



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

CONTROLE TECNOLÓGICO APLICADO A OBRAS DE TERRAPLENAGEM ESTUDO DE CASO DA VIA EXPRESSA TRANSOLÍMPICA

Felipe Bicho Rezende de Souza

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Jorge dos Santos

RIO DE JANEIRO – RJ - BRASIL

Março de 2014

CONTROLE TECNOLÓGICO APLICADO A OBRAS DE TERRAPLENAGEM

Felipe Bicho Rezende de Souza

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL.

Examinado por:

Jorge dos Santos
Prof. Adjunto, D.Sc., EP/UFRJ
(Orientador)

Ana Catarina Jorge Evangelista
Prof. Associada, D.Sc., EP/UFRJ

Wilson Wanderlei
Prof. Convidado, EP/UFRJ

RIO DE JANEIRO – RJ - BRASIL

Março de 2014

Souza, Felipe Bicho Rezende de

CONTROLE TECNOLÓGICO APLICADO A OBRAS DE
TERRAPLENAGEM/ Felipe Bicho Rezende de Souza. –
Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2014.

Orientador: Jorge dos Santos

Projeto de Graduação – UFRJ/POLI/ Engenharia Civil, 2014.

Dedico este trabalho aos meus pais, Antônio Carlos e Glória e minha avó, Maria Adelete .

Resumo do projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/UFRJ
como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Civil.

CONTROLE TECNOLÓGICO APLICADO A OBRAS DE TERRAPLENAGEM

Felipe Bicho Rezende de Souza

Março de 2014

Orientador: Jorge dos Santos

Curso: Engenharia Civil

RESUMO

É fato que a construção civil exerceu e exerce um fundamental papel na concepção do modelo de sociedade como a conhecemos. Há que se pensar que desde a exploração do espaço geográfico, nossa fixação segura no mesmo, a interação e troca de recursos materiais e intelectuais, além de outros aspectos do desenvolvimento humano, só foram possíveis através da evolução da mesma. Das caminhadas e carroças aos trens-bala. E assim nos deparamos com a ideia de que a construção civil seria uma das bases do desenvolvimento humano. E dentro dela, como seu fulcro e ponto de partida, estariam as obras de terraplenagem.

Assim, o entendimento de sua importância exige que a conheçamos de forma cada vez mais profunda, para que a executemos sempre em busca da excelência. E excelência é domínio, principalmente na área do conhecimento. E domínio é controle. Por esta percepção, este trabalho trata o aspecto fundamental do Controle Tecnológico em Obras de Terraplenagem, abordando testes, ensaios, boas práticas operacionais e outros procedimentos, que permitem que a executemos de forma segura e econômica, dentro de padrões de qualidade cada vez mais exigentes.

Abstract of final Graduation Project presented to Escola Politécnica/UFRJ in order to fulfill the requirements Civil Engineering college graduation.

TECHNOLOGICAL CONTROL APPLIED TO EARTHWORK

Felipe Bicho Rezende de Souza

March, 2014

ABSTRACT

It is a fact that civil construction has exercised and plays a key role in designing the model of society as we know it. One has to think that since the exploitation of geographical space, our safe settlement at places, the interaction and exchange of material and intellectual resources, among other aspects of human development, were only possible through its evolution. From walks and ox carts to bullet trains. And so we come across the idea that civil construction would be one of the bases of human development. And within it, as its fulcrum and starting point would be the Earthwork . Thus, the understanding of its importance demands to know it ever more deeply, so that we have it executed always in search of excellence. And excellence is mastering, particularly in the area of knowledge. And mastering is control. For this insight, this paper evaluates the fundamental aspect of Technological Control in Earthwork , addressing evaluations and tests, operational practices and procedures, which allow us to perform it safely and economically, within standards of increasingly demanding quality.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Importância do Tema	1
1.2. Objetivo	2
1.3. Justificativa	2
1.4. Metodologia.....	2
1.5. Estrutura do trabalho.....	3
2. OBRAS DE TERRAPLENAGEM – CONTEXTUALIZAÇÃO	5
2.1. Etapas Preliminares.....	5
2.2. Escavação.....	6
2.2.1. 1ª Categoria	6
2.2.2. 2ª Categoria	6
2.2.3. 3ª Categoria	7
2.3. Carregamento.....	7
2.4. Empréstimo:.....	7
2.5. Espalhamento:.....	7
2.6. Transporte do Excesso de Terra:.....	7
3. CONTROLE TECNOLÓGICO - CONTEXTUALIZAÇÃO	9
3.1. Definição.....	9
3.2. Controle Tecnológico nas empresas construtoras.....	10
4. IMPORTÂNCIA DO CONTROLE TECNOLÓGICO EM OBRAS DE TERRAPLENAGEM	12
4.1. Aspectos Gerais	12
4.2. Ensaios de avaliação do solo realizados em laboratório.....	13
4.2.1. Ensaio de Compactação (Proctor)	14
4.2.1.1. Realização do ensaio:	15
4.2.1.2. Resultados:	16
4.2.2. Ensaio de expansibilidade	17
4.2.3. Ensaio CBR – Californian Bearing Ratio.....	17
4.2.3.1. Realização do ensaio:	18
4.2.4. Ensaio de Granulometria:	18
4.2.5. Ensaio de Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP).	21
4.3. Ensaios de campo.....	22

4.3.1.	Ensaio de determinação da umidade	22
4.3.2.	Ensaio de massa específica com emprego do frasco de areia.....	25
4.3.2.1.	Trabalho prévio feito no laboratório:.....	26
4.3.2.2.	Determinação da massa específica aparente do solo no campo:.....	28
4.4.	Boas práticas de controle tecnológico na execução da terraplenagem	29
4.5.	Vantagens e principais resultados	32
5.	ESTUDO DE CASO – TRANSOLÍMPICA	34
5.1.	Descrição do empreendimento.....	34
5.2.	Características das obras	35
5.3.	Estabelecimento de parâmetros de aprovação	36
5.3.1.1.	Aterro	37
5.3.1.2.	Muros em aterro reforçado com fitas metálicas.	38
5.3.2.	Funcionamento do Controle Tecnológico	40
5.3.2.1.	Práticas do controle tecnológico na terraplenagem	41
5.3.2.2.	Laboratório na obra.....	42
6.	Conclusão	46
7.	REFERÊNCIAS	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico de peso específico aparente (kN/m ³) x Umidade(%)	16
Figura 2 - Curva Granulométrica	20
Figura 3 - Aparelhos para ensaio Speedy	23
Figura 4 - Encontro de aterro com maciço	30
Figura 5 - Faixas de compactação	31
Figura 6 - Traçado da Transolímpica	Erro! Indicador não definido.
Figura 7 – Obras de terraplenagem na praça de pedágio e contenção em cortina atirantada ao fundo	35
Figura 8 - Futuro encontro entre viaduto e aterro com fitas metálicas em Sulacap, RJ.	36
Figura 9 - Elevação de muro com escamas pré-moldadas de concreto e aterro reforçado com fitas metálicas	39
Figura 10 - Laboratorista realiza o ensaio do frasco de areia.	42
Figura 11 - Placa de entrada do laboratório	43
Figura 12 - Quadro de gestão à vista	43
Figura 13 - Peneiras para ensaio de granulometria	44
Figura 14 - Aparelho de Casagrande para determinação do Limite de Liquidez	44
Figura 15 - Aparelho usado no ensaio CBR	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Energias de compactação Proctor	15
Tabela 3 - Umidade estimada x peso da amostra	24

1. INTRODUÇÃO

1.1. Importância do Tema

A etapa construtiva de terraplenagem (ou movimento de terras) é uma atividade de fundamental importância na construção de obras de engenharia por representar o preparo do terreno para que possa ser materializado o projeto de um empreendimento, seja uma edificação, uma obra de arte especial, uma obra rodoviária, etc. Seu estudo se faz ainda mais relevante em um país de dimensões continentais como o Brasil, onde há grande necessidade de ampliação da infraestrutura de transportes (rodovias, ferrovias e aeroportos), diversas e remotas áreas para exploração de atividades de mineração e com um amplo potencial hidroenergético e agroindustrial, onde se faz necessária uma verdadeira adequação geográfica, o que nos torna um dos líderes mundiais neste setor. Por isso, é indispensável o profundo conhecimento e aplicação das metodologias e do controle na execução dos serviços de terraplenagem, a fim de garantir a segurança e a viabilidade técnico-econômica dos projetos.

As atividades de movimentação de terra são exigidas praticamente em qualquer obra de construção, independente do seu porte. Porém, neste trabalho, o foco estará voltado ao controle tecnológico de terraplenagem para implantação de rodovias, incluindo um estudo de caso de uma via expressa que começou a ser construída na cidade do Rio de Janeiro, em 2012.

Quando se cruza o Brasil de norte a sul e de leste a oeste, podem ser observadas vias de circulação de veículos leves ou pesados de rodagem. Há trechos que as condições de conservação são tão precárias que há sinalização das entidades oficiais de gestão alertando para as condições ruins e para os riscos da via.

Essa situação ruim ocorre por falta de conservação adequada, mas também por falhas na execução do aterro que servirá de base no local em que será assentada a obra, o que poderia ser evitado na etapa de terraplenagem, com mão de obra qualificada e equipamentos adequados. Portanto, há uma série de premissas, ensaios e verificações feitos em campo que comprovam a correta execução de um aterro, gerando economia e segurança.

Neste trabalho a intenção é abordar o uso de Tecnologias ou Controles Tecnológicos voltados de forma mais específica às Obras de Terraplenagem.

1.2. Objetivo

Este trabalho tem como objetivo apresentar o controle tecnológico aplicado a obras de terraplenagem, pontuando boas práticas, ensaios realizados no solo, a forma como é implantado e as suas vantagens no desempenho da obra.

1.3. Justificativa

Sabendo do grande potencial do setor no território brasileiro, e também observando o que é visto sendo executado atualmente, percebe-se a necessidade de se colocar em prática os métodos que correspondem à uma execução de qualidade, com segurança e economia. Para tal, o trabalho visa destacar como funciona o controle tecnológico para terraplenagem e apresentar boas práticas do mesmo, que irão ajudar a identificar e tratar possíveis desvios nos procedimentos mais adequados nas etapas de terraplenagem.

1.4. Metodologia

No intuito de se buscar um melhor embasamento para o desenvolvimento do tema proposto adotou-se a seguinte metodologia:

- a) Pesquisa a diversas referências bibliográficas com ênfase aos meios acadêmicos de graduação, mestrado e doutorado e artigos e trabalhos apresentados em congressos e eventos afins com temas relacionados ao proposto neste trabalho;
- b) Entrevista com profissionais de larga experiência e responsáveis por algumas disciplinas inerentes ao setor de terraplenagem. Foram ouvidos o engenheiro responsável pelo setor de terraplenagem do Consórcio Construtor Transrio Eng. Henrique Furlanetto Mendes , o responsável pelo controle tecnológico do Consórcio Construtor Transrio Eng. Ariel Ayacura, o Ge Eng. e ex-professor da Universidade de Produção da Construtora Norberto Odebrecht Geraldo Caracini Filho, a gerente de QSMS da Construtora Andrade Gutierrez Rosa Carla Ribeiro e o ex – professor da Mackenzie Mauro Lozano, hoje dono de uma empresa na área de engenharia geotécnica.

1.5. Estrutura do trabalho

O trabalho foi dividido em seis capítulos, relatados a partir desta introdução que abordam o tema Controle tecnológico em obras de terraplenagem.

No capítulo 2, é descrito o que são obras de terraplenagem e as etapas executivas que fazem parte das mesmas, tais como: escavação, carregamento, empréstimo, espalhamento e transporte de excesso de terra.

No capítulo 3, o intuito é entender o que significa controle tecnológico, seus objetivos, como são inseridos nas construtoras, a dificuldade existente na sua implantação e a questão da terceirização desse tipo de serviço.

O capítulo 4 aborda a importância do controle tecnológico em obras de terraplenagem, apresentando os procedimentos mais comuns; ensaios em laboratório dos solos que

farão parte do aterro, ensaios de campo para conferência e também diversas outras boas práticas no controle da execução desse aterro, as quais nem sempre são colocadas em prática. O capítulo ainda discute a importância do estabelecimento de padrões e procedimentos e os resultados que o controle tecnológico pode trazer à obra.

O capítulo 5 traz um estudo de caso realizado na obra da Transolímpica, uma via expressa de 23km que cortará a cidade do Rio de Janeiro de Norte a Sul, descrevendo as características das obras, a grande quantidade de serviços de terraplenagem e o funcionamento do controle tecnológico nesse quesito.

Por fim, no capítulo 6, conclusão, apresenta-se o que pôde ser extraído do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

2. OBRAS DE TERRAPLENAGEM – CONTEXTUALIZAÇÃO

Partindo de uma definição difundida (NICHOLS, 2010), a terraplenagem ou movimento de terras pode ser entendida 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.

Assim, a construção de uma estrada de rodagem, de uma ferrovia ou de um aeroporto, a edificação de uma fábrica ou de uma usina hidrelétrica, ou mesmo de um conjunto residencial, exigem a execução de serviços de terraplenagem prévios, regularizando o terreno natural, em obediência ao projeto que se deseja implantar.

Pode-se afirmar, portanto, que independente do porte da obra de Engenharia Civil, a realização de trabalhos prévios de movimentação de terras se faz necessário. Por esta razão a terraplenagem teve o enorme desenvolvimento verificado no último século. (NICHOLS, 2010)

2.1. Etapas Preliminares

A preparação do terreno é composta por algumas etapas genéricas que, obviamente, podem ser desnecessárias conforme as características específicas do terreno encontrado. Estas etapas são as seguintes (ABRAM, 2000):

- a) Desmatamento (retirada da vegetação de grande porte) - pode ser feita com motosserra ou, eventualmente, com processos mecânicos, no caso de existência de poucas árvores (como dozer, pá carregadora, etc.).
- b) Destocamento – retirada de tocos e raízes.
- c) Limpeza - retirada da vegetação rasteira.

- d) Remoção de camada vegetal - a camada de solo que pode ser considerada um banco genético, deve ser retirada particularmente pois não pode ser utilizada em aterros, ou seja, possuem baixa resistência, alta compressibilidade e permeabilidade.

2.2. Escavação

Escavação é um processo empregado para romper a compactação do solo em seu estado natural, por meio do emprego de ferramentas cortantes, como a faca da lâmina ou os dentes da caçamba de uma carregadeira, desagregando-o e tornando possível o seu manuseio. A escavação será precedida da execução dos serviços de desmatamento, destocamento e limpeza da área do empréstimo.

O material procedente da escavação do terreno natural, geralmente, é constituído por solo, alteração de rocha, rocha ou associação destes tipos. São cortes de material para atingir o nível topográfico da obra. Pode ser classificado em três categorias: 1ª, 2ª e 3ª categoria, seguindo orientação da norma DNIT-2009 -ES - Terraplenagem – Cortes Especificação de Serviços.

2.2.1. 1ª Categoria

São compostos por solos em geral e seixos de até Ø15cm, praticamente há a ausência de fragmentos de rocha, corresponde ao 1º horizonte de terra. São fáceis de ser desagregados, utilizam-se basicamente trator de esteiras ou escavadeiras e a produtividade é alta.

2.2.2. 2ª Categoria

São compostos por materiais resistentes ao desmonte mecânico, ou seja, fragmentos de

rocha de até 25 centímetros diâmetro, além de escavadeiras utilizam-se tratores com lâminas e com escarificadores. Devido a resistência a produtividade é menor e seu custo de execução é maior.

2.2.3. 3ª Categoria

São compostos por rochas sãs ou matacões (blocos de rocha com diâmetro maior que 25 centímetros). O desmonte é feito por perfuratrizes e explosivos. Sua produtividade é extremamente baixa e custo elevado.

2.3. Carregamento

A carga consiste no enchimento da caçamba, ou no acúmulo diante da lâmina, do material que já sofreu seu processo de desagregação, ou seja, que já foi escavado.

2.4. Empréstimo:

É a escavação de material em local definido (jazida) para complementação de material necessário para a execução do aterro.

2.5. Espalhamento:

Essa operação consiste em espalhar o material trazido normalmente por caminhões basculantes e que se encontra em “montes” pela área de aterro, uniformizando a camada que posteriormente será compactada. Essa operação é feita normalmente por tratores e/ou motoniveladoras.

2.6. Transporte do Excesso de Terra:

O excesso de terra proveniente do corte deverá ser transportado para outras áreas: se o material for de boa qualidade e reaproveitável, pode ocorrer o chamado “Bota Dentro”, que consiste em reaproveitá-lo imediatamente em algum local da obra como material de

aterro; o “Bota Espera” que significa estocar o material temporariamente para que seja reaproveitado futuramente em alguma etapa de terraplenagem, ou, caso o excesso retirado não possa ser utilizado (solos moles, camada de remoção vegetal), utilizar-se-á o “Bota Fora”, que é o transporte desse material para algum local de despejo autorizado fora da obra.

3. CONTROLE TECNOLÓGICO - CONTEXTUALIZAÇÃO

3.1. Definição

Controle Tecnológico pode ser definido como a utilização de qualquer aspecto do conhecimento humano, quer seja na forma de métodos e procedimentos ou ainda ferramentas, dispositivos ou equipamentos, de forma a viabilizar a execução e/ou otimizar os resultados de uma determinada atividade.

Assim sendo deve objetivar atingir os critérios de um projeto ou planejamento, de forma segura, dentro dos padrões de qualidade almejados e de forma economicamente justificável.

O uso de controle tecnológico em obras de terraplenagem deve estar presente desde o planejamento das atividades e alocação dos recursos, até a verificação e confirmação dos resultados obtidos, passando pelo levantamento de dados e acompanhamento das atividades e a confirmação e/ou correção dos procedimentos, rumos, objetivos e distribuição de recursos.

Dentro deste conceito é possível imaginar diferentes níveis de sofisticação dos controles tecnológicos, que podem ir desde a avaliação visual e tátil, até ensaios destrutivos e não-destrutivos, ou utilização de controle de posicionamento e movimentação dos equipamento, através da utilização de tecnologia de localização através de satélites, tipo GPS.

Pode-se entender então que em qualquer segmento e, obviamente, aplicável a Obras de Terraplenagem, podemos ter Controles Tecnológicos de uso geral e aqueles mais especificamente desenvolvidos para um determinado tipo de atividade.

Exemplos de Controles Tecnológicos de uso geral:

- a) Planilhas de produtividade de recursos (mão de obra, equipamentos, etc.)
- b) Sistemas de Comunicação (rádios, celulares)

Exemplos de Controles Tecnológicos mais especificamente voltados a Obras de Terraplenagem:

- a) Ensaio de tipo de solo/material
- b) Ensaio de nível de compactação de solo
- c) Levantamentos topográficos

Neste trabalho a intenção é abordar o uso de Tecnologias ou Controles Tecnológicos voltados de forma mais específica às Obras de Terraplenagem.

3.2. Controle Tecnológico nas empresas construtoras

A preocupação pela qualidade é uma característica das sociedades avançadas; isto se dá devido à superação das etapas de subdesenvolvimento, onde predomina a preocupação pela quantidade. Assim, na atualidade, a qualidade passa a ser tratada como marketing empresarial, recebendo grande atenção de todos os segmentos industriais. Porém, no que diz respeito à construção civil, é opinião unânime, em todos os países, que sua qualidade poderia ser enormemente melhorada, uma vez que seu padrão de desempenho é considerado baixo, para uma indústria de tanta importância no cenário mundial. Isto se deve quase que exclusivamente ao controle de qualidade atualmente realizado, que apresenta um nível insatisfatório.

Hoje, se observa que o controle de qualidade na construção civil está resumido à vigilância da obra (engenheiro responsável ou mestre de obra) e a realização de alguns ensaios tecnológicos, que na maioria das vezes é realizado pelo fornecedor de algum insumo, e não, efetivamente, pelos responsáveis da obra. (APARECIDO, 2003) observa

que tal simplicidade apresenta um abismo com o conceito de controle de qualidade que se utiliza em outras indústrias, pois nestas o controle abrange todas as atividades do processo (desde a concepção de um projeto, produção, comercialização e assistência técnica) e utiliza técnicas estatísticas mais ou menos sofisticadas, porém de fácil aplicação.

A construção civil possui características peculiares, uma vez que apresenta certa complexidade no processo de produção, onde muitos fatores externos intervêm no seu ciclo produtivo, por exemplo: apresenta caráter nômade, cria produtos únicos, tem produção centralizada (operários móveis em torno de um produto fixo), indústria tradicional, inerte às alterações, utiliza mão-de-obra pouco qualificada, entre outros. Dessa forma, necessita de uma adaptação específica das teorias modernas de controle da qualidade para sua aplicabilidade.

Sabbatini (2002) coloca que a obtenção do desempenho e da segurança estrutural prevista em projeto na construção é garantida, essencialmente, pela execução de ações de controle durante toda a etapa de construção. O conjunto de todas estas ações é denominado genericamente controle tecnológico da construção.

Portanto, o que vemos hoje é que as empresas construtoras buscam métodos e elaboram documentos a fim de controlar suas atividades para que haja qualidade, segurança, economia e satisfação dos clientes. Nada extraordinário, o básico. Ainda assim, na prática, esse controle é deficiente por diversos motivos: pouca verba destinada ao setor, falta de mão de obra qualificada, pouca fiscalização do cliente, etc.

4. IMPORTÂNCIA DO CONTROLE TECNOLÓGICO EM OBRAS DE TERRAPLENAGEM

4.1. Aspectos Gerais

(LOZANO, 2012) afirma que há muitos casos de aterros sendo feitos de forma inadequada, sob as mais variadas justificativas. Porém, sem tecnologia correta, cria-se um mito que não condiz com a verdade. Seja qual for o volume de aterro, qual seja o 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.

Sem a devida aplicação dos conhecimentos geotécnicos na execução destes aterros, muitos problemas poderão ocorrer, em pequenas e grandes obras de engenharia, como exemplificados a seguir (LOZANO, 2012):

- a) Recalques e afundamentos de piso, ruas, vias e fundações;
- b) Vazamentos de redes hidráulicas e sanitárias;
- c) Deslizamentos de taludes, contenções e 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 barragem por perda de água.

Ao projetar um aterro deve-se conhecer as propriedades de engenharia dos solos a serem utilizados e que virão do empréstimo. Têm-se as propriedades de resistência, compressibilidade, e permeabilidades, que serão determinadas através de ensaios de laboratório realizados em amostras de solos extraídas das áreas de empréstimo.

Geralmente têm-se várias possibilidades de áreas de empréstimo e, cada uma destas, têm diversas camadas de solo com diferentes características e em profundidades distintas. Isto requer um estudo de alternativas, procurando identificar entre elas a melhor alternativa técnica e econômica de empréstimo.

Há algumas técnicas recomendáveis que podem ser vistas como parte integrante de um controle tecnológico para evitar problemas futuros na obra de aterro. Este procedimento deve ser revestido de bom senso, evidentemente, pois, sempre se tem que observar o custo e o benefício envolvido naquela obra.

É preciso projetar a execução do aterro com conhecimento prévio dos solos existentes, mais próximos ao local da obra e nas áreas de menor custo de escavação. Ele deve ser projetado para os solos de menor custo, existentes próximos à obra. Contrariando, a prática que se vem observando, é que se desenvolve um projeto e depois disto é que se parte para procurar um empréstimo.

Os solos para execução dos aterros são provenientes de escavações e através dos ensaios de laboratório, se determinam as propriedades de resistência, compressibilidade e ou permeabilidade, se e quando necessárias para as diferentes obras. Com estes parâmetros tornam-se possíveis os cálculos de engenharia geotécnica, que então proporcionarão o dimensionamento dos taludes, aterros e camadas “impermeáveis”, entre outras, que trarão a devida segurança às obras já citadas.

4.2. Ensaios de avaliação do solo realizados em laboratório.

Os ensaios mais difundidos para avaliação de um solo a ser empregado em um aterro são 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 consequente índice de

plasticidade (IP). Atualmente usam-se os mesmos corpos de prova para realização dos ensaios de Proctor, CBR e expansibilidade, e os resultados são apresentados em um relatório, de acordo com a recomendação da Norma DNIT 164/2013-ME – Compactação utilizando amostras não trabalhadas.

Estes ensaios visam caracterizar o solo avaliado quanto à resistência mecânica, compressibilidade e permeabilidade. Estes são os fatores mais importantes na hora de se avaliar um material a ser utilizado na execução de um aterro (TRENTER, 2001).

O efeito da compactação no solo feito por alguma forma de energia (impacto, vibração, compressão estática ou dinâmica), é o aumento do seu peso específico e resistência ao cisalhamento, e uma diminuição do índice de vazios, permeabilidade e compressibilidade (MANTELLI, 2012). O ensaio de compactação visa obter a correlação entre o teor de umidade e o peso específico seco de um solo quando compactado com determinada energia.

4.2.1. Ensaio de Compactação (Proctor)

Divulgado em 1933 pelo engenheiro Ralph R. Proctor, o método para controle de compactação revela um dos mais importantes princípios da mecânica dos solos: “A densidade com que um solo é compactado sob uma determinada energia de compactação depende da umidade do solo no momento da compactação.”

O ensaio determina a relação entre o teor de umidade do solo e sua massa específica aparente seca, quando a fração de solo que passa pela peneira de 19 mm é compactada.

Há três tipos de ensaio Proctor: Normal, Intermediário e Modificado, e a diferença entre eles está basicamente na variação de energia utilizada na compactação devido ao maior número de golpes com o soquete.

Tabela 1 - Energias de compactação Proctor (NBR 7182:1986)

TABELA – Energias de compactação

Cilindro	Características inerentes a cada 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 do disco espaçador (mm)	63,5	63,5	63,5

4.2.1.1. Realização do ensaio:

- a) Fixa-se o molde à base metálica, ajusta-se o cilindro complementar e apóia o conjunto em base plana e firme (não esquecer de pesar o conjunto). Compacta-se no molde o material com o disco espaçador (caso do molde grande), com fundo falso, em camadas iguais, cada camada receberá golpes caindo de certas alturas distribuídos uniformemente sobre a superfície das camadas. O número de golpes, dependerá do tipo de Ensaio Proctor a realizar; Caso necessário utiliza-se o papel filtro para evitar a aderência entre o material e a superfície metálica (ou disco espaçador).
- b) A compactação de cada camada deve ser presumida de uma ligeira escarificação da camada subjacente com espátula.
- c) Após a compactação da última camada, remove-se o cilindro complementar, tendo-se antes o cuidado de destacar com a espátula o material aderido. Com uma régua de aço biselada arrasa-se o material na altura exata do molde

4.2.1.2. Resultados:

- Curva de compactação: traça-se a curva de compactação marcando-se nas ordenadas as massas específicas aparentes do solo seco e nas abscissas, os teores de umidade correspondentes;
- Massa específica aparente máxima do solo seco: este valor é determinado pela ordenada máxima da curva de compactação;
- Umidade ótima: é o valor da abscissa correspondente, na curva de compactação, ao ponto de massa específica aparente máxima do solo seco;

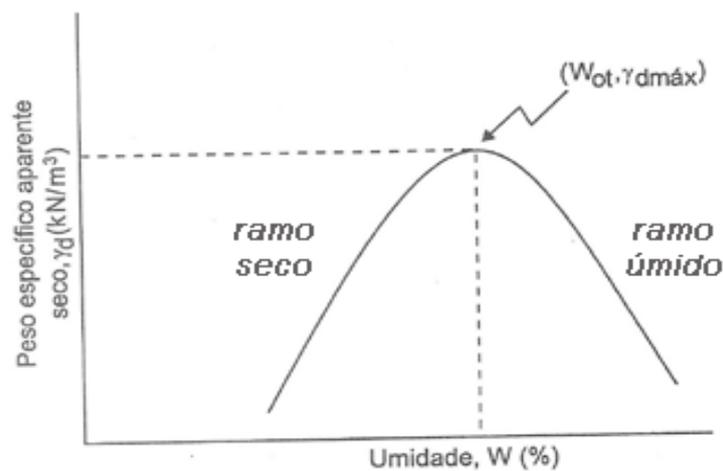


Figura 1 - Gráfico de peso específico aparente (kN/m^3) x Umidade(%) (MATTOS, 2001)

Posteriormente, com o solo aprovado para uso no aterro da obra, verifica-se o Grau de Compactação (GC) em campo pela expressão:

$$GC(\%) = \frac{\gamma_{\text{campo}}}{\gamma_{d\text{max}}} \times 100$$

Onde γ_{campo} é a massa específica seca obtida "in situ", e $\gamma_{d\text{max}}$ é a massa específica seca máxima obtida em laboratório, no ensaio de Proctor, para a energia especificada.

Os métodos para apuração da densidade em campo serão apresentados no item 4.2.

4.2.2. Ensaio de expansibilidade

Utilizando a definição da Norma DNIT 160/2012 – ME – Determinação de expansibilidade, “Ensaio de expansibilidade de solo é o ensaio por meio do qual se determina o aumento do volume que certos solos apresentam, quando em contato com a água ou quando reduzida a pressão sobre eles.”. Após realização do Ensaio de Proctor, o corpo de prova é imerso com seu molde por quatro dias, para medição da expansão. Depois, realizam-se leituras periódicas do extensômetro até que duas leituras com o intervalo de 2h dêem o mesmo valor ou valores decrescentes. A expansibilidade é dada, em percentagem, pela seguinte expressão:

$$\frac{\Delta h}{h_0} \times 100 = \frac{L_1 - L_0}{15} \times 100$$

Em que:

Δ = variação da altura.

h_0 = altura inicial = 15mm.

L_0 = leitura inicial do extensômetro.

L_1 = leitura final do extensômetro.

4.2.3. Ensaio CBR – Californian Bearing Ratio

Este ensaio, também chamado de ISC – Índice de Suporte Califórnia, tem como objetivo avaliar a resistência mecânica dos solos, de modo a permitir a seleção dos materiais que compõem as camadas de pavimentação.

Foi criado antes da 2ª Guerra Mundial pelo *Californinan Department of Transportation* para medir a capacidade de suporte de carga dos solos usados na construção de estradas.

No item 4.1.3.1. apresenta-se como o ensaio é realizado.

4.2.3.1. Realização do ensaio:

No ensaio, é medida a resistência à penetração de um pistão padronizado na amostra saturada pela imersão em água e que foi anteriormente submetida ao Ensaio de Proctor. O pistão possui 3pol2 (19,4cm²) de seção transversal e penetra na amostra à velocidade de 0,05pol/minuto (1,27mm/minuto) por um período de 6 minutos. Anota-se a carga (ou pressão) e a penetração a cada 30 segundos, até o limite de 6 minutos. Os valores são colocados em um gráfico, do qual devem ser obtidos os valores das cargas (ou pressões) correspondentes às penetrações de 0,1 polegadas (2,5 milímetros) e 0,2 polegadas (5 milímetros). O Índice de Suporte Califórnia (ISC – Índice de Suporte Califórnia - ou CBR - California Bearing Ratio) é a relação, em percentagem, entre a pressão exercida pelo pistão padronizado necessária à penetração no solo até 0,1 polegadas (2,5 milímetros) e 0,2 polegadas (5 milímetros) e a pressão necessária para que o mesmo pistão penetre a mesma quantidade em solo-padrão de brita graduada. O resultado final para o CBR determinado, será o maior dos dois valores encontrados, correspondentes às penetrações de 0,1 polegadas (2,5 milímetros) e 0,2 polegadas (5 milímetros).

$$\text{CBR} = \frac{\text{Pressão encontrada}}{\text{Pressão padrão}} \times 100.$$

A norma de referência brasileira para este ensaio é a NBR 9895 – Índice de Suporte Califórnia.

4.2.4. Ensaio de Granulometria:

O ensaio de granulometria é o processo utilizado para a determinação da percentagem em peso que cada faixa especificada de tamanho de partículas representa na massa total ensaiada. Através dos resultados obtidos desse ensaio é possível a construção da curva de distribuição granulométrica, tão importante para a classificação dos solos bem como

a estimativa de parâmetros para filtros, bases estabilizadas, permeabilidade, capilaridade etc. A determinação da granulometria de um solo pode ser feita apenas por peneiramento ou por peneiramento e sedimentação, se necessário.

O processo de peneiramento é adotado para partículas (sólidos) com diâmetros maiores que 0,075mm (#200). Para tal, utiliza-se uma série de peneiras de abertura de malhas conhecidas, determinando-se a percentagem em peso retida ou passante em cada peneira. Este processo divide-se em peneiramento grosso, partículas maiores que 2mm (#10) e peneiramento fino, partículas menores que 2mm. Para o peneiramento de um material granular, a amostra é, inicialmente, seca em estufa e seu peso determinado. Esta amostra será colocada na peneira de maior abertura da série previamente escolhida e levada a um vibrador de peneiras onde permanecerá pelo tempo necessário à separação das frações. Quanto o solo possui uma porcentagem grande de finos, porém não interessa a sua distribuição granulométrica, faz-se, primeiramente, uma lavagem do solo na peneira nº 200, seguido da secagem em estufa do material retido e posterior peneiramento. Este procedimento leva a resultados mais corretos do que fazer o peneiramento direto, da amostra seca.

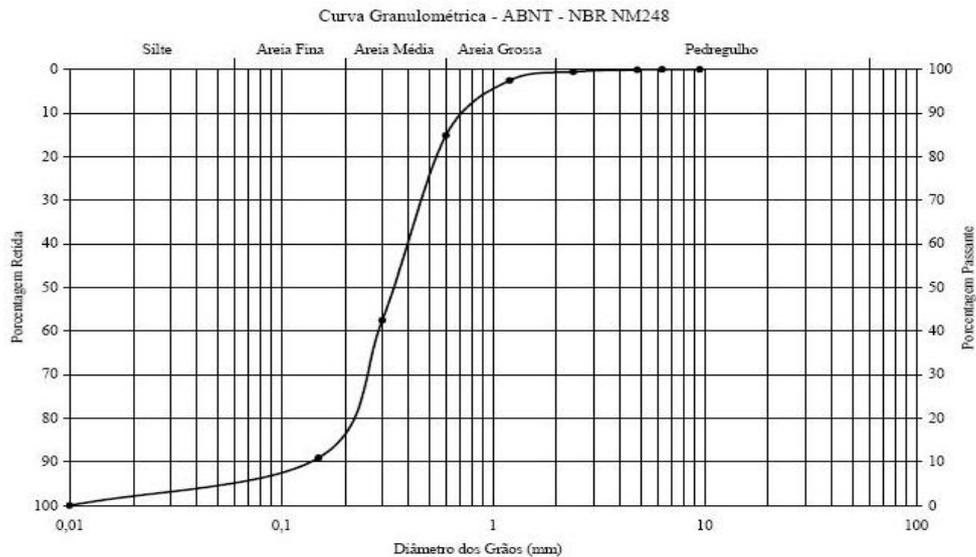


Figura 2 - Curva Granulométrica (NBR NM248)

Para os solos finos, siltes e argilas, com partículas menores que 0,075mm (#200), o cálculo dos diâmetros equivalentes será feito a partir dos resultados obtidos durante a sedimentação de certa quantidade de sólidos em um meio líquido.

A base teórica para o cálculo do diâmetro equivalente vem da lei de Stokes, que afirma que a velocidade de queda de uma partícula esférica, de peso específico conhecido, em um meio líquido rapidamente atinge um valor constante que é proporcional ao quadrado do diâmetro da partícula. O estabelecimento da função, velocidade de queda – diâmetro de partícula, se faz a partir do equilíbrio das forças atuantes (força peso) e resistentes (resistência viscosa) sobre a esfera, resultando:

$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1800 \cdot \mu} \times D^2$$

onde:

v = velocidade de queda

γ_s = peso específico real dos grãos - g/cm³

γ_w = peso específico do fluido - g/cm³

μ = viscosidade da água - g . s/ cm²

D = diâmetro equivalente (mm)

4.2.5. Ensaio de Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP).

A plasticidade do solo, ou limites de consistência, é determinada através de dois ensaios: limite de liquidez e limite de plasticidade. O Limite de plasticidade (LP) é o teor de umidade abaixo do qual o solo passa do estado plástico para o estado semi-sólido, ou seja, ele perde a capacidade de ser moldado e passa a ficar quebradiço. Deve-se observar que esta mudança de estado ocorre nos solos de forma gradual, em função da variação da umidade, portanto a determinação do limite de plasticidade precisa ser arbitrado, o que não diminui seu valor uma vez que os resultados são índices comparativos. Desta forma torna-se muito importante a padronização do ensaio, sendo que no Brasil ele é realizado pelo método da norma NBR 7180.

Os ensaios de plasticidade são realizados somente com a parte fina do solo, representada pelo material que passa na peneira de abertura 0,42 mm. O limite de liquidez (LL) é o teor em água acima do qual o solo adquire o comportamento de um líquido. Ele é usualmente determinado pelo aparelho de Casagrande. Ele é constituído por uma concha metálica unida a uma manivela que a move, fazendo-a cair sobre uma base sólida um certo número de vezes, até o fechamento de 1 cm da ranhura padrão, feita previamente no solo colocado na concha. O limite de liquidez corresponde ao teor de umidade em que a ranhura se fecha com 25 golpes.

Conhecidos o Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade, temos então o Índice de Plasticidade (IP):

$$IP = LL - LP$$

que é expresso em porcentagem e pode ser interpretado, em função da massa de uma amostra, como a quantidade máxima de água que pode lhe ser adicionada, a partir de seu Limite de plasticidade, de modo que o solo mantenha a sua consistência plástica.

4.3. Ensaios de campo

A partir desses ensaios realizados, obtém-se a base teórica para avaliação das condições do uso do solo no aterro que se deseja fazer. Esses parâmetros são indispensáveis para o projeto da terraplenagem de uma obra.

Mas existe outro aspecto fundamental no sucesso do empreendimento: o controle tecnológico feito durante a execução de aterros. Este fator é crucial, e, muitas vezes, não vem sendo aplicado nas obras de terraplenagem: controlar as tais propriedades de engenharia, que na fase de projeto nortearam o cálculo e o dimensionamento das estruturas (obras) de terra. Sabe-se que os parâmetros geotécnicos são indispensáveis aos cálculos de engenharia que redundaram no projeto do aterro e temos que certificar que estas importantes propriedades estarão sendo observadas no aterro executado.

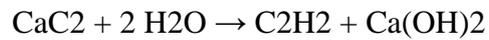
Apresenta-se então os ensaios de campo mais difundidos na terraplenagem e que são regulamentados pelas Normas do DNIT:

4.3.1. Ensaio de determinação da umidade

Como visto no item 4.2, há um teor de umidade que, dada uma energia de compactação, levará a um peso específico seco mais elevado, o que levará a uma maior resistência mecânica do aterro.

Para a determinação do teor de umidade do aterro executado, normalmente usa-se o ensaio conhecido como “Speedy” pela sua rapidez e praticidade na obtenção do resultado. A Norma rodoviária DNER-ME 052/1994 descreve como o ensaio deve ser

executado. A determinação do teor de umidade de solos e agregados miúdos com a utilização deste método tem base na reação química da água existente em uma amostra com o carbureto de cálcio, realizada em ambiente confinado:



O gás acetileno ao expandir-se gera pressão proporcional à quantidade de água existente na amostra. A leitura dessa pressão em um manômetro permite a avaliação da quantidade de água em uma amostra, e em consequência, do seu teor de umidade.

Aparelhagem:

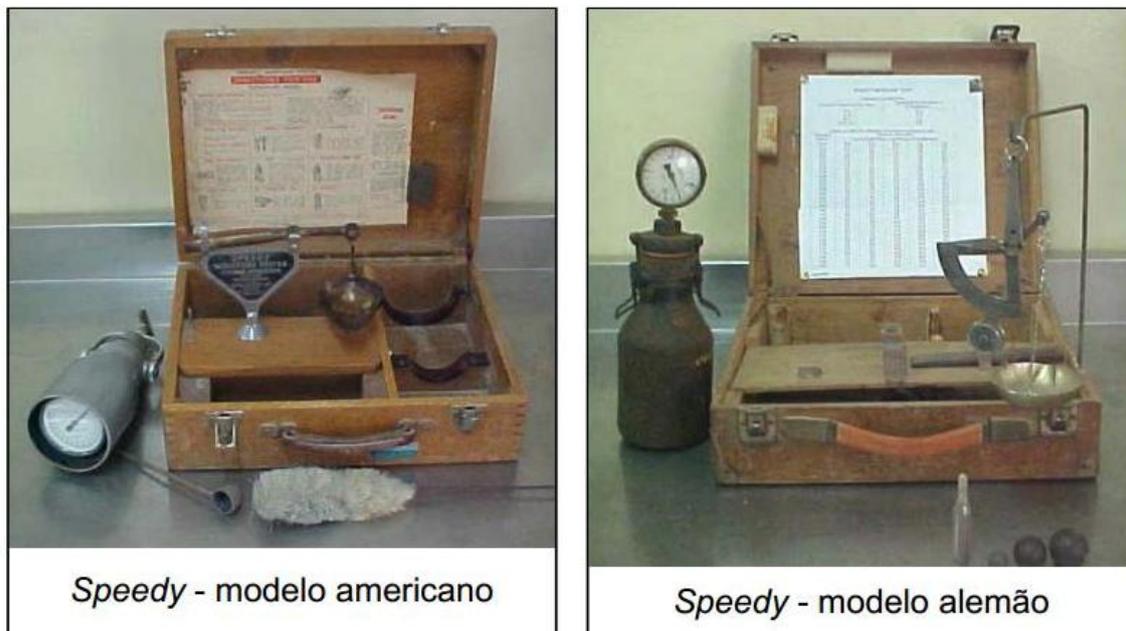


Figura 3 - Aparelhos para ensaio Speedy (DNER ME 052/94)

- a) Conjunto “Speedy” completo (ver fotos acima);
- b) Ampolas com cerca de 6,5g de carbureto de cálcio (CaC₂)

O peso da amostra a ser utilizada é escolhido pela umidade que se admite a amostra possuir, de acordo com a tabela:

Tabela 2 - Umidade estimada x peso da amostra (DNER-ME 052/1994)

Peso da amostra em função da umidade estimada	
Umidade estimada, em %	Peso da amostra, em g
5	20
10	10
20	5
30 ou mais	3

ENSAIO: (Aqui o ensaio é descrito para o modelo denominado “alemão”)

- a) Pesar a amostra e colocar na câmara do aparelho;
- b) Introduzir na câmara duas esferas de aço, seguidas da ampola de carbureto de cálcio, deixando-a deslizar com cuidado pelas paredes da câmara, para que não se quebre;
- c) Fechar o aparelho e agitá-lo repetidas vezes para quebrar a ampola, o que se verifica pelo surgimento de pressão assinalada no manômetro;
- d) Ler a pressão manométrica após esta se apresentar constante, o que indica que a reação se completou. (Se a leitura manométrica for menor que 20 kpa [0,2 kg/cm²], o ensaio deve ser repetido com peso de amostra imediatamente superior ao empregado, conforme a tabela. Se a leitura for maior que 150 kpa [1,5 kg/cm²], interromper o ensaio, afrouxando a tampa do aparelho devagar, e repetir o ensaio com um peso imediatamente inferior. Apenas na faixa de 0,2 a 1,5 kg/cm² o aparelho fornece leituras confiáveis.)
- e) Entra-se na tabela de aferição própria do aparelho com a leitura manométrica e o peso da amostra utilizada no ensaio, obtendo a percentagem de umidade em relação à amostra total úmida (h₁).

Resultado do ensaio (se realizado em temperatura próxima de 20°C):

$$h = 100. h_1 / (100 - h_1).$$

4.3.2. Ensaio de massa específica com emprego do frasco de areia

A referência Aplicabilidade do método: 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.

Aparelhagem:

- a) Frasco de vidro ou plástico translúcido (cerca de 3,5 litros) com gargalo rosqueado, funil duplo metálico provido de registro e rosca;
- b) Bandeja metálica plana quadrada com 30cm de lado e bordas de 2,5cm de altura e furo no centro (10 cm) com rebaixo;
- c) Placa de vidro quadrada de 30cm de lado;
- d) Molde cilíndrico de metal de 10cm de diâmetro e 1000cm³ de volume;
- e) Balanças com capacidade 1,5 kg e 10 kg, com resolução de 0,1g e 1g, respectivamente, e sensibilidades compatíveis;
- f) Peneiras de 1,2 mm a 0,59 mm (consultar NBR5734);
- g) Talhadeira com cerca de 30 cm de comprimento;
- h) Martelo de 1 kg;
- i) Pá de mão (concha);
- j) Pincel ou trincha;
- k) Recipientes que permitam guardar amostra de solo sem perda de umidade.
- l) Areia lavada e seca, de massa específica aparente conhecida e obtida como especificado no item 2, constituída pela fração passante no peneira de 1,2 mm e retida na peneira de 0,59 mm;

- m) Nível de bolha (nível de pedreiro);
- n) Cilindro metálico de volume conhecido (aproximadamente 2000cm³) com diâmetro interno igual ao diâmetro interno do funil do frasco de areia para determinação da massa específica da areia.

4.3.2.1. Trabalho prévio feito no laboratório:

Preparação da areia:

- a) secar ao ar;
- b) peneirar com as peneiras 1,2 mm e 0,59 mm, recolhendo a areia entre elas;
- c) lavar na peneira 0,59 mm;
- d) secar em estufa;
- e) peneirar na peneira 0,59 mm.
- f) Para determinação da massa de areia que preenche o funil e o orifício no rebaixo da bandeja, seguem os passos:
 - g) Colocar sobre uma superfície plana a placa de vidro. Sobre a mesma colocar a bandeja de metal onde se encaixa o furo maior do funil;
 - h) pesar o conjunto frasco + funil (M1) estando o frasco cheio de areia.
 - i) Colocar o conjunto frasco+funil+areia encaixado na bandeja e abrir o registro do funil, deixando a areia escoar livremente até cessar seu movimento. Fechar o registro do funil. Retirar o conjunto frasco + funil + areia restante, pesando-o (M2). A diferença (M3) é a massa de areia que preencheu funil e orifício.
 - j) Repetir o procedimento acima várias vezes (sugere-se cinco vezes), até obter pelo menos três valores M3 que não difiram da respectiva média mais que 1% do valor da média.

- k) Adotar a média dos valores M3 que atendam esta especificação como peso de areia no cone .

O modo como se procede ao ensaio no laboratório visa reproduzir em laboratório, tanto quanto possível, as mesmas condições de aleatoriedade ocorrentes no campo. Isto inclui a altura de queda das partículas e o modo como elas se acomodarão. Tanto no campo quanto em laboratório é proibida a ocorrência de vibrações (como as causadas por tráfego e motores ligados) durante os ensaios. Para, finalmente, determinar-se a massa específica aparente da areia, deve-se:

- a) pesar o conjunto frasco – funil contendo a sua máxima capacidade de areia, preparada. (M4);
- b) colocar o conjunto frasco + funil + areia sobre a bandeja, e esta sobre o cilindro; abrir o registro do funil deixando a areia escoar livremente até que cesse seu movimento; fechar o registro do funil; retirar o conjunto frasco + funil + areia e pesá-lo (M5);
- c) A massa de areia que enche o cilindro será:

$$a. \quad M6 = M4 - M5 - M3$$

- d) repetir as operações iniciais várias vezes. Compor a média dos valores M6, não aceitando valores que difiram da respectiva média mais que 1% do valor da média.

- e) Calcular a massa específica aparente da areia pela fórmula:

$$a. \quad \rho_{\text{areia}} = M6 / V$$

- f) onde M6 é a média das massas de areia no cilindro (g) e V é o volume do cilindro (cm³).

Calculada a massa específica da areia, pode-se, então, partir para a parte do ensaio realizada no campo, como demonstra o item 4.2.2.3.

4.3.2.2. Determinação da massa específica aparente do solo no campo:

Enfim, obtém-se o valor da massa específica aparente do solo no campo seguindo as etapas:

- a) Limpar a superfície do terreno, tornando-a, tanto quanto possível, plana e horizontal. (usar nível de bolha);
- b) Colocar a bandeja, certificando-se se há bom contacto entre esta e a superfície do terreno, e escavar com martelo e talhadeira uma cavidade cilíndrica no terreno, limitada pelo orifício central da bandeja e com profundidade até 15 centímetros (ou que atinja toda a espessura da camada a ser analisada. Quando a camada possuir espessura superior a 15 centímetros, a profundidade máxima do furo será de 15 centímetros).
- c) Recolher todo o solo extraído da cavidade, determinar sua massa com resolução de 1g e anotar como Mh.;
- d) Determinar o teor de umidade (h) do solo extraído da cavidade, conforme prescreve a norma NBR 6457 – Preparação de amostras;
- e) Pesar o conjunto frasco + funil + areia (M7);
- f) Ajustar o conjunto frasco + funil + areia sobre o rebaixo da bandeja. Abrir o registro do funil deixando a areia escoar livremente até cessar seu movimento no interior do frasco. Fechar o registro, retirar o conjunto frasco + funil + areia restante, pesando-o com resolução de 1 g e anotar (M8);
- g) O peso de areia que preencheu a cavidade do terreno será:

a. $M10 = M7 - M8 - M3$

- h) Completar o frasco com areia não usada;
- i) Recolher a areia utilizada no furo para novo beneficiamento de laboratório.
- j) A massa específica (aparente) seca do solo “in situ” será obtida por:

$$\rho_s = fc \cdot \rho_{\text{areia}} \cdot M_h / M_{10} \text{ ou } \rho_s = [100/(100+h)] \cdot \rho_{\text{areia}} \cdot M_h / M_{10} .$$

Onde,

ρ_s = massa específica aparente seca do solo “in situ”, em g/cm³

ρ_{areia} = peso específico aparente da areia, em g/cm³

M_h = massa do solo extraído da cavidade do terreno, em g

M_{10} = massa da areia que preencheu a cavidade no terreno, em g

h = teor de umidade do solo extraído da cavidade no terreno, em %

fc = fator de correção da umidade = 100 / (100 + h)

4.4. Boas práticas de controle tecnológico na execução da terraplenagem

Muitos responsáveis por obras de aterro diriam que através do controle tecnológico, determina-se o grau de compactação e o desvio de umidade dos solos de aterro, o que está correto, entretanto, não pode ser considerada uma resposta completa (LOZANO, 2012). Isso se deve ao fato de que este procedimento largamente empregado atualmente, é necessário, porém não é o suficiente, pois não determina as propriedades de resistência; compressibilidade; e ou permeabilidade, e conseqüentemente não é feita a verificação se estas propriedades encontradas correspondem às adotadas no projeto.

A seguir, apresenta-se uma seqüência de atividades construtivas que englobam o controle tecnológico de aterros.

Deverão ser realizadas visitas periódicas com os seguintes objetivos:

1. Certificar que a geometria de execução está de acordo com o projeto;
2. Determinar a altura de escavação até o solo de fundação;
3. Demarcar faixas de compactação na largura do rolo compactador;
4. Calcular a espessura da camada compactada (no máximo 20 centímetros);
5. Dimensionar a sobrelargura dos taludes;
6. Solicitar a execução de gabarito para verificar a inclinação do talude;
7. Especificar as cotas, largura e inclinação das bermas e platôs;
8. Durante as escavações, coletar amostras indeformadas para execução de ensaios triaxiais;
9. Garantir que o encontro do aterro com o maciço de solo natural seja feito em degraus;

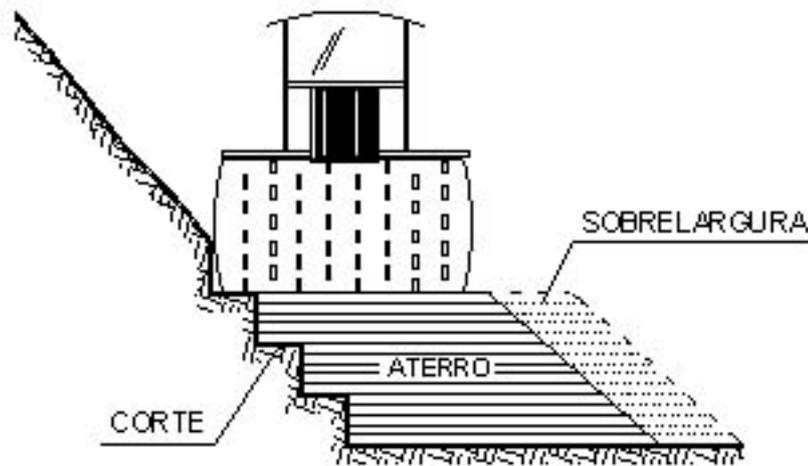


Figura 4 - Encontro de aterro com maciço (LOZANO, 2012)

10. Garantir que a compactação no encontro fique de acordo com o projeto.
11. A drenagem provisória deverá ser executada antes da fase de compactação e outras fases das obras e deverá ser ajustada, quando necessário, durante a obra.
12. Lançamento e espalhamento das camadas soltas de aterro;

13. Definir previamente as faixas de compactação por meio de cruzetas e estacas;
14. Colocar piquetes a cada 10 metros, para verificar a espessura da camada compactada;
15. As faixas de compactação devem ser sobrepostas, conforme esquema abaixo:

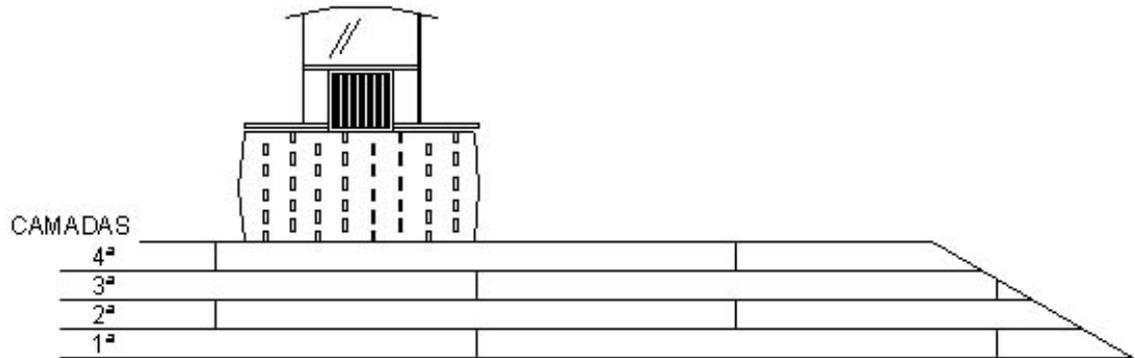


Figura 5 - Faixas de compactação (LOZANO, 2012)

16. Controlar visualmente a homogeneidade, verificando se há mudança de solo proveniente da área de empréstimo.
17. Coletar amostras para ensaios de caracterização e próctor normal para cada mudança solo (adotando no mínimo 3 amostras);
18. Fazer um “croqui” com a locação e numeração da coleta de amostras.
19. Quando houver mudança de solo da área de empréstimo ou mudança de jazida, devem-se ter definidas as especificações técnicas deste solo antes do lançamento.
20. O lançamento e espalhamento deverão ser executados em uma única faixa.
Assim, mesmo após um período de chuvas, tem-se frente de trabalho no restante da praça que se encontra compactada e selada.
21. Verificar a homogeneidade do solo de fundação, quanto à resistência;
22. Exigir uniformidade das camadas, através do número de passadas do rolo compactador;

23. A espessura da camada não deve ter mais que 20cm compactada, salvo se existir na obra equipamento que permita espessuras maiores;
24. Executar coleta de corpos de prova por cravação de cilindros tipo triaxial ou hilf, e copinhos, para determinação de densidade e umidade em laboratório a cada 300 m³, no mínimo dois por camada e, quando houver mudança do tipo de solo, proveniente de área de empréstimo;
25. O engenheiro deverá comparar os resultados dos ensaios de laboratório com o grau de compactação (GC) e o desvio de umidade (Δh) especificados em projeto, e informar imediatamente ao encarregado de campo;
26. Solicitar escarificação para recompactação, secagem ou umedecimento da camada, caso não se apresente nas condições especificadas no projeto.
27. Solicitar que a última camada seja selada sempre que os serviços forem paralisados ou quando houver iminência de chuvas.
28. Fazer um “croqui” com a locação e numeração dos ensaios realizados;
29. Solicitar execução de proteção superficial em taludes.

4.5. Vantagens e principais resultados

O controle tecnológico quando contempla todos os aspectos citados nos itens 4.2 a 4.4, certamente traz uma série de vantagens para a etapa de terraplenagem e as etapas subsequentes, principalmente se tratando de uma obra viária. Materializam-se ganhos na qualidade, na segurança e na viabilidade econômica do empreendimento. Essas melhorias trazidas pelo advento do controle tecnológico podem ser detalhadas:

- a) A qualidade preza por executar os serviços de acordo com os procedimentos e parâmetros pré-estabelecidos em projeto e o controle tecnológico permite criar uma

memória que qualifica as diferentes etapas e resultados obtidos nas obras de terraplenagem.

- b) Aumenta-se a confiabilidade na execução, ajudando a gerar uma maior satisfação do cliente, fundamental para qualquer empresa com um Sistema de Gestão da Qualidade conforme requisitos da norma ISO 9001.
- c) Evita o desperdício. Pode-se citar como exemplo um caso onde o solo proveniente de um corte foi descartado sem recolhimento para ensaios de caracterização e poderia ter sido usado como reforço de subleito.
- d) Diminui o retrabalho e necessidade de manutenções futuras. Isso fica claro ao imaginarmos uma patologia detectada no aterro quando esse já possui grande extensão, necessitando de escarificação e recompactação.
- e) Otimiza a utilização dos recursos, o que também pode gerar economia. Serve de exemplo o caso onde se sabe o número de passadas do rolo compactador necessárias para que a camada atinja a densidade máxima e evita-se que mais horas sejam gastas do equipamento.

5. ESTUDO DE CASO – TRANSOLÍMPICA

5.1. Descrição do empreendimento

A via expressa TransOlimpica foi um dos compromissos assumidos com o Comitê Olímpico Internacional (COI) para os Jogos Olímpicos de 2016 e vai ligar os dois principais polos de competições da cidade, Deodoro e Barra da Tijuca. Ela terá duas pistas de três faixas cada, uma delas para o BRT. Serão aproximadamente 13 quilômetros de construção, ligando a Avenida dos Bandeirantes até a Avenida Brasil, na altura de Deodoro. Neles, estão previstos 2 km (cada pista) em túnel e 25 pontes e viadutos. A via expressa, que terá pedágio com tarifa igual a da Linha Amarela, suportará uma capacidade de 90 mil veículos por dia, mas inicialmente espera-se um fluxo de 55 mil veículos/dia. A conclusão das obras está prevista para o primeiro semestre de 2016.

A via foi orçada em 1,55 bilhão e será a segunda via municipal pedagiada do Rio de Janeiro, com valor de tarifa igual ao da Linha Amarela.

Houve um processo de licitação para explorar a concessão por 35 anos e o consórcio vencedor foi formado pelas empresas Invepar, CCR e Odebrecht. Este consórcio ofereceu a maior contrapartida financeira, diminuindo os gastos públicos na obra. Com isso, do total de R\$ 1,55 bilhão, a prefeitura terá que desembolsar R\$ 1,072 bilhão.

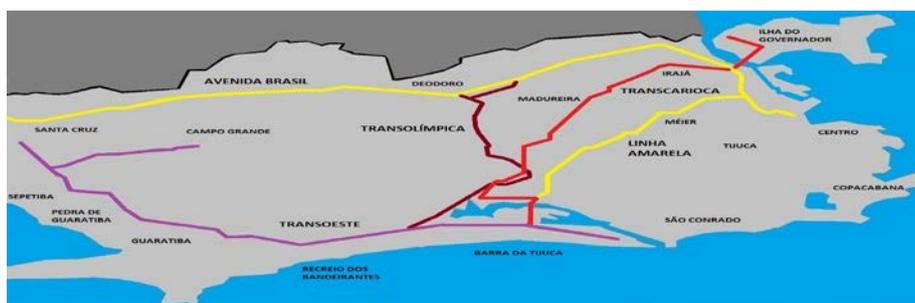


Figura 6 - Traçado da Transolimpica

5.2. Características das obras

Desde o começo das obras, em 2012, o traçado da via já sofreu algumas mudanças, mas sempre nele estão contempladas construções em áreas de mata atlântica e inabitadas e também desapropriações e demolições em lugares habitados onde a via passará.

Como era de se esperar, haverá um volume enorme de aterro ao longo dos 13km de extensão, chegando a aproximadamente 2.000.000 de m³ de acordo com primeiros estudo realizados. Ainda de acordo com o pré-estudo, haveria algo em torno de 350.000 m³ de escavação mecânica em material de 1ª categoria e 600.000 m³ de escavação mecânica em material de 3ª categoria.



Figura 7 – Obras de terraplenagem na praça de pedágio e contenção em cortina atirantada ao fundo (Autor)

Nos encontros dos viadutos e pontes que serão construídos, está prevista em projeto a solução dos muros de aterro reforçado com fitas metálicas, que consiste basicamente em uma montagem de peças pré-moldadas em concreto, que vão subindo junto a um aterro armado (fitas metálicas presas nas peças submetidas a tração por compactação das camadas de aterro). O processo será melhor explicado no item 5.2.3.



Figura 8 - Futuro encontro entre viaduto e aterro com fitas metálicas em Sulacap, RJ. (Autor)

Logo após a praça de pedágio da via, para quem se desloca no sentido Barra da Tijuca, há o emboque do Túnel Engenho Velho. O túnel será o quinto maior da cidade, passará por dentro do Maciço da Pedra Branca e contará com subestações de controle, monitoramento 24 horas, com gerador próprio, uma área para apoio técnico das equipes de socorro e ligará o que atualmente é a Estrada do Catonho, em Sulacap a Estrada do Boiúna, totalizando 4km de extensão. As detonações para a construção do túnel começaram no dia 08/11/2013, e se sucederão até o término previsto em 05/2015.

Construir-se-ão, também, 25 OAE's (Obras de Arte Especiais), que representam a soma de 4 pontes e 21 viadutos, um número bastante expressivo para uma via de 13km. Serão utilizadas diversas soluções para as fundações das OAE's, dependendo da característica geológica do trecho em questão. Fundações diretas (sapatas), estacas raiz, perfis metálicos e estacas pré-moldadas foram elas.

5.3. Estabelecimento de parâmetros de aprovação

Nos trechos onde a via passará, realizaram-se sondagens, e a partir delas foi elaborado um Relatório Técnico para cada trecho por uma empresa de engenharia geotécnica

contratada. Depois, nasceram os Projetos Geométricos . Os relatórios foram aprovados pela fiscalização, e nele firmaram-se as características geológicas da região e as diretrizes técnicas para realização da terraplenagem.

Por exemplo, no trecho entre as Estacas 209 e 246, local onde será implantada a Praça do Pedágio da Transolímpica, o relatório estabelece critérios técnicos separados em tópicos: desmatamento, destocamento e limpeza; escavação, carga e transporte de solos; aterros compactados; remoção de solo mole localizado; e remoção de blocos de rocha e/ou matacões localizados.

A abordagem a expressão “controle tecnológico” é feita pela primeira vez quando o relatório estabelece que as operações de desmatamento, destocamento e limpeza deverão ser verificadas visualmente e serão aceitas se atenderem às exigências indicadas no projeto e forem consideradas satisfatórias pela Fiscalização, e que o controle geométrico será feito por trena para verificação das larguras além do *off-set*.

5.3.1.1. Aterro

Como normalmente acontece, a principal atenção quanto ao controle tecnológico se dá na execução do aterro, estabelecendo critérios para aceitação de materiais a serem utilizados e liberação das camadas compactadas.

No Relatório, o critério estabelecido é de que os materiais escolhidos para o corpo do aterro obtenham resultados de Ensaio de Capacidade de Suporte CBR (Californian Bearing Method, ou ISC – Índice de Suporte Califórnia) maiores que 4% e expansão máxima de 4%. Na execução das três camadas finais (60cm) do aterro o CBR deverá ser igual ou superior a 8% e a expansão máxima inferior a 2%. O controle de compactação deve ser feito através de acompanhamento permanente e inspeção visual das diversas

operações de transporte, lançamento, espalhamento, umidificação, mistura e compactação pela passagem de equipamentos de terraplenagem. Os limites e tolerâncias especificados aplicam-se à camada em toda a sua espessura. A faixa de desvio dos teores de umidade, dentro dos quais deverão se situar os resultados dos ensaios de controle para os solos na construção do aterro, é de $\pm 2\%$. Tais teores dizem respeito aos teores ótimos de umidade, obtidos através de ensaios de compactação executados de acordo com a NBR-7182. As camadas devem ser compactadas de modo que a espessura final seja de 20cm e devem obter, em relação ao ensaio Proctor Normal, um grau de compactação médio de 98% e desvio padrão inferior a 3%. Como critério de controle para liberação das camadas do corpo de aterro é exigido grau de compactação mínimo de 95%. Para as camadas finais (60cm finais de aterro), é exigido também grau de compactação médio de 100% do Proctor Normal e mínimo de 98% para liberação de camadas.

5.3.1.2. Muros em aterro reforçado com fitas metálicas.

Os muros em aterro reforçado com fitas metálicas são estruturas de contenção flexíveis, do tipo gravidade, que associam: aterro selecionado e compactado; elementos lineares de reforço que serão submetidos à tração; e elementos modulares pré-fabricados de revestimento.

O fator chave na aceitação mundial da tecnologia tem sido a simplicidade e a rapidez de construção. Em ambientes urbanos os projetistas têm que conviver com locais restritos, cronogramas apertados, e pouco espaço físico. Na construção dos muros, a maior parte da atividade construtiva ocorre por trás do paramento, sem andaimes e sem interrupções do fluxo de tráfego. As estruturas podem ser construídas a poucos

centímetros das divisas e podem facilmente ser projetadas para seguir alinhamentos curvos dos traçados. A montagem é basicamente uma operação de terraplenagem com a rapidez da construção dependendo do ritmo em que a terra possa ser espalhada e compactada. Seja o paramento em escamas pré-moldadas de concreto, ou malhas eletro-soldadas (TerraTrel), o processo é claramente semelhante e segue um ciclo simples e repetitivo:

- a) Colocação de escamas (painéis pré-moldados de revestimento)
- b) Fixação de uma camada de armaduras
- c) Espalhamento e compactação das camadas de aterro selecionado sobre as armaduras



Figura 9 - Elevação de muro com escamas pré-moldadas de concreto e aterro reforçado com fitas metálicas

Na execução, os critérios são impostos de comum acordo entre a Geoinfra e a Terra Armada Ltda., empresa responsável pelos projetos que usam essa tecnologia de contenção; tecnologia essa que por muitos é conhecida como “terra armada”, devido ao fato da empresa Terra Armada Ltda. ter sido a precursora da tecnologia no Brasil.

Nas diretrizes técnicas de execução há um padrão a ser seguido no aterro próximo ao encontro do muro com os viadutos ou pontes. Para minimizar os recalques diferenciais entre o aterro armado e as fundações estacadas, o projeto indica que deve ser feita

uma camada de aterro compactado com grau de compactação igual ou maior que 100% do ensaio Proctor Normal e material que atenda aos mesmos requisitos do maciço de aterro armado em 0,6m a partir da cota de fundo da soleira até uma distância de 20,0 m do encontro viaduto x aterro armado.

O material escolhido deve possuir CBR > 15% e granulometria indicada em projeto, pois baseia-se no atrito entre o aterro e as fitas metálicas para o bom funcionamento do conjunto.

Nas áreas de aterro sobre as armaduras, indica-se o uso de pó de pedra e grau de compactação para liberação das camadas de 98% do Proctor Normal.

5.3.2. Funcionamento do Controle Tecnológico

O setor de Qualidade da Transolímpica foi responsável por elaborar os Procedimentos de Execução de Serviço (PES) da obra. Neles estão presentes a sequência executiva e parâmetros de aprovação (conforme item 5.3), contendo também, em anexo, fichas de verificação de conformidade na execução do serviço (ANEXO I).. A ficha a ser preenchida contém campos em que o técnico de qualidade marca os critérios como Conformes ou Não-Conformes, com a assinatura do próprio técnico, do encarregado da frente de serviço e do engenheiro responsável. Em anexo, no caso da execução de aterros, fica também a ficha de ensaio realizada.

A gerência da obra optou por terceirizar os serviços de controle tecnológico ficando a empresa terceirizada sob responsabilidade do setor de Qualidade. Em 10/01/2014, a empresa contava com sete laboratoristas na obra e realizava ensaios de laboratório em sua sede, em São Paulo - SP.

Na área de terraplenagem, técnicos ficam em tempo integral nas frentes que estão sendo atacadas: camada final (últimos 0,60cm) no trecho chamado “divisa EBxPM”, situado entre as estacas 99 e 130, dentro do terreno que era propriedade do Exército Brasileiro, em Deodoro; e terra armada que ligará os viadutos sobre a Av. Marechal Fontenelle e a Rua Carlos Pontes, em Sulacap.

A terceirização do serviço de controle tecnológico, assim como em outros setores do empreendimento significa uma redução de custos e contratação de mão de obra especializada por parte do consórcio, que assim realiza a gestão em cima da contratada, direcionando os recursos às frentes.

5.3.2.1. Práticas do controle tecnológico na terraplenagem

Todo material proveniente de jazidas (empréstimos) são avaliados por meio dos ensaios de caracterização demonstrados no Capítulo 4, e, assim, são aprovados ou reprovados para uso nas etapas de terraplenagem da obra. Até março de 2014, 77 ensaios de caracterização haviam sido feitos. Entre, eles estão ensaios da mesma jazida, que servem para conferir se o material não sofreu alterações importantes nas suas propriedades. Também são realizados ensaios de possíveis novos materiais a serem utilizados, que podem ter preço mais atrativo, servir para complementar a demanda em outra frente, diminuir o custo de transporte ou atender à determinados parâmetros.

Nos taludes provenientes da escavação, realizam-se ensaios triaxiais. Estes ensaios fornecem parâmetros como resistência mecânica e ângulo de atrito, e assim há como avaliar a segurança quanto a rompimentos.

O grande volume de resultados de ensaios realizados vem da conferência da densidade máxima aparente e umidade *in situ* com o emprego do frasco de areia e do *Speedy Test*,

respectivamente (Figura 10). Até março de 2014, realizara-se mais de 500. Esses, sem dúvida, são considerados os resultados mais importantes na para liberação das camadas de aterro.

A topografia constantemente marca as cotas de corte e aterro através de piquetes nos bordos da pista e no eixo central. Nas 3 camadas finais, é necessária a operação de verificação do greide marcado pela topografia. Essa atividade que irá dizer se há a necessidade de cortar ou aterrar em alguns pontos ao longo do trecho executado. Isso evita retrabalhos devido a erros de marcação topográfica sem aferição.



Figura 10 - Laboratorista realiza o ensaio do frasco de areia. (Autor)

5.3.2.2. Laboratório na obra

Em julho de 2013, começou a construção do local onde se implantaria o laboratório da obra. A tomada de decisão foi feita pela gerência com base nas vantagens inerentes a esse investimento:

- a) Maior dinamismo na obtenção de resultados de ensaio.

- b) Maior gestão sobre os ensaios.
- c) Possibilidade de atender às diversas frentes e estabelecer prioridades.
- d) Laboratório configurado para suprir à necessidade específica da Transolimpica.
- e) Instrumentação por parte da terceirizada de controle tecnológico.
- f) Indicador de qualidade à vista, gerando maior satisfação do cliente.

Visita ao local:



Figura 11 - Placa de entrada do laboratório (Autor)

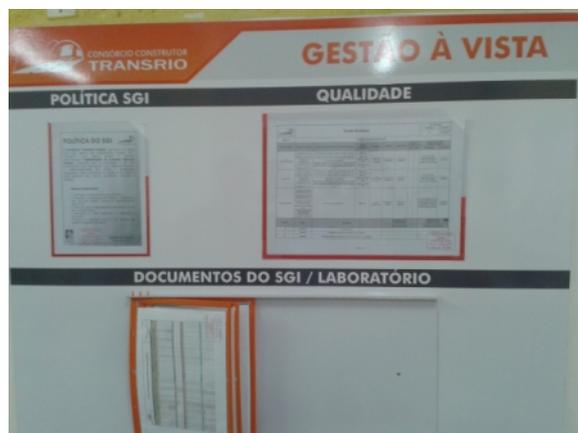


Figura 12 - Quadro de gestão à vista (Autor)



Figura 13 - Peneiras para ensaio de granulometria (Auto)r



Figura 14 - Aparelho de Casagrande para determinação do Limite de Liquidez(Autor)



Figura 15 - Aparelho usado no ensaio CBR (Autor)

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho procurou demonstrar a importância de se desenvolver uma etapa fundamental inerente às obras de construção civil, que é a fase de terraplenagem, obedecendo a conhecidos preceitos, boas práticas e as normas vigentes.

Ficou claro que este é o caminho para se garantir a qualidade das obras, com a identificação de possíveis problemas ou patologias, da forma mais prematura possível e permitir as devidas correções. Quer seja de procedimentos, uso de materiais e recursos, ou até mesmo da concepção do projeto. Há que se entender que ao seguir tal filosofia, busca-se também minimizar riscos e otimizar custos. Os possíveis danos de rompimento de taludes e aterros, por exemplo, podem gerar consequências graves.

Durante a concepção do trabalho, foram descritas boas práticas no controle tecnológico aplicado a obras de terraplenagem, práticas essas que geram maior segurança, qualidade e economia.

Foram especificados os ensaios mais importantes que devem ser realizados em qualquer tipo de material que fará parte do aterro e os subsequentes ensaios em campo para verificação de parâmetros pré-estabelecidos. Fora isso, também foram apresentadas uma série de diretrizes do controle tecnológico em campo para garantia da qualidade e segurança na execução da atividade.

A mão de obra desqualificada é um dos problemas mais comuns no controle tecnológico da terraplenagem. Deve-se trabalhar para que os profissionais envolvidos estejam bem preparados e tenham o correto entendimento da importância fundamental do controle tecnológico, nos diferentes níveis hierárquicos envolvidos. As empresas construtoras

buscam cada vez mais terceirizar esse tipo de atividade para tentar contornar o problema, visando serviços especializados e de menor custo.

Fica, por fim, a sugestão da realização de trabalhos mais aprofundados nas questões tratadas neste documento, observando as novas práticas de controle tecnológico no setor. Também é interessante buscar estudos que indiquem o gasto médio das construtoras com o advento do controle tecnológico e os gastos com retrabalhos em locais em que o mesmo não se faz presente ou é insuficiente.

7. REFERÊNCIAS

ABRAM, Isaac e ROCHA, Aroldo. **Manual Prático de Terraplenagem**, 1ªed., Salvador/BA, 2000.

AGETOP, **Especificações Gerais para Obras Rodoviárias**, Edição Revista, Fevereiro, 2002.

Curso de Construção de Estradas – **Coletânea de Notas de Aula Escola Politécnica da UFBA**– Salvador – Outubro, 1996.

FORTES, Rita – **Controle Tecnológico e Controle de Qualidade - Um alerta sobre sua importância**, Publicação no Congresso da COBENGE2004, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, SP, Brasil.

MELO, Ricardo, **Apostila de Materiais terrosos para pavimentação**, Universidade Federal da Paraíba, PB, 2013.

NICHOLS, Herbert e DAVID, Day, **Moving the Earth: The workbook of excavation**, 6th .ed. - McGraw-Hill Professional, 2010.

LOZANO, Mauro, **Artigo Aterro de Alta Performance - (AP) - 2 - Obras de Pavimentação**, Artigo apresentado no XII GEOTEC, Jundiaí, 2014

MEDRADO, Wallen, **Caracterização Geotécnica De Solo Da Região Norte De Minas Gerais Para Aplicação Em Obras Rodoviárias**, Dissertação (Mestrado), Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2009.

Norma DNER-ME052-1994 – **Solos e agregados miúdos – determinação da umidade com emprego do “Speedy”**

Norma ABNT NBR 7182/1986 – **Compactação**

Norma DNER-ME 092/94 - Solo - **determinação da massa específica aparente, “in situ”, com emprego do frasco de areia**

Norma DNER-ME 082/94 - Solos - **determinação do limite de plasticidade**

Norma DNER-ME 049/94 - Solos - **determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas**

Norma DNIT 013/2004-PRO – **Requisitos para a qualidade em obras rodoviárias.**

Norma DNIT 108/2009 – **ES – Terraplenagem – Aterros – Especificação de Serviços**

POZZOBON, Marco Antonio, **O Processo de monitoramento e controle tecnológico em obras de alvenaria estrutural**, Dissertação (Pós-Graduação), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

RICARDO, Hélio de Souza e CATALANI, Guilherme, **Manual prático de escavação: terraplanagem e escavação de rocha**, 3ª. ed. – São Paulo/SP: Pini, 2007.

SACHET, Taís, **Controle Tecnológico de Obras Rodoviárias Envolvendo a Reciclagem In Situ de Bases Granulares de Pavimentos Asfálticos**, Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2007.

WHITLOW, Roy. **Basic Soil Mechanics**, 4th.ed. – Prentice Hall, 2000.

ANEXO

	FICHA DE VERIFICAÇÃO / ACOMPANHAMENTO (Anexo 1)		PES.CCT.017 - REG. 001	
			Nº	
			DATA:	
PROCESSO:		ENCARREGADO:		
DESENHO DE REFERÊNCIA:				
TRECHO / ESTACA A SER LIBERADA:			Nº CAMADA:	
ESTACAS ENSAIADAS:				
MATERIAL UTILIZADO:				
CARACTERÍSTICAS DA QUALIDADE A SEREM VERIFICADAS				
ETAPAS DO PROCESSO	DESCRIÇÃO	VERIFICAÇÃO		
		SITUAÇÃO	ASSINATURA ENCARREGADO	ASSINATURA DA QUALIDADE
TOPOGRAFIA	Nivelamento e Alinhamento	<input type="checkbox"/> CONFORME	Nome: Assinatura:	
		<input type="checkbox"/> N CONFORME		
PRODUÇÃO	Lançamento de material sem impureza	<input type="checkbox"/> CONFORME <input type="checkbox"/> N CONFORME	Nome: Assinatura:	
	Nº de Fechas	<input type="checkbox"/> CONFORME <input type="checkbox"/> N CONFORME		
LABORATÓRIO	Liberação do material pelos ensaios de Proctor e CBR	<input type="checkbox"/> CONFORME <input type="checkbox"/> N CONFORME	Nome: Assinatura:	
	Grau de compactação (%)	<input type="checkbox"/> CONFORME <input type="checkbox"/> N CONFORME		
	Desvio de Umidade (%)	<input type="checkbox"/> CONFORME <input type="checkbox"/> N CONFORME		
OBSERVAÇÕES				
Legenda : C = Conforme NC = Não Conforme NA = Não Aplicável				
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="display: flex; gap: 20px;"> <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO </div> <div style="display: flex; gap: 20px;"> <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO  <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; text-align: center;"> Registrar FNC/ PA </div> </div> </div> <p><small>*Em caso de SIM descrever retrabalho junto ao campo OBSERVAÇÕES/ Caderneta de Retrabalho</small></p>				
Reparo da(s) Peça (s) previsto para: / /				
Nome do Responsável:			Visto do Responsável:	

ANEXO I - ficha de liberação de camada de aterro executado