior controle sobre o processo de compactação. Segundo Lozano (2016), para terrenos em declive devem ser tomados alguns cuidados no processo de compactação do aterro, tais como:

- a) Passagens do equipamento compactador de baixo para cima e nunca ao contrário;
- b) Realizar degraus no terreno natural para melhor aderência do aterro;
- c) Camadas compactadas de no máximo 30 cm.

- **Grau de Compactação**

Substituindo-se os resultados de massa específica seca *in situ* e massa específica seca máxima, apresentados na tabela 11, na equação 2 obtém-se o grau de compactação do solo que é de 83%.

Como se observa o grau de compactação ficou muito abaixo do esperado para este tipo de obra. Conforme visto na sessão 3.2, o grau de compactação mínimo exigido pela NBR 5681 é de 95%.

5.3.3 Análise dos Serviços e Metodologia Empregada nos Serviços de Terraplenagem do Loteamento

Para a análise dos serviços executados e as metodologias empregados na terraplenagem fez-se uma visita ao local para obter dados a respeito de:

- **Material de Empréstimo:**

A escolha da área de empréstimo deve levar em conta o fator técnico-econômico. Deve-se escolher jazidas com menor distância de transporte e melhor qualidade geotécnica do material.

Na terraplenagem da obra estudada foi realizada a compensação de volumes. O material utilizado nos aterros foi proveniente de cortes feitos dentro do próprio loteamento. De acordo com a tabela 10, pode-se inferir que este material apresenta compactação boa a ruim, compressibilidade e expansão de pequena a média e sua qualidade como aterro apresenta boa a regular estabilidade. Nota-se que esta escolha foi muito positiva, pois evitou-se a exploração de jazidas fora do loteamento e consequentemente diminuiu os gastos com transporte.

- **Máquinas e equipamentos utilizados na terraplenagem**

As máquinas e equipamentos utilizados foram compatíveis com o tipo de solo que compõe o terreno. No que se refere as máquinas utilizadas no aterro foi constatado o uso de máquinas adequadas para os serviços de espalhamento e compactação do solo. Foi utilizado na compactação dos aterros o rolo compactador pé de carneiro. De acordo com as características do solo analisado este tipo de equipamento é o mais indicado para a compactação. Também foi observado o uso do rolo compactador liso para fazer a selagem e acabamento do aterro. Em alguns pontos percebeu-se o uso do equipamento dozer, (trator de esteira dotado de lâmina utilizado para transporte e espalhamento do solo), como equipamento de compactação.

- **Possíveis falhas de compactação dos aterros.**

Para identifica possíveis falhas na execução dos aterros fez-se uma observação visual dos pontos mais críticos a fim de identificar problemas de compactação. Um dos pontos que apresentou defeitos visíveis foi um lote onde percebeu-se que não foi utilizado os equipamentos de compactação adequados. Foi constatado um processo erosivo relevante que pode gerar problemas para todo o aterro compactado. Além disso, o ensaio de densidade feito no local apresentou um valor muito baixo. A Figura 13 mostra o processo erosivo no aterro.

Figura 13 – Processo erosivo no aterro.



5.4 Importância do Controle tecnológico

A falta de controle tecnológico nas obras de terraplenagem ocorre com frequência e é um fator determinante para a ocorrência de problemas, principalmente em aterros. O que se observa em muitas dessas obras é que os serviços são executados sem nenhum controle, principalmente em obras onde não há fiscalização.

A falta de controle da terraplenagem pode causar danos sérios como recalques em fundações, deslizamentos de taludes, vazamentos, erosões etc. Na obra analisada constatou-se alguns problemas devido a falhas no serviço de compactação do aterro. Foi identificado em um dos lotes um processo erosivo. Isto ocorreu porque o aterro foi mal compactado deixando-o pouco resistente a ação da água. Este defeito pode ter ocorrido pela baixa energia de compactação empregada ou pela compactação com umidade inadequada. Isso mostra a necessidade de se realizar o controle tecnológico nas obras de terraplenagem.

6 CONCLUSÃO

A NBR 5681/1980 especifica as condições gerais em que há a obrigatoriedade da execução do controle tecnológico na execução de aterros de terraplenagem de empreendimentos residenciais. Entretanto, independente das características do aterro a execução de controle tecnológico é fundamental. Deve-se atentar, ao menos, para o controle sobre os materiais utilizados, o teor de umidade de compactação dos aterros e o grau de compactação mínimo exigido. Foi constatado a realização dos serviços de preparação do terreno para receber o aterro e o uso de solos argilosiltosos de baixa compressibilidade nos aterros. Este tipo de solo apresenta características aceitáveis para sua utilização em aterros: compactação de boa a ruim e estabilidade de boa a regular.

O empreendimento analisado se enquadra nestes casos elencados pela norma, pois apresenta aterros com alturas superiores a 1 m e aterros com responsabilidade de suporte de fundações. Porém, constatou-se que não foi executado o controle tecnológico na execução da obra de terraplenagem. Isto pode ter contribuído para o baixo grau de compactação obtido e do surgimento de processo erosivo no aterro. Esses problemas podem ter ocorrido devido ao número de passadas inferiores ao necessário para garantir uma boa compactação do solo e também pela compactação com teor de umidade inferior ao teor ótimo, que para o solo analisado foi de 18 %.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5681: Controle Tecnológico da Execução de Aterros em Obras de Edificações.** Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182: Solo – Ensaio de Compactação.** Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181: Solo – Análise Granulométrica.** Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457: Solo – Preparação de Amostras.** Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade.** Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459: Solo – Limite de Liquidez.** Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457: Amostras de solo – Preparação para Ensaio de Compactação e de Caracterização.** Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7185: Solo – Determinação da Massa Específica “in situ” pelo Método do Frasco de Areia.** Rio de Janeiro, 1986.

ABRAM, Isaac. ROCHA, Aroldo. **Manual Prático de Terraplenagem**, 1ª ed., Salvador – BA, 2000.

BARROS, Eduardo Hélio Costa. SOUSA, João Sabóia de. AGUIAR, Marco Fábio Porto de. **Análise Experimental da Influência da Energia de Compactação nas Características Mecânicas do Solo.** XVII COBRAMSEG 2014, 9 a 13 de setembro de 2014 – Goiana/Go – Brasil.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações, fundamentos**. 6ª ed. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 1988.

DAS, M. Braja. **Fundamentos da Engenharia Geotécnica**. Cengage Learning, 7. Ed. São Paulo, 2013.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGENS. **DNER – ME 052/94: Solos e Agregados – Determinação da Umidade com o Aparelho “Speedy”**. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT – ES 108/2009: Terraplenagem Aterros – Especificação de Serviço**. Rio de Janeiro, 2009.

Filho, A. G. C. **Compactação de Solos com Energias, Aproximadamente, Iguais e Diferentes Procedimentos**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, SP, 1995.

Hogentogler, C. A. **Engineering properties of soil**. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York, 1937.

LOZANO, Mauro. **Executando aterros sem patologia**. Fórum da Construção, 2016. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br>>. Acesso em: 20 mar. 2016.

MURRIETA, P. **Apostila de Mecânica dos Solos – 1ª parte**. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, FT, UnB, Brasília, DF, 1994.

NICHOLS, Herbert. DAVID, Day, **Moving the Earth: The Workbook of Excavation**, 6th. ed. MCGraw- Hill Professional, 2010.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. Oficina de Textos. São Paulo, 2006.

PESSOA, Francisco Hélio Caitano. **Análises dos Solos de Urucu para Fins de Uso Rodoviário.** Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília – Faculdade de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Brasília, 2004.

RIGO, M.L. **Resistência ao Cisalhamento Residual de Alguns Solos Saprolíticos de Basalto do Estado do Rio Grande do Sul.** Dissertação de Mestrado, PPGEC/UFRGS, Porto Alegre, 2000, 134p.

SILVEIRA, Rodrigo Moraes da. **Propriedades Geotécnicas de Solos Coluvionares do Gasoduto Brasil-Bolívia em Timbé do Sul (SC).** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Porto Alegre, 2003.

SOUZA, Felipe Bicho de. **Importância do Controle Tecnológico em Obras de Terraplenagem Estudo de Caso da Via Expressa Trasolímpica,** Projeto de Graduação apresentado a Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2014.

VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos Solos.** Mcgraw Hill do Brasil, São Paulo, SP, 1978, 509 p.

