



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Ana Valéria Goetz Preussler

ESTABILIZAÇÃO QUÍMICA: ESTUDO COMPARATIVO DE SOLO ESTABILIZADO
COM CIMENTO E BETUME PARA USO EM CAMADA DE BASE DE
PAVIMENTAÇÃO

Palmas - TO
2017



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Rede credenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Ana Valéria Goetz Preussler

ESTABILIZAÇÃO QUÍMICA: ESTUDO COMPARATIVO DE SOLO ESTABILIZADO
COM CIMENTO E BETUME PARA USO EM CAMADA DE BASE DE
PAVIMENTAÇÃO

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC) do curso de Engenharia Civil, orientado pelo Professor Especialista Fernando Moreno Suarte Junior.

Palmas - TO
2017

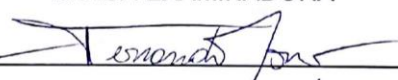
Ana Valéria Goetz Preussler

**ESTABILIZAÇÃO QUÍMICA: ESTUDO COMPARATIVO DE SOLO ESTABILIZADO
COM CIMENTO E BETUME PARA USO EM CAMADA DE BASE DE
PAVIMENTAÇÃO**

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina TCC II do Curso de Engenharia Civil, orientado pelo Professor Especialista Fernando Moreno Suarte Junior.

Aprovada em 23 de Maio de 2017.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Esp. Fernando Moreno Suarte Junior
Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas
Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. Esp. Kenia Parente Lopes Mendonça
Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas - TO
2017

AGRADECIMENTOS

Os caminhos são difíceis e a caminhada é longa, porém, por mais árdua que seja no final sempre há a doce recompensa.

Agradeço a Deus, por nunca soltar a minha mão mesmo com minhas falhas, por me conduzir sempre pelos melhores caminhos, mantendo minha força e nunca me deixando desistir, por mais difícil que fosse.

. Dedico essa vitória às pessoas que sempre me incentivaram a seguir com a cabeça erguida mesmo diante das dificuldades. Aos meus pais, Leoni Maria Goetz Preussler e Clóvis Inácio Preussler, que não mediram esforços para manter meu sonho de pé, com força e fé, que são exemplos de profissionalismo e de amor. Ao meu irmão Clóvis Inácio Preussler Junior, que sempre me apoiou em minhas escolhas e me deu motivos para continuar minha caminhada. À minha sobrinha Anna Júlia Preussler, que foi capaz de transformar sorrisos e risadas em combustível para eu seguir em frente, que com a luz do seu olhar me deu forças quando pensei em desistir. Ao meu namorado Leonardo, que esteve comigo durante toda a caminhada me confortando em todas as ocasiões e nunca me deixou desistir.

A toda minha família que vibrou com minhas conquistas. Aos meus amigos que passaram pelas tempestades, noites em claro e aprovações ao meu lado.

Ao meu orientador, Professor Especialista Fernando Moreno Suarte Junior, por acompanhar minha caminhada, incentivar meu trabalho e acreditar no meu potencial.

RESUMO

PREUSSLER, Ana Valéria Goetz. **ESTABILIZAÇÃO QUÍMICA: ESTUDO COMPARATIVO DE SOLO ESTABILIZADO COM CIMENTO E BETUME PARA USO EM CAMADA DE BASE DE PAVIMENTAÇÃO.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil. Centro Universitário Luterano de Palmas. Palmas-TO. Professor Orientador Especialista: Fernando Moreno Suarte Júnior.

O presente trabalho apresenta um estudo sobre estabilização de solo de base utilizando duas técnicas de adição química, sendo elas, com cimento e com betume. O solo utilizado para realização deste estudo foi retirado de uma jazida, explorada por uma empresa de pavimentação, situada no município de Palmas/TO, há 12 km do centro da cidade. O levantamento das características do solo se deu através de ensaios regidos pela ABNT realizados no laboratório de solos do CEULP/ULBRA, obtendo a caracterização do solo, compactação e CBR. Após a realização destes ensaios, foram dosadas amostras adicionando cimento e emulsão ao solo, repetindo-se os ensaios de compactação e CBR. Observou-se que ao adicionar cimento ao solo houve uma melhora de mais de 20% no CBR, mantendo a massa específica aparente seca próxima à do solo de jazida. O comportamento da amostra após a adição de emulsão asfáltica foi contrário, ocasionando a diminuição significativa do CBR. Portanto, este estudo conclui que a adição de cimento à amostra contribui significativamente para a melhora da resistência, sendo uma boa alternativa para a aplicação na pavimentação.

Palavras Chave: Estabilização química; Solo; Cimento; Emulsão; Resistência; Adição.

ABSTRACT

PREUSSLER, Ana Valéria Goetz. **CHEMICAL STABILIZATION: COMPARATIVE STUDY OF STABILIZED SOIL WITH CEMENT AND BETUME FOR USE ON PAVING BASED LAYER.** 2017. 2017. Civil Engineering Course Completion Work. Academic Lutheran Center of Palmas. Palmas-TO. Specialist Teacher Advisor Fernando Moreno Suarte Júnior.

The present work presents a study on stabilization of base soil using two techniques of chemical addition, being these, with cement and with bitumen. The soil used to carry out this study was taken from a pit, operated by a paving company, located in the municipality of Palmas/TO, 12 km from the city center. The soil characteristics were surveyed through ABNT controlled trials conducted in the CEULP/ULBRA soil laboratory, obtaining soil characterization, compaction and CBR. After these tests, samples were added by adding cement and emulsion to the soil, repeating the compaction and CBR tests. It was observed that when adding cement to the soil there was an improvement of more than 20% in the CBR, keeping the apparent specific mass dry close to that of the soil of the deposit. The behavior of the sample after addition of asphalt emulsion was contrary, leading to a significant decrease of CBR. Therefore, this study concludes that the addition of cement to the sample contributes significantly to the improvement of the resistance, being a good alternative for the application in the pavement.

Keywords: Chemical Stabilization; Soil; Cement; Emulsion; Resistance; Addition.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Objetivos	15
1.1.1. Objetivo Geral	15
1.1.2. Objetivos Específicos	15
1.2. Justificativa e Importância do Trabalho	16
1.3 Hipótese	18
1.4. Estrutura do Trabalho	19
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1. HISTÓRIA DA PAVIMENTAÇÃO	20
2.2. PAVIMENTO	20
2.3. CLASSIFICAÇÃO DOS PAVIMENTOS.....	21
2.3.1. Pavimentos rígidos	21
2.3.2. Pavimentos semi-rígidos	22
2.3.3. Pavimentos flexíveis	22
2.3.4. Rodovias com revestimento terroso	23
2.4. CAMADAS DO PAVIMENTO FLEXÍVEL	23
2.4.1. Subleito	24
2.4.2. Regularização do subleito	24
2.4.3. Reforço do subleito	24
2.4.4. Sub-base	24
2.4.5. Base	25
2.4.6. Revestimento	25
2.5. ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS.....	26
2.5.1. Estabilização química	26
2.6. MATERIAIS UTILIZADOS NA BASE ESTABILIZADA	31
2.6.1. Solos.....	31
2.6.2. Betume	31
2.6.3. Cimento	32
2.7. PROPRIEDADES DO SOLO	33

2.7.1. Índices físicos.....	33
2.7.2. Características do solo	34
2.8. PROJETO DE PAVIMENTO	34
2.8.1. Projeto geométrico	34
2.8.2. Projeto de pavimentação	35
2.8.3. Projeto de drenagem.....	36
3. METODOLOGIA	39
3.1. Coleta das amostras	39
3.2. Preparação das amostras para ensaios de caracterização	39
3.3. Preparação das amostras para ensaio de compactação	40
3.4. Análise Granulométrica	40
3.5. Determinação dos Limites de Liquidez e Plasticidade	41
3.6. Ensaio de compactação.....	41
3.6.1. Determinação da massa específica aparente seca	42
3.7. Índice de Suporte Califórnia (ISC).....	42
3.8. Dosagem de amostras	43
3.8.1. Solo-cimento.....	43
3.8.2. Solo-betume.....	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
4.1. Caracterização da jazida.....	45
4.2. Coleta das amostras	46
4.3. Preparação das amostras para realização dos ensaios	48
4.3.1. Ensaios de caracterização.....	48
4.3.2. Análise granulométrica	50
4.3.3. Determinação da massa específica dos grãos	50
4.3.4. Ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade.....	51
4.3.5. Ensaio de compactação.....	51
4.4. Análise Granulométrica	53
4.5. Determinação do Limite de Liquidez	56
4.6. Determinação do Limite de Plasticidade.....	57
4.7. Índice de Plasticidade	58
4.8. Massa específica dos grãos	59
4.9. Dosagem das amostras	60
4.10. Ensaio de compactação.....	62

4.10. Índice de Suporte Califórnia (ISC).....	69
5. CONCLUSÃO	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
APÊNDICES	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise granulométrica do solo de jazida	55
Tabela 2 - Resultados do Ensaio de Compactação do solo de jazida.....	66
Tabela 3 - Massa específica aparente seca máxima e umidade ótima.....	67
Tabela 4 - Massa específica aparente seca e teor de umidade	68
Tabela 5 - Resultado do ensaio de ISC	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Corte de uma seção típica de pavimento	21
Figura 2 - Camadas do pavimento flexível	23
Figura 3 - Método de espalhar os sacos de cimento ao longo da via.....	28
Figura 4 - Base estabilizada com cimento.....	29
Figura 5 - Fases do solo	33
Figura 6 - Trincamento no revestimento causado pelo efeito da água nas camadas do pavimento	37
Figura 7 - Sistema de drenagem de uma rodovia	38
Figura 8 - Localização da jazida.....	45
Figura 9 - Vista da jazida da estrada.....	45
Figura 10 - Profundidade de escavação da jazida	46
Figura 11 - Escavação da jazida para coleta das amostras	47
Figura 12 - Poço quadrado de 1 metro de lado	47
Figura 13 - Amostras acomodadas em sacos plásticos.....	48
Figura 14 - Material espalhado para secagem ao ar	49
Figura 15 - Separação do material	49
Figura 16 - Separação da amostra em porção de 7 kg para realização dos ensaios	50
Figura 17 - Determinação da quantidade da amostra para ensaio de caracterização	50
Figura 18 - Porção de 200 g para realização dos ensaios de limite	51
Figura 19 - Escolha do tamanho do cilindro para ensaio de compactação de acordo com dimensão do solo	52
Figura 20 - Quantidade de amostra a ser utilizada	52
Figura 21 - Quantidade mínima de amostra para ensaio de granulometria.....	53

Figura 22 – Agitador e conjunto de peneiras (peneiramento grosso)	54
Figura 23 - Agitador e conjunto de peneiras (peneiramento fino)	54
Figura 24 - Curva granulométrica - Solo de jazida	55
Figura 25 - Aparelho de Casagrande	56
Figura 26 - Gráfico do Limite de Liquidez	57
Figura 27 - Execução do ensaio de Limite de Plasticidade	58
Figura 28 - Picnômetro com água e solo	59
Figura 29 - Cimento utilizado na adição.....	60
Figura 30 - Massa de emulsão utilizada na dosagem de 2%.....	61
Figura 31 - Mistura do cimento na amostra.....	61
Figura 32 - Mistura da emulsão na amostra.....	62
Figura 33 - Cilindro de CBR	62
Figura 34 - Relação entre o tamanho do cilindro, energia e tamanho do soquete para ensaio de compactação	63
Figura 35 - Colocação da amostra na bandeja para início do ensaio.....	64
Figura 36 - Mistura do material com água	64
Figura 37 - Compactação com auxílio do soquete metálico.....	65
Figura 38 - Amostra já compactada.....	65
Figura 39 - Amostras submersas em água	70
Figura 40 - Equipamento para ensaio de Índice de Suporte Califórnia	70

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Massa total da amostra seca	40
Equação 2 – Porcentagem do material passado em cada peneira.....	41
Equação 3 – Porcentagem do material passado em cada peneira.....	41
Equação 4 - Massa específica aparente seca	42
Equação 5 – Teor de cimento em peso	44
Equação 6 – Teor de emulsão em peso	44
Equação 7 – Teor de umidade (Limite de liquidez).....	57
Equação 8 – Índice de plasticidade	58
Equação 9 – Massa específica dos grãos de solo	50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva de compactação - solo de jazida	66
Gráfico 2 - Massa específica aparente seca máxima das amostras.....	67
Gráfico 3 - Umidade ótima das amostras	68
Gráfico 4 - Curvas de compactação - solo de jazida e adições	69
Gráfico 5 - Comparativo entre o CBR das amostras ensaiadas	71

1. INTRODUÇÃO

O pavimento consiste em um conjunto de camadas de solo, com espessuras dimensionadas, que tem como objetivo receber e dissipar as tensões provenientes do tráfego de veículos. O sistema básico de um pavimento conta com as camadas: base, sub-base e reforço do subleito, podendo ter revestimento ou não. A qualidade do material dessas camadas, somada a intempéries e ao volume de tráfego, diz muito sobre a vida útil do pavimento, por isso, é preciso que o dimensionamento seja feito da maneira correta e que a escolha da matéria-prima utilizada seja detalhada.

O Brasil possui graves problemas na malha viária, sendo que mais de 1,3 milhões de quilômetros de rodovias não são pavimentadas, o que equivale a 80% do total de rodovias do país. Sabendo que quase 60% do volume de cargas transportadas dentro do país escoam pelo modal rodoviário, as condições de transporte oferecidas são insuficientes, geram muitos prejuízos e encarecem demasiadamente o preço do transporte (GLOBO, 2014).

O Estado do Tocantins possui rodovias importantes para o escoamento da produção agrícola do país, porém, o Estado conta com uma malha viária com graves problemas de infraestrutura, sem manutenção e investimentos, o que compromete todo o tráfego e causa grandes prejuízos.

Por todos estes fatores, é importante o estudo de novas tecnologias que melhorem o desempenho dos pavimentos, gerando mais conforto e segurança ao usuário, prolongando a vida útil do pavimento e, principalmente, gerando economia, pois necessitará de menos manutenção.

Quando não há jazidas com material de qualidade presentes na região em que a obra está sendo executada, é necessário dosar aditivos que contribuem na resistência, coesão e outras propriedades do solo. Há diversos métodos para melhoria do pavimento, uma delas é a estabilização do solo da base dos pavimentos. A estabilização química será estudada no presente trabalho, para isso foi utilizado solo de uma jazida localizada há 12 km do centro de Palmas.

Buscar materiais que se adéquem às normativas rodoviárias brasileiras para serem usados como base de pavimentos é um grande desafio aos órgãos responsáveis. Muitas vezes faltam materiais granulares eficazes ou se encontram muito distantes do local da obra o que acaba inviabilizando o uso de pavimentos.

Assim, se faz necessária a utilização de solos de menor qualidade, estabilizando-os com adição de aglomerantes que melhorem suas propriedades.

O estudo consistirá em experimentar dois tipos de estabilização, sendo eles com cimento e com betume, caracterizando o solo da jazida escolhida, e seus efeitos para a melhoria dos mesmos. Foram utilizados dois teores de cimento e betume, testando seus efeitos, a fim de concluir qual apresentou melhorias na relação custo-benefício, levando em conta a facilidade de encontrar o produto no mercado, a facilidade de execução da aplicação e as dosagens mais econômicas.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Realizar um estudo comparativo das propriedades do solo utilizado para camada de base de pavimentação, sendo ela estabilizada com cimento e betume.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar o solo de jazida através de ensaios de granulometria, limite de liquidez e de plasticidade, compactação e Índice de Suporte Califórnia (ou CBR);
- Realizar dosagens em amostras de solo estabilizado quimicamente com cimento e betume, e definir suas propriedades de compactação e CBR;
- Apresentar os resultados da utilização de betume e cimento na estabilização do solo;
- Comparar os resultados de CBR obtidos com a aplicação de cada técnica de estabilização.

1.2. Justificativa e Importância do Trabalho

Levando em conta que o solo é um material barato e abundante na natureza, sendo utilizado na maioria das obras de engenharia, é preciso adaptá-lo às condições de uso de cada obra. Para as obras de pavimentação, o solo é a principal matéria prima, e, muitas vezes, ele não apresenta capacidade de suporte suficiente ou outras propriedades importantes para sua aplicação nesse tipo de obra. Dentre as diversas técnicas existentes para a melhoria das condições das vias de tráfego de veículos, destaca-se a estabilização química que será estudada no presente trabalho.

A mecânica dos pavimentos estuda o pavimento como um sistema em camadas que estão sujeitas a cargas dos veículos, intempéries e outras ações. Para que essa estrutura se comporte da maneira desejável, dependendo dos materiais presentes na região para compor estas camadas, é preciso que se façam reforços, a fim de prolongar a vida útil do pavimento, proporcionar conforto aos usuários, dar segurança ao tráfego e reduzir custos de execução e manutenção. Por isso, este trabalho tem a preocupação de trazer duas soluções para melhoria do solo da base do pavimento, apresentando os benefícios sociais, já que as boas condições das vias evitam acidentes e demais prejuízos (UFJF, 2009).

Com o passar dos anos e o avançado desenvolvimento tecnológico, a sociedade passou por mudanças que exigiram que a engenharia também avançasse. No entanto, no Brasil, o transporte de mercadorias ainda é, basicamente, rodoviário, por isso é necessário que as vias estejam em boas condições para bem atender a população e o fluxo. Porém, o combinado efeito das cargas dos veículos que trafegam pela via, a precipitação ou até a falta de investimentos, trazem problemas frequentes e muito comuns, como é o caso dos buracos, afundamento de trilho de rodas, atoleiros, erosões e escorregamentos de taludes, dentre outras manifestações patológicas. Para isso, é necessário que sejam feitos investimentos em novas tecnologias e estudos para conferir ao usuário das vias cada vez mais conforto, agilidade e segurança.

O presente trabalho vem como aliado para a melhora dos pavimentos, já que apresentará duas formas de estabilização de solo de base, contribuindo, assim, para o maior conhecimento do método de estabilização de solos tanto com cimento quanto com betume, enriquecendo o acervo bibliográfico desta área da engenharia.

Torna-se muito importante a realização de pesquisas que apresentam alternativas para a melhoria da trafegabilidade de estradas pavimentadas ou não, possibilitando a descoberta de materiais e técnicas alternativas, que barateie custos e facilite a execução de obras de pavimentação.

Este trabalho contribuirá para o conhecimento técnico, podendo despertar o interesse nesta área da engenharia para uma futura atuação. A realização desta pesquisa abrirá um leque de possibilidades para vida profissional, pois poderá investir em pós-graduações, especializações ou mestrado nesta área. Como acadêmico, é muito enriquecedor ter a possibilidade de investir em uma pesquisa de tamanha importância para a sociedade em geral.

1.3 Hipótese

Sabendo que a camada de base de um pavimento recebe diretamente a maior carga vertical aplicada pelos veículos que nele trafegam, é necessário que esta camada seja composta por materiais mais nobres e resistentes. Contudo, dependendo da qualidade do material das jazidas existentes na região em que está sendo realizado o pavimento, se faz necessário o uso de aditivos para melhorar as propriedades desse solo.

Conhecendo as características dos aditivos estudados no presente trabalho, o solo que tem suas partículas submetidas a ligantes asfálticos, como é o caso do betume, apresentam aumento de resistência à compressão e à tração comparada ao material de origem. Já o solo que recebe como aditivo o cimento, apresenta aumento da coesão e rigidez em relação ao solo de jazida, o que aumenta a resistência à compressão e à tração.

As bases estabilizadas com betume, em geral, são empregadas em vias de baixo volume de tráfego, sendo pouco utilizada no Brasil. Neste caso, considerando o alto preço dos derivados de petróleo, se torna inviável a aplicação de betume para a estabilização de camadas de base de pavimentos de grandes extensões e alto volume de tráfego.

Já as bases estabilizadas com cimentos, que apresenta alto índice de adesividade, após ser misturado com água e solo, formam uma superfície rígida e resistente, com bom grau de impermeabilidade. O cimento é um material abundante na engenharia civil, de fácil acesso, tornando-se uma aplicação de baixo custo inicial, pois a dosagem utilizada para esta aplicação fica entre 2 e 5% do volume de solo. Esta mistura apresenta também outras vantagens, como a minimização de pressões no subleito, pouca deformação quando submetido a carregamentos e a permanência da resistência na presença de água.

Tendo em vista essas características de cada aditivo, sugere-se que o uso do cimento para estabilização de camada de base de pavimento se faz mais eficiente comparado ao uso de betume.

1.4. Estrutura do Trabalho

O presente trabalho estrutura-se em cinco capítulos, cujo conteúdo é descrito sucintamente a seguir.

O primeiro capítulo contempla a Introdução, onde são apresentados os objetivos, geral e específicos, além da justificativa e hipótese. A introdução é responsável por explicitar o tema de forma resumida.

O segundo capítulo estrutura o referencial teórico, em que são apresentados os principais tópicos deste estudo, ou seja, apresenta as definições de pavimentação, camadas do pavimento flexível e estabilização química, por exemplo.

O terceiro capítulo é responsável por apresentar a metodologia aplicada para a realização deste estudo, contendo as normas técnicas pertinentes, a descrição dos ensaios e equipamentos utilizados, a escolha do solo para compor a amostra e também a dosagem de cimento e emulsão.

O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos através dos ensaios realizados, assim como as discussões feitas através deles, desde a caracterização da amostra até os resultados dos ensaios de CBR do solo de jazida e com adições.

Por fim, no quinto capítulo tem-se as conclusões obtidas com o estudo comparativo das adições de cimento e emulsão à amostra e as recomendações para trabalhos futuros.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. HISTÓRIA DA PAVIMENTAÇÃO

Segundo Corini *apud* Balbo (2007), o primeiro conceito de pavimentação registrado vem do Egito antigo, onde deram início à ideia de drenagem e pavimentação de vias. Para a construção das pirâmides entre 2600 e 2400 a.C, foram construídas vias com lajões justapostas em uma base de boa capacidade de suporte. Conforme Saunier (1936) *apud* Bernucci *et al* (2008), para evitar o atrito, se utilizava água, azeite ou musgo molhado.

As rodovias eram construídas por diversos fatores, entre eles vias do Estado, vias militares, vias locais e privadas. A estrutura destas rodovias se assemelha às de hoje, compostas por fundação e uma camada de superfície, que varia devido à qualidade dos materiais presentes na região (CHEVALLIER ,1976 *apud* BERNUCCI *et al*, 2008).

O primeiro registro de estradas pavimentadas não se destinou a veículos com rodas, mas trenós para o transporte de cargas (BERNUCCI *et al*, 2008).

No Brasil, a maior parte dos pavimentos é classificada como baixo conforto ao rolamento. Mesmo assim, estima-se que são gastos 1 a 2 bilhões de reais para manutenção das rodovias federais. Porém, esse investimento não é suficiente para suprir as necessidades do país. Para a recuperação total da malha viária federal seriam necessários 10 bilhões de reais em investimentos (BERNUCCI *et al*, 2008).

Dados do Geipot (2001) apresentam que cerca de 60% do transporte de mercadorias realizado no Brasil é rodoviário. Daí vem a grande necessidade de se estudar cada vez mais tecnologias para melhorar o desempenho dos pavimentos.

2.2. PAVIMENTO

Souza (1976) define o pavimento como uma superestrutura composta por camadas de materiais distintos com uma complexa interligação de suas propriedades, como resistência e deformabilidade, calculadas de acordo com as tensões e deformações solicitadas. Tudo isto é sobreposto no terreno (fundação), considerado como infra-estrutura, preparada, denominada subleito.

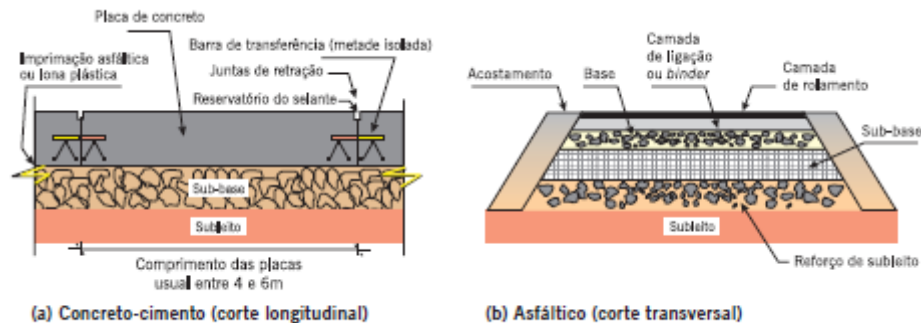
Ainda segundo Souza (1976), esta superestrutura tem o objetivo de resistir, distribuir e repassar ao subleito as cargas solicitadas à vida para qual é dimensionada, melhorando as condições de tráfego quanto à comodidade e segurança do usuário.

Bernucci *et al* (2010) define o pavimento como uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, propiciando ao usuário melhores condições de rolamento, com conforto, economia e segurança.

2.3. CLASSIFICAÇÃO DOS PAVIMENTOS

De acordo com Medina (1997) *apud* Pereira (2012) tradicionalmente os pavimentos são classificados em duas estruturas, rígidos e flexíveis, porém há outra modalidade de pavimentos sendo usada atualmente, o semi-rígido.

Figura 1 – Corte de uma seção típica de pavimento



Fonte: DNIT (2006)

2.3.1. Pavimentos rígidos

DNIT (2006) classifica do pavimento rígido como revestimento com alta rigidez se comparada às camadas inferiores. Este revestimento absorve todas as tensões do carregamento de tráfego.

Senço (1997) caracteriza o pavimento rígido como inapto à deformação, sua estrutura sofre pela tração na flexão se deformado.

2.3.2. Pavimentos semi-rígidos

Para Medina (1997), pavimento semi-rígido ocorre quando as bases são cimentadas sob o revestimento betuminoso.

DNIT (2006) segue a mesma linha de classificação, caracterizando este tipo de pavimento por base cimentada com algum tipo de aglutinante que possui propriedades cimentícias, por uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica.

2.3.3. Pavimentos flexíveis

Já o pavimento flexível, permite a possibilidade de deformação limitada, porém sem acarretar danos à estrutura. Este pavimento resiste à tração e compressão na flexão vinda da carga do tráfego, que, pode apresentar deformação permanente e rompimento por fadiga (SENÇO, 1997).

No pavimento flexível todas as camadas se deformam elasticamente quando sofrem a ação do tráfego, as cargas se distribuem nas camadas com equivalência, em forma de bulbo (DNIT, 2006).

Segundo Bernucci *et al* (2008), o revestimento asfáltico é a camada inferior que tem como função resistir diretamente às ações do tráfego transmitindo estas tensões de forma atenuada às camadas inferiores, além de impermeabilizar a estrutura do pavimento. As tensões geradas pelo tráfego afetam diretamente a camada asfáltica gerando trincamento por fadiga desta camada, e o trincamento pode surgir também por envelhecimento do ligante asfáltico, ação climática e outros.

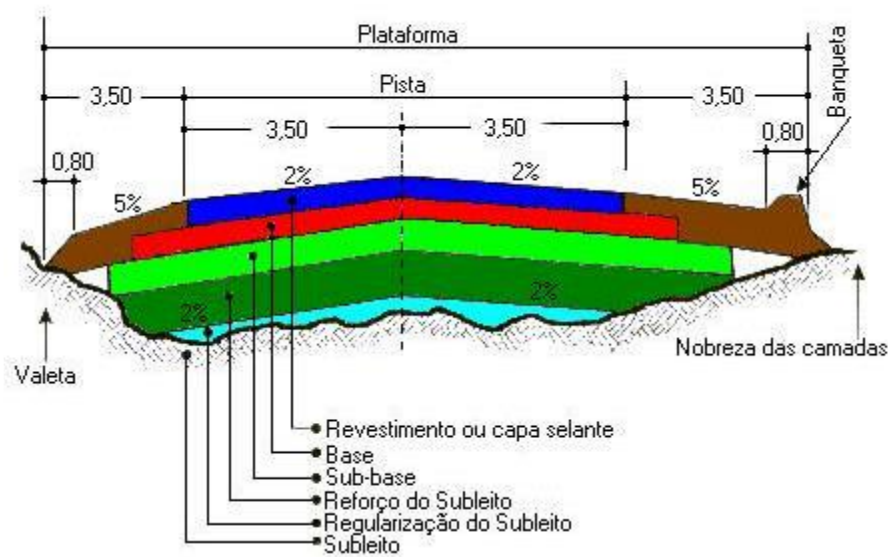
Para Bernucci *et al* (2008), o pavimento asfáltico é aquele constituído por uma mistura de agregados e ligantes asfálticos, formado, basicamente por quatro camadas: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito. Dependendo do tráfego e materiais disponíveis, algumas camadas podem se ausentar desta estrutura.

Para Marques (2006), os pavimentos flexíveis são constituídos por camadas que não trabalham à tração, geralmente com camadas de revestimento betuminoso delgado sobre a camada granular. A capacidade de carga é diretamente ligada às características de distribuição de cargas em um sistema de camadas granulares sobrepostas, sendo assim, as camadas de melhor qualidade são posicionadas mais próximas à carga.

Ainda segundo Marques (2006), o dimensionamento leva em conta as características geotécnicas dos materiais utilizados, e a definição da espessura das camadas é diretamente proporcional ao valor do CRB e do mínimo de solicitação de um eixo padrão.

A seção transversal típica pode ser observada na figura a seguir:

Figura 2 - Camadas do pavimento flexível



Fonte: Marques (2006)

2.3.4. Rodovias com revestimento terroso

As rodovias de revestimento terroso compreendem as rodovias que possuem superfície de rolamento composta por materiais do próprio leito natural da região, que podem ser melhorados ou não com outros materiais específicos (DNIT, 2005).

Essas rodovias são encontradas com frequência na zona rural e é a evolução de caminhos precários, oriundos de épocas pioneiras, em que a construção era precária (DNIT, 2005).

2.4. CAMADAS DO PAVIMENTO FLEXÍVEL

Medina (1997) afirma que as camadas de base, sub-base e reforço do subleito possuem grande importância estrutural no pavimento, pois, tendo em vista

que seu principal papel é a dissipação da energia gerada pelo tráfego, ou seja, limitar as deformações que ocorrem na estrutura do pavimento.

Sendo assim, podemos classificar as camadas do pavimento da seguinte forma:

2.4.1. Subleito

Para Marques (2006) o subleito é o terreno de fundação em que é apoiado o pavimento. Esta camada deve ser estudada até as profundidades em que atuam as cargas vindas do tráfego. O autor afirma que esta profundidade é de 0,60 a 1,50 metros. O CBR deve ser maior ou igual a 20% para ser utilizado com subleito, e, se variar entre 2 e 20% o material deve ser substituído por outro de qualidade superior. O subleito é o terreno de fundação do pavimento (SENÇO, 1997).

2.4.2. Regularização do subleito

Esta é a camada de espessura irregular, construída sobre o subleito com a função de conformá-lo, transversal e longitudinalmente. A camada de regularização deve garantir para a superfície as características geométricas do pavimento acabado. (SENÇO, 1997)

2.4.3. Reforço do subleito

O reforço do subleito é uma camada com espessura constante, construída sempre que necessário, sendo parte constituinte do pavimento e com funções de complemento da sub-base. Portanto, o reforço resiste e distribui esforços verticais. (SENÇO, 1997)

2.4.4. Sub-base

O material que constitui a sub-base deve ter características tecnológicas superiores ao material de reforço. É a camada que sobrepõe o reforço do subleito. (SENÇO, 1997)

2.4.5. Base

Esta é a camada destinada a resistir aos esforços verticais vindos do tráfego e distribuí-los nas camadas adjacentes. Encontra-se abaixo do revestimento. (SENÇO, 1997)

2.4.6. Revestimento

O revestimento asfáltico é a camada superior cuja função é resistir diretamente às ações do tráfego e transmiti-las às camadas subjacentes, de forma a atenuá-las. Possui como funções a impermeabilização do pavimento e melhorar as condições do tráfego, com conforto e segurança (BERNUCCI *et al*, 2008).

É a camada, o máximo impermeável, que sofre a ação do tráfego diretamente, destinada a aumentar o conforto e garantir a segurança do usuário da via, além de aumentar a durabilidade da estrutura resistindo aos desgastes (SENÇO, 2007).

Ainda, segundo Senço (2007), no dimensionamento, as camadas que devem ser construídas serão fixadas, seguindo a lógica de que se possui um subleito de qualidade não será necessário o uso de um pavimento muito espesso e, ainda assim a construção de camadas como o reforço ou sub-base não se fará necessário. O autor ainda ressalta que para os métodos de dimensionamento, o revestimento tem espessura adotada, seja em função de critérios próprios e/ou em função do tráfego previsto. Para as vias simples de duas faixas de tráfego e duas mãos de direção a espessuras habituais utilizadas vão de 3 a 5 cm, já para autoestradas, chega-se a espessura de até 10 cm.

Logo após a realização da camada de base, se faz necessário a realização de uma cama para o recebimento do revestimento, feita a partir de material betuminoso e agregados. Onde a aplicação do material betuminoso se faz ainda com propriedade líquida do material, existindo três tipos de pinturas: Imprimação, pintura de ligação e pintura de cura (PINTO e PREUSSLER, 2002 *apud* BERNUCCI, 2008).

2.5. ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS

Estabilização de solos é o processo em que garante ao solo maior resistência estável às cargas, desgaste ou erosão, por meio de compactação, correção de granulometria ou plasticidade e adição de substâncias que conferem coesão proveniente da aglutinação dos grãos. Para empregar-se a estabilização, observa-se que o material não dispõe de resistência adequada para ser usada como base de pavimentos (VARGAS, 1977).

Para Senço (2001), estabilizar um solo consiste em dar-lhe condições de resistir a deformações e ruptura durante o período em que exercer essas funções, em um pavimento ou outro tipo de obra.

Senço (2001) ainda exemplifica que combinar qualidades positivas de cada material é muito positivo já que se forem misturados proporções corretas de solo arenoso e solo argiloso garantirá ao pavimento a estabilização, não gerando poeira na seca e nem lama nas chuvas.

2.5.1. Estabilização química

Vogt (1971) *apud* Soliz (2007), define que o método de estabilização visa aumentar a durabilidade durante todo o ano, a resistência de um material aos esforços vindos do tráfego e aos efeitos destruidores exercidos pelas intempéries.

2.5.1.1. Solo-cimento

Quando há falta de agregados adequados na região, é necessária a utilização de outros métodos de estabilização de solo. Um deles é a adição de cimento ao solo a ser utilizado. Porém, um aditivo estabilizador só poderá ser utilizado se for economicamente viável. Por isso, se torna viável os aditivos que são produzidos industrialmente em larga escala, como é o caso do cimento Portland (VARGAS, 1977).

Pitta (1984) *apud* Almeida Filho (2008) afirma que estudos realizados pelo DESOL (Departamento de Solo-Cimento) da ABCP afirmam que a adição de cimento ao solo natural provoca alterações em suas propriedades físicas, tanto em materiais finos quanto em solos arenosos.

De forma geral, o cimento garante resistência ao solo, por meio de cimentação dos grãos ou por meio de aumento das forças coloidais que unem os grãos entre si. Este é o processo que vem sendo utilizado com mais frequência, que também pode ser utilizado, além do uso rodoviário, em taludes (VARGAS, 1977).

A estabilização com cimento Portland se dá de suas formas dependendo do objetivo, que pode ser enrijecimento do solo, em que se emprega percentuais em massa acima de 5% e é denominado de solo-cimento, ou também pode ser para melhoria parcial das propriedades, como a trabalhabilidade, que garante aumento da capacidade de suporte, adicionando 3%, denominado de solo melhorado com cimento (DNER, 1997 *apud* BERNUCCI et al, 2008).

Já para Vargas (1977), o solo cimento é obtido com mistura à massa de solo de 7 a 14% de cimento portland, pulverizado e umedecido na umidade ótima de compactação. Obtêm-se a umidade ótima através de ensaio de compactação em laboratório, sobre a mistura de solo com a porcentagem de cimento desejada.

Qualquer solo inorgânico pode ser estabilizado com cimento, porém, para que essa solução funcione de forma desejada, é necessário que esse solo apresente menos de 2% de matéria orgânica e menos de 0,2% de sulfatos, o solo também não pode conter grãos maiores que 75 mm (VARGAS, 1977).

Vargas (1977) ainda sugere, para que a eficiência da estabilização seja maior, que os solos apresentem outras características, como: a) porcentagem que passa na peneira 2" seja superior a 80%; b) porcentagem que passa na peneira número 4, superior a 50%; c) porcentagem que passa na peneira número 40 entre 100 e 15%; d) porcentagem que passa na peneira número 200 inferior a 50%; e e) limite de liquidez do ligante inferior a 45.

Para que o solo seja estabilizado com cimento economicamente, ele deve apresentar certa proporção de areia, pois, se o percentual de argila for muito alto a exigência de cimento é muito elevada, o que demasiadamente o custo, além de apresentar grande retração. O solo-cimento deve ser feito de preferência em usina, podendo também ser misturado diretamente na pista, no caso de vias de baixo volume de tráfego. A compactação deve ocorrer imediatamente após a mistura e distribuição na pista, devido à rapidez de reação de hidratação do cimento. (BERNUCCI et al, 2008)

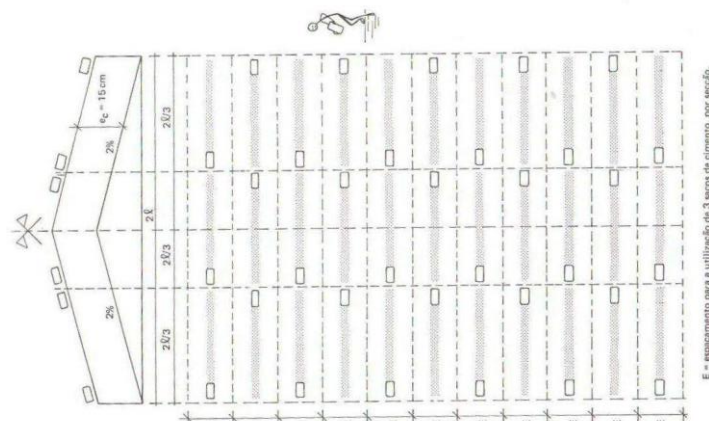
A base de solo cimento se mostra bastante resistente e durável desde que a mistura seja bem dosada, que sejam respeitados os prazos máximos de mistura,

espalhamento e compactação, que seja pequena a ocorrência de trincas por retração, e que o subleito apresente boa capacidade de suporte para que o solo cimento seja compactado de forma eficiente. O tráfego só pode ser liberado após 14 dias de cura. (BERNUCCI et al, 2008)

A dosagem do solo-cimento ocorre em corpos de prova compactados no cilindro de Proctor. O teor de cimento dos corpos de prova é fixado em valores próximos, variando para mais e para menos do valor que se pretende adotar em campo. O ensaio de compactação da mistura é o mesmo que o ensaio normal de compactação, porém, deve ser realizado rapidamente devido à hidratação do cimento. (VARGAS, 1977)

Para aplicar na via, espalha-se o solo a ser estabilizado em camada ao longo da estrada, completamente pulverizado. Depois é umedecido na umidade ótima e espalhado o cimento sobre ele. Com grades de disco ou arados é feita a mistura. Depois, é realizada a compactação seguindo o procedimento de solos naturais. A mistura também pode ser feita em indústria, e apenas aplicado na via em camadas para serem compactadas (VARGAS, 1977). A figura 3 mostra um corte em uma rodovia cuja base foi estabilizada com cimento.

Figura 3 - Método de espalhar os sacos de cimento ao longo da via



Para Senço (1997) a obtenção de uma base de solo-cimento com características adequadas requer a elaboração de um teor de cimento Portland conveniente quando misturado ao solo. A umidade ótima também se mostra como um requisito essencial para que essa mistura funcione de maneira satisfatória, pois, antes da hidratação do cimento, o solo pode ser devidamente compactado. A figura 4 mostra o comportamento de uma base estabilizada com cimento.

Figura 4 - Base estabilizada com cimento



Fonte: BERNUCCI et al (2008)

Assim, a dosagem do solo-cimento-água determinará os teores ótimos dos materiais, fornecendo informações necessárias para obter uma base dentro das normas (ALMEIDA FILHO, 2008).

2.5.1.2. Solo-betume

Este método consiste na construção de estabilização betuminosa, visando a melhoria das características do solo. O solo-asfalto é uma mistura de solo, ou solo mais agregado, com asfaltos diluídos à temperatura própria de aplicação e dosagens adequadas. Essa mistura, se compactada de forma devida, nivelada e protegida por uma camada de rolamento, apresenta boa durabilidade e trafegabilidade (SENÇO, 2001).

Para Marques (2006), o solo-betume é uma mistura de naturais betuminosos e solos argilo-siltosos ou argilo-arenosos, trabalhando como material estabilizado para base, impermeabilizando o solo e aumentando o seu suporte.

Kézdi (1979) *apud* Soliz et al (2007) afirma que a mistura de betume no solo conduz vários efeitos, entre eles: reforço de solos granulares não coesivos pela cimentação das partículas; estabilização do conteúdo de água de solos finos coesivos, tornando-os impermeáveis e reduzindo a capacidade de absorção; e, conversão de solos que possuem só resistência ao atrito em solos coesivos e impermeáveis.

Marques (2006) divide os tipos de mistura em dois: areia-betume e solo-betume. A primeira é a mais utilizada, pois tem facilidade de controle de qualidade e é economicamente competitiva. Já a segunda é de controle mais rigoroso, leva maior teor de betume e tem função de impermeabilização.

Para a determinação do teor de betume necessária para a estabilização da mistura é preciso conhecer o teor silte+argila do solo (porcentagem que passa na peneira número 200). Para isso, fixa-se esse teor, levando em conta a porcentagem de vazios e a massa específica aparente seca do solo. Nas experiências realizadas até aqui, o teor de betume varia de 4 a 7%, em peso (SENÇO, 2001).

Os solos argilosos consomem maior teor de betume que os solos arenosos, a explicação pode estar na ação ligante em contato com os grãos: já que primeiro o aglutinante envolve as partículas do solo e em seguida, as partículas de asfalto que se tocam provocam a aglutinação do conjunto, garantindo-lhe coesão. (SENÇO, 2001)

Assim como Senço (2001), Marques (2006) afirma que quanto mais fino o solo, maior será a quantidade de betume utilizada. Porém, se utilizado em excesso, diminui a estabilizada e passa a agir como lubrificante.

A adição de betume ao solo afeta suas propriedades, tanto de impermeabilização como aumentando a força de coesão do solo. Esse aumento da força alcança um valor máximo à medida que aumenta o teor de betume, porém, essa força vai diminuindo à medida que a camada de betume se torne mais espessa. (INGLES e METCALF, 1972 *apud* SOLIZ et al, 2007)

2.6. MATERIAIS UTILIZADOS NA BASE ESTABILIZADA

2.6.1. Solos

O solo é um dos mais antigos materiais utilizados na construção civil. Ele se faz presente na maioria das obras de engenharia, sendo utilizado como base de suporte para estruturas de fundações, por isso então faz-se necessário o conhecimento de suas propriedades, para que possa ser feita uma previsão de seu comportamento diante das solicitações (SARTORI, 2015).

O conhecimento de propriedades do solo como origem, distribuição dos grãos, capacidade de drenagem, compressibilidade, resistência ao cisalhamento e capacidade de carga são de suma importância para que os engenheiros civis possam aplicar os conceitos de Mecânica dos Solos em obras (SARTORI, 2015).

Para a geologia, o solo se define como o resultado da decomposição de rochas devido à ação do intemperismo (DNIT, 2006).

Fernandes (2016) afirma que os maciços terrosos são compostos por partículas minerais resultantes da desintegração física e da decomposição química de rochas, contendo ou não matéria orgânica. Os espaços que não são ocupados por partículas, são denominados poros, podendo conter água ou ar.

Para Vargas (1977), o solo na engenharia serve de apoio para a grande maioria de obras, além de servir como material constituinte delas.

Para Enamorado (1990), os materiais utilizados na pavimentação rodoviária devem possuir características apropriadas, e frequentemente os terrenos existentes no local da obra não satisfazem as especificações exigidas para sua utilização. Por isso, tem-se como solução substituir esses materiais por outros com características melhores ou corrigi-los, fazendo com que suas propriedades sejam melhoradas.

Para isso, a engenharia vem avançando nos estudos de estabilização mecânica, química ou outras, e a escolha da forma de estabilização está relacionada a diversos fatores, principalmente o econômico.

2.6.2. Betume

Senço (1997) chama de emulsão asfáltica a mistura de dois constituintes não-miscíveis, constituindo fases separadas.

UFJF (2009) define betume como uma mistura de hidrocarbonetos pesados, obtidos por processos físicos, químicos ou de forma natural. Seus derivados têm consistência variável, tem poder aglutinante e impermeabilizante.

Entende-se por betume um aglomerante orgânico, de consistência sólida, líquida ou gasosa, obtido por processo industrial (resíduo da destilação do petróleo) ou na própria natureza, completamente solúvel em bissulfeto de carbono (CS₂), e apresentando polímeros de variada composição química (SILVA, 2004).

Os materiais betuminosos são termoplásticos, ou seja, amolecem quando aquecidos, podendo ser moldados e resfriados sem perder as propriedades. São materiais que impermeabilizantes, que repelem a água, ou seja, são materiais hidrófugos. Além disso, os materiais betuminosos são inócuos, isto é, não reagem quimicamente com cargas ou agregados minerais adicionados na mistura. Por isso, podem ser reciclados. Ademais, sua ductilidade é muito influenciada pela exposição ao calor e luz solar (SILVA, 2004).

Silva (2004) ainda define outras propriedades do betume, são elas viscosidade: trata-se da resistência oposta por um fluido à deformação sob a ação de uma força. A ductilidade: é a capacidade do material se deformar sem romper ou apresentar fissuras. Massa específica: refere-se à densidade do material, de grande importância para avaliação da uniformidade e do teor de impurezas, podendo ser determinada a partir do processo de balanças hidrostáticas.

2.6.3. Cimento

Para ABCP (2002), o Cimento Portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece com a ação da água. Após endurecer, o cimento portland não se decompõe mais, mesmo com ação da água. O cimento portland foi criado por Joseph Aspdin, construtor inglês, que patentetou sua invenção em 1824. Foi batizado com esse nome devido a pedra de Portland, de cor e dureza semelhante.

O cimento é um aglomerante hidráulico produzido a partir de uma mistura de rocha calcária e argila. A calcinação dessa mistura dá origem ao clinker, um produto de natureza granulosa, cuja composição química é constituída essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, com certa proporção de outras substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego (CASTRO, 2009).

De forma geral, cimento é todo material com propriedades adesivas e coesivas, capaz de ligar fragmentos de minerais entre si de modo a formar um todo compacto (NEVILLE, 1982).

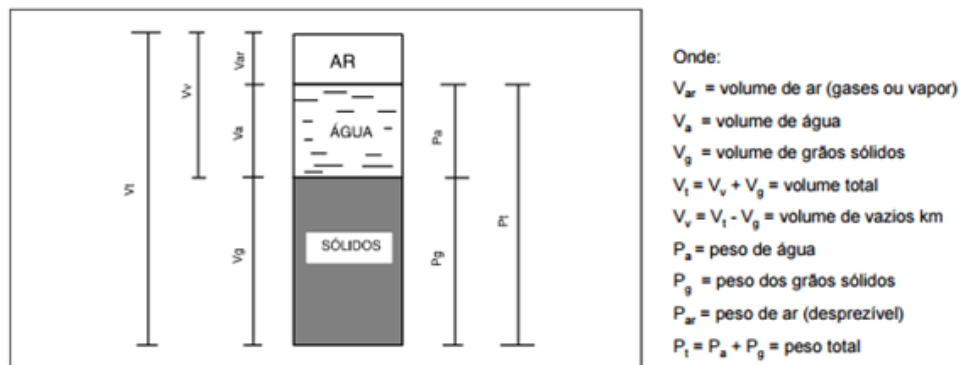
Fonseca (2010) traz que os componentes principais do cimento Portland, determinados por análise química, são: cal (CaO), sílica (SiO₂), alumina (Al₂O₃), óxido de ferro (Fe₂O₃), magnésia (MgO), álcalis (Na₂O e K₂O) e sulfatos (SO₃). Essas substâncias reagem entre si no forno, dando origem a uma série de produtos mais complexos.

2.7. PROPRIEDADES DO SOLO

2.7.1. Índices físicos

O índice físico pode ser classificado como a relação entre o volume peso das fases do solo, sendo elas: sólida, líquida e gasosa, podendo ser representados na figura 4 (DNIT, 2006):

Figura 5 - Fases do solo



Fonte: DNIT (2006)

Além disso, segundo o DNIT (2006) o solo apresenta outras propriedades importantes para a pavimentação. Entre as físicas e mecânicas, as de maior interesse no setor rodoviário são: permeabilidade, capilaridade, compressibilidade, elasticidade, contratilidade e expansibilidade, além da resistência ao cisalhamento. Sendo assim, temos, segundo o DNIT (2006):

Permeabilidade: é a propriedade que permite ao solo a passagem de água sob a ação da gravidade ou outra força. Esta propriedade é função principal do seu índice de vazios, tamanho médios dos grãos e estrutura.

Capilaridade: é o poder de absorção de água por ação da tensão superficial, inclusive opondo-se à força da gravidade.

Compressibilidade: propriedade que o solo apresenta de se deformar, diminuindo seu volume sob a ação de uma força de compressão.

Contratilidade e expansibilidade: estas duas propriedades andam juntas, são causadas pela presença e ausência de água, em oposto. A contratilidade faz com que o volume de solo seja reduzido por diminuição de umidade, já a expansibilidade faz com que o volume de solo se amplie por aumento de umidade.

Resistência ao cisalhamento: é a deformação distorcional das massas de solo.

2.7.2. Características do solo

Granulometria: esta característica é regida pela DNER –ME 051/94 e DNER – ME 080/94, em que são determinadas as porcentagens, em peso, das frações constituintes da fase sólida do solo. Pesam-se as quantidades retiradas em cada peneira e calculam-se as porcentagens que passam em cada peneira.

Limites de consistência: permite-se avaliar a plasticidade dos solos, classificando de acordo com a capacidade de serem moldados sem variação de volume, sob certas condições de umidade. São eles, limite de plasticidade (delimita o estado plástico do semi-sólido) e limite de liquidez (teor de umidade que delimita a fronteira entre o estado líquido e o estado plástico).

2.8. PROJETO DE PAVIMENTO

2.8.1. Projeto geométrico

O projeto geométrico de uma rodovia pode ser classificado como o processo de correlacionar os elementos físicos com as características de operação, frenagem, aceleração, condições de segurança e conforto, por exemplo. (PONTES FILHO, 1998)

Ainda para Filho (1998), os critérios para o projeto geométrico de estradas baseiam-se na geometria, aspectos físicos e características de operação dos

veículos. Devem incluir os cálculos teóricos, mas também resultados empíricos de análises do comportamento do motorista, reações humanas, capacidade das estradas e outras. Para a construção de uma estrada deve ser levada em conta a possibilidade técnica, a viabilidade econômica e a abrangência social.

As rodovias são necessárias para o crescimento da civilização, por isso é necessário que se escolha as melhores soluções de traçado, levando em conta o bom senso do projetista e sua experiência (PONTES FILHO, 1998).

2.8.2. Projeto de pavimentação

Os estudos geotécnicos no projeto de pavimentação são o estudo do subleito e estudos de ocorrências de materiais para pavimentação. O Estudo do subleito tem como objetivo reconhecer o solo visando à caracterização das diversas camadas e o traçado dos perfis dos solos para o projeto de pavimento (DNIT, 2006).

Já o estudo de ocorrências de materiais para pavimentação serve para reconhecer e caracterizar os materiais de jazidas utilizadas como matéria-prima da construção de diversas camadas de reforço do subleito, sub-base, base e revestimento, respeitando a necessidade de cada projeto (DNIT, 2006).

Nos estudos geotécnicos são adotadas as definições, prospecção e classificação expedida no campo através das sondagens e observação dos materiais quanto a cor, textura e consistência; camadas de solos, massas de solos contínuas e homogêneas; perfil de solos, desenho de um corte do subleito ou de uma seção de jazida até a profundidade que foi sondada, que deverá ser feita de acordo com a classificação de laboratório (DNIT, 2006).

Para a execução dos estudos geotécnicos devem ser realizados os seguintes ensaios: granulometria, limite de liquidez, limite de plasticidade, limite de construção em casos especiais de materiais do subleito; compactação; massa específica aparente; índice de suporte Califórnia e expansibilidade em solos lateríticos (DNIT, 2006).

O tráfego impõe ao pavimento cargas de acordo com o volume e tipo de veículos que transitam na rodovia. Além das ações do tráfego, os materiais asfálticos, por serem viscosos, sofrem interferência do meio, como temperatura e variação da umidade, por exemplo, por isso é importante o correto dimensionamento e utilização de materiais adequados em sua construção (MEDINA e MOTTA, 2005).

2.8.3. Projeto de drenagem

A preocupação com os efeitos da água na hora de projetar o pavimento é historicamente conhecida, havendo registros desde as estradas construídas pelo Império Romano. No Século XIX, alguns pesquisadores como Metcalf e Macadam observaram que era necessário manter o pavimento livre da umidade excessiva, a partir daí a drenagem se tornou essencial nos projetos de rodovias (AZEVEDO, 2007).

Azevedo (2007) ainda afirma que após o desenvolvimento de métodos racionais para o dimensionamento de pavimentos, foi introduzido o conceito de utilização de amostras saturadas de solo para estimar a capacidade de suporte de bases, sub-bases e subleitos.

O sistema de drenagem de uma rodovia tem como objetivo a captação, condução e deságüe das águas de forma rápida e eficiente. A água acumulada pode comprometer, por infiltração ou escoamento superficial, o conforto e a segurança dos usuários, além da durabilidade da rodovia (DNIT, 2005).

O acúmulo de água pode acarretar diversos efeitos nocivos à rodovia, seja de águas subterrâneas ou superficiais. São eles: redução da resistência ao cisalhamento, variação de volume do solo, destruição do atrito entre grãos, produção de força de arrastamento do solo devido à alta velocidade do fluxo (DNIT, 2005).

Azevedo (2007) ainda acrescenta o trincamento do revestimento, tanto asfáltico como de concreto, como um efeito nocivo do contato direto do pavimento com a água. Isso pode ser causado pela ausência de revestimento no acostamento da rodovia, o que facilita a infiltração da água, como pode ser observado na figura 6:

Figura 6 - Trincas no revestimento causado pelo efeito da água nas camadas do pavimento



Fonte: Azevedo (2007)

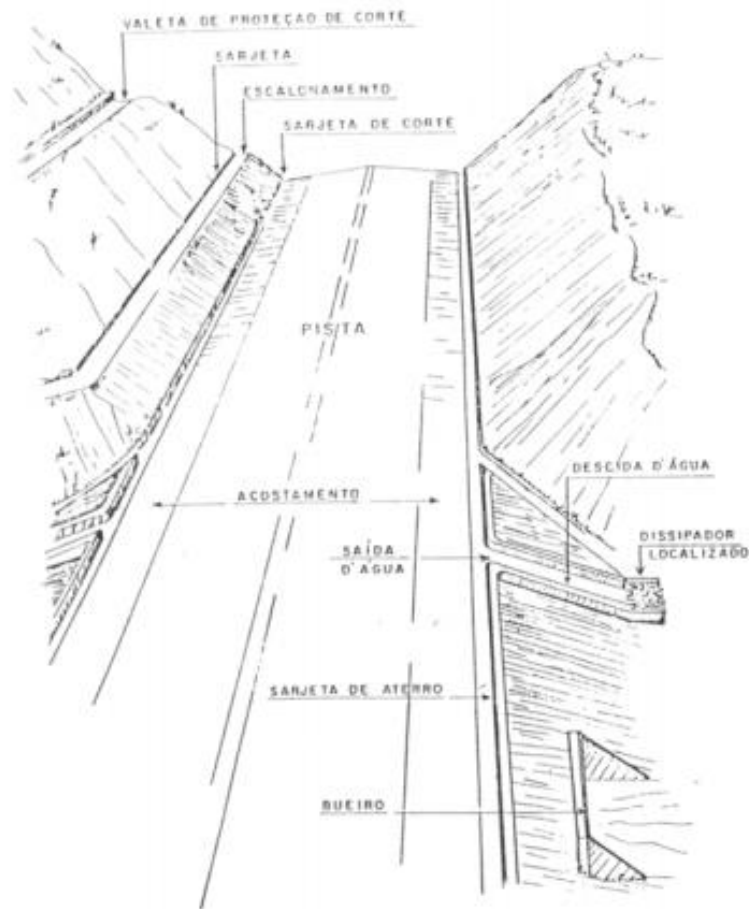
A drenagem se divide em duas categorias, a drenagem superficial e profunda:

Drenagem superficial – consiste em evitar que a fração de água de precipitação, após deduzir as perdas de evaporação e infiltração, danifique a plataforma ou atinja a estrada. Essa água, se não drenada corretamente, escorre pelas encostas ou taludes, ou sobre a pista, erodindo-os, podendo comprometer a estabilidade do maciço, dificultar o tráfego de veículos. Além disso, a água pode penetrar na base e acumular-se, causando efeitos destrutivos pelas pressões hidráulicas que as cargas dos veículos pesados transmitem, podendo causar a ruína total do pavimento (DNIT, 2005).

Sendo assim, é necessário construir mecanismos para evitar a danificação do pavimento, tais como, declividades adequadas para a seção transversal, escolha de um revestimento praticamente impermeável, sarjetas e meio-fios, bueiros, descidas d'água, dissipadores de energia, entre outros (DNIT, 2005).

Drenagem profunda – as águas subterrâneas são encontradas no subsolo em forma de lençol freático, piping ou acumuladas em fendas de rochas. Esta solução é utilizada quando, na construção das camadas da estrada, encontra-se um lençol freático, necessitando que se execute uma camada drenante ou drenos subterrâneos longitudinais, fazendo com que o fluxo de água seja interceptado e removido (DNIT, 2005). A figura 7 ilustra o sistema de drenagem em uma rodovia.

Figura 7 - Sistema de drenagem de uma rodovia



Fonte: DNIT (2005)

Para Moulton (1980) apud Azevedo (2007), a saturação da estrutura do pavimento, causada pelos fatores citados anteriormente, prejudica a sua capacidade de suporte das solicitações dinâmicas do tráfego. Nos pavimentos asfálticos, os danos aparecem com a elevada poro-pressão que ocasiona a perda de suporte das camadas não estabilizadas, sendo elas, base, sub-base e subleito, e, conseqüentemente, nas trincas do revestimento, como mostrado na figura 6.

3. METODOLOGIA

O presente trabalho trata-se de uma pesquisa experimental e laboratorial, onde foi necessário coletar amostras de solo de jazida. Esse tipo de pesquisa baseia-se na manipulação de variáveis diretamente relacionadas com o objeto de estudo, ou seja, o que a adição de cimento e betume interfere na amostra estudada. Caracteriza-se por abordagem quantitativa, já que as amostras coletadas serão submetidas a ensaios de laboratório e os dados produzidos serão traduzidos em números para classificar os efeitos de cada técnica aplicada. Foi realizado o estudo de estabilização química, utilizando cimento Portland comum (CP II – Z – 32) e betume (RR – 2C).

A metodologia objetiva-se para definir um roteiro a fim de cumprir os objetivos específicos propostos de maneira correta e coerente, dividida em etapas que serão dispostas a seguir.

3.1. Coleta das amostras

A coleta das amostras seguiu os parâmetros descritos na NBR 9604/86, que define os procedimentos para abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas. Neste trabalho foram utilizadas amostras representativas deformadas, cujo processo para coleta se dá por raspagem ou escavação, implicando na destruição da estrutura e na alteração das condições de compactação ou consistência naturais. A seção transversal mínima deve ser de 1 metro de lado no caso do poço quadrado ou de 1,2 metros de diâmetro para poço circular. A escavação deve iniciar-se após a limpeza superficial do terreno em área quadrada de 4 metros de lado.

3.2. Preparação das amostras para ensaios de caracterização

A preparação das amostras para os ensaios de caracterização seguiram os parâmetros impostos pela NBR 6457/2016, que consiste em: secar a amostra ao ar; desmanchar os torrões, para homogeneizar a amostra; reduzir a quantidade de material até se obter uma amostra representativa em quantidade suficiente para

realizar os ensaios de análise granulométrica, limite de liquidez e plasticidade, e massa específica dos grãos.

3.3. Preparação das amostras para ensaio de compactação

A preparação das amostras para ensaio de compactação ainda seguiu os parâmetros da NBR 6457/2016, que consiste em: secagem prévia até a umidade higroscópica se dá com os seguintes passos: secar a amostra ao ar, até próximo da umidade higroscópica; desmanchar os torrões, evitando-se a quebra dos grãos, a fim de homogeneizar a amostra; reduzir a quantidade do material até obter-se uma amostra representativa suficiente para realizar o ensaio.

3.4. Análise Granulométrica

O processo para análise granulométrica da amostra está especificado na NBR 6457/2016, determinando a quantidade de material necessário para o ensaio. Através deste ensaio obteve-se a distribuição das dimensões dos grãos do solo em estudo.

A elaboração da curva granulométrica depende do cálculo da massa total da amostra seca e das porcentagens de materiais grossos e finos retidos nas peneiras utilizadas. Valores obtidos de acordo com as equações 1, 2 e 3:

$$M_s = \frac{M_t - M_g}{100 + h} \times 100 + M_g \quad (1)$$

Onde:

M_s = massa total da amostra seca;

M_t = massa da amostra seca ao ar;

M_g = massa do material seco retido na peneira de 2,0 mm;

h = umidade higroscópica do material passa na peneira de 2,0 mm.

$$Q_g = \frac{M_s - M_i}{M_s} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

Qg = porcentagem do material passado em cada peneira;

Ms = massa total da amostra seca;

Mi = massa do material retido acumulado em cada peneira.

$$Qf = \frac{Mh \times 100 - Mi(100 + h)}{Mh \times 100} \times N \quad (3)$$

Onde:

Qf = porcentagem do material passado em cada peneira;

Mh = massa do material úmido submetido ao peneiramento fino;

h = umidade higroscópica do material;

Mi = massa do material retido acumulado em cada peneira;

N = porcentagem de material que passa na peneira de 2,0 mm.

3.5. Determinação dos Limites de Liquidez e Plasticidade

A NBR 6459/1984 descreve os procedimentos para a determinação do limite de liquidez. Já o ensaio de determinação do limite de plasticidade é estabelecido pela NBR 7180/1984. A quantidade e preparação do material que foi tomado para a realização destes ensaios é estabelecida pela NBR 6457/2016.

3.6. Ensaio de compactação

Este ensaio é regido pela NBR 7182/1988, que determina o método para determinação da relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca de solos quando compactados. Para este ensaio foram necessários os seguintes equipamentos: balança de precisão; peneiras de 19 e 4,8 mm; estufa; cápsulas metálicas, para determinar a umidade; badeiras metálicas, régua de aço de 30 cm; espátulas de lâmina flexível com 10 e 2 cm de largura e 12 cm de comprimento; cilindro metálico grande (cilindro de CBR); soquete grande; provetas de vidro graduadas; papel filtro.

A escolha dos equipamentos é realizada de acordo com as características inerentes a cada energia. O cilindro pequeno só pode ser utilizado quando a amostra, após ser peneirada, passar integralmente na peneira de 4,8 mm.

O procedimento consiste em preparar o cilindro, espalhar a amostra na bandeja e adicionar a quantidade de água necessária, homogeneizar a amostra, adicionar o solo no cilindro em camadas e aplicar golpes com o auxílio do soquete metálico.

3.6.1. Determinação da massa específica aparente seca

Através deste ensaio, pôde-se determinar a massa específica aparente seca da amostra, que é feita após a retirada de uma pequena porção levada à estufa. A determinação da massa específica aparente seca é obtida através da equação 4, descrita abaixo:

$$\gamma_s = \frac{S}{\frac{h}{\delta a} + \frac{S}{\delta}} \quad (4)$$

Onde:

γ_s = massa específica aparente seca (g/cm³);

S = grau de saturação, igual a 100%;

h = teor de umidade, arbitrado na faixa de interesse (%);

δ = massa específica dos grãos do solo, determinada de acordo com a NBR 6508 ou NBR 6458 (g/cm³);

δa = massa específica da água (g/cm³).

A curva de compactação foi obtida utilizando-se coordenadas cartesianas, onde na abscissa contêm os teores de umidade (h), e na ordenada as massas específicas aparentes secas encontradas (γ_s).

O teor de umidade ótima é encontrado através da curva de compactação, onde é expressa pelo ponto em que a massa específica aparente seca é máxima.

3.7. Índice de Suporte Califórnia (ISC)

O ensaio para obtenção do valor do Índice de Suporte Califórnia é determinado de acordo com a NBR 9895/1987, que prevê a utilização de cinco amostras deformadas sem reuso. Repete-se o processo do ensaio de compactação, submergem-se os corpos de prova em água por 96 horas, levando-os para a prensa para o ensaio de penetração.

3.8. Dosagem de amostras

Após a realização de todos os ensaios de caracterização, compactação e Índice de Suporte Califórnia, ensaios estes necessários para garantir o profundo conhecimento sobre as características do solo coletado da jazida. Foi necessário moldar os corpos de prova dosados e realizar novamente os ensaios anteriormente descritos. Assim, podemos obter informações entre os dois métodos, com e sem estabilização química, e, comparar os resultados para concluir as vantagens de cada um.

3.8.1. Solo-cimento

Para a realização dos ensaios de estabilização química foi necessário preparar 5 amostras de cada tipo de estabilização estudada no presente trabalho. Na estabilização com cimento, foram adicionadas à amostra diferentes porcentagens de cimento Portland CP II – Z – 32 e realizados os ensaios para definir sua eficiência com relação à melhoria da resistência do solo de base do pavimento. É necessário criar curvas de compactação para cada porcentagem.

Os teores de cimento empregados no presente trabalho seguiram os parâmetros dispostos na Norma do DNIT 142/2010 – ES, que tem como objetivo estabelecer a metodologia empregada na execução de camada de base utilizando solo melhorado com cimento. Os teores usuais de cimento estão situados na faixa de 2 a 4%, em peso, em relação ao total da mistura. Por isso, os teores empregados foram 2 e 4%.

Sendo assim, propõe-se que a obtenção dos teores de cimento em peso a serem adicionados ao solo se dá entre a relação percentual da massa de solo seco e a massa de cimento existente na mistura. Assim podemos obter na equação 5:

$$Cp = \frac{Mci}{Ms} \times 100\% \quad (5)$$

Onde:

Cp = Teor de cimento em peso;

Mci = Massa de cimento;

Ms = Massa do solo seco;

3.8.2. Solo-betume

Neste trabalho foi utilizada a emulsão catiônica de ruptura rápida (RR-2C). A dosagem foi feita de acordo com estudos de GANDOLFI e CARDOSO (2013), visto que não existem especificações em normas. Sendo assim, os teores adotados foram de 2% e 4%. A quantidade de emulsão em peso a ser utilizada pôde ser obtida através da equação 6. É preciso ter atenção quanto à quantidade de betume a ser utilizado, pois se utilizado em excesso, diminui a estabilidade e age como lubrificante.

Após a dosagem das amostras, procedeu-se com os ensaios de compactação e Índice de Suporte Califórnia.

$$Ep = \frac{Me}{Ms} \times 100\% \quad (6)$$

Onde:

Ep = Teor de emulsão em peso;

Me = Massa de emulsão;

Ms = Massa do solo seco;

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Caracterização da jazida

O local escolhido para a coleta das amostras se trata de uma jazida utilizada atualmente para pavimentação da via NS 15 na região norte de Palmas/TO. A jazida se localiza a 12 km do centro da cidade, conforme mostra imagem de satélite retirada do Google Earth na figura 8. Já a figura 9 mostra a vista geral da jazida.

Figura 8 – Croqui de localização da jazida



Fonte: Google Earth (2017)

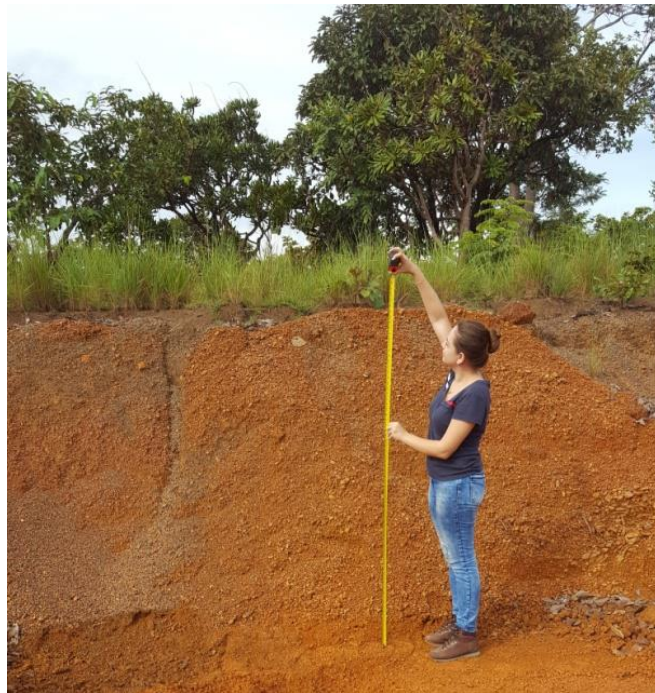
Figura 9 - Vista da jazida da estrada



Fonte: Autor (2017)

Como se trata de uma jazida em plena utilização por uma empresa de pavimentação, o processo de coleta do solo que compõem as amostras foi simplificado, não houve a necessidade de escavar 1 metro para retirada de matéria orgânica, conforme definido na norma, pois o local já estava escavado cerca de 1,80 metros de profundidade, conforme mostrado na figura 10, todas as exigências da norma foram seguidas. A coleta das amostras seguiu os parâmetros descritos na NBR 9604/86, que define os procedimentos para abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras indeformadas e deformadas.

Figura 10 - Profundidade de escavação da jazida



Fonte: Autor (2017)

4.2. Coleta das amostras

Neste trabalho foram utilizadas amostras representativas deformadas, cujo processo para coleta se deu por raspagem, implicando na destruição da estrutura e na alteração das condições de consistência natural. A escavação foi realizada em poço quadrado de 1 metro de lado. A escavação iniciou-se após a limpeza superficial do terreno para retirar a matéria orgânica, como mostrada nas figuras 11 e 12.

Figura 11 - Escavação da jazida para coleta das amostras



Fonte: Autor (2017)

Figura 12 - Poço quadrado de 1 metro de lado



Fonte: Autor (2017)

As amostras foram coletadas em quantidades variadas e acomodadas em sacos plásticos resistentes, conforme figura 13:

Figura 13 - Amostras acomodadas em sacos plásticos.



Fonte: Autor (2017)

4.3. Preparação das amostras para realização dos ensaios

4.3.1. Ensaio de caracterização

A preparação das amostras para o ensaio de caracterização seguiu os parâmetros da NBR 6457/2016, o passo a passo está descrito a seguir:

- Secagem da amostra ao ar, conforme figura 14;
- Desmanche dos torrões, para homogeneizar a amostra;
- Separou-se o material grosso do material fino, utilizando-se as peneiras 4,8 mm e 19,1 mm, como exposto na figura 15;
- Redução em quantidade menor até obter amostra representativa suficiente para realização dos ensaios, como mostrado na figura 16, onde o material separado foi para o ensaio de compactação.

Figura 14 - Material espalhado para secagem ao ar



Fonte: Autor (2017)

Figura 15 - Separação do material



Fonte: Autor (2017)

Figura 16 - Separação da amostra em porção de 7 kg para realização dos ensaios



Fonte: Autor (2017)

4.3.2. Análise granulométrica

- Tomou-se uma fração reduzida da amostra;
- Passou-se pela peneira de 76 mm, desprezando-se o material retido;
- Tomou-se uma quantidade de 4 kg, estabelecida de acordo com a dimensão dos grãos maiores, conforme indicado na tabela contida na figura 17.

Figura 17 - Determinação da quantidade da amostra para ensaio de caracterização

Dimensões dos órgãos maiores contidos na amostra, determinadas por observação visual	Quantidade mínima a tomar
mm	kg
< 5	1
5 a 25	4
> 25	8

NOTA 1 O material assim obtido constitui a amostra a ser ensaiada.
 NOTA 2 O valor da massa específica dos grãos, a ser utilizado no cálculo de análise granulométrica por sedimentação, é determinado a partir de cerca de 500 g de material passado na peneira de 2,0 mm.

Fonte: NBR 6457/2016

4.3.3. Determinação da massa específica dos grãos

- Tomou-se uma fração de 500 g da amostra seca, reduzida anteriormente;
- Passou-se na peneira de 2,0 mm.

4.3.4. Ensaio de limite de liquidez e limite de plasticidade

- Tomou-se uma fração da amostra reduzida anteriormente;
- Passou-se na peneira de 0,42 mm até obter cerca de 200 g de material passado, determinando assim, a amostra a ser ensaiada, assim como mostra a figura 18.

Figura 18 - Porção de 200 g para realização dos ensaios de limite



Fonte: Autor (2017)

4.3.5. Ensaio de compactação

A preparação das amostras para o ensaio de compactação seguiu os parâmetros da NBR 6457/2016, o passo a passo será descrito a seguir:

- Secagem da amostra ao ar, até próximo da umidade higroscópica;
- Desmanchar os torrões, evitando-se a quebra dos grãos, a fim de homogeneizar a amostra;
- Redução da quantidade do material até obter-se uma amostra representativa suficiente para realizar o ensaio, passos estes que já foram descritos anteriormente;

- Determinação do tamanho do cilindro de acordo com a tabela presente na figura 19:

Figura 19 - Escolha do tamanho do cilindro para ensaio de compactação de acordo com dimensão do solo

Peneira mm	Material retido % em peso	Cilindro a ser utilizado no ensaio	Observação
4,8	Menor que 7	Grande ou pequeno	Desprezar o material retido
19,1	Menor que 10	Grande ou pequeno	Desprezar o material retido
19,1	Maior que 10	Grande ou pequeno	Ver ^a
19,1	Maior que 30	–	Recomenda-se não ensaiar de acordo com o método de ensaio de compactação de solos (Ver ABNT NBR 7182)

^a Passar o material retido na peneira de 19,1 mm através da peneira de 76,2 mm e desprezar o material retido nesta última. Substituir o material retido na peneira de 19,1 mm e que passe na peneira de 76,2 mm por igual quantidade de material retido na peneira de 4,8 mm e que passe na peneira de 19,1 mm.

Fonte: NBR 6457/2016

O cilindro utilizado para este ensaio de compactação foi o de tamanho grande, já que de acordo com a granulometria o material retido na peneira 19,1 mm foi de 5,15%, sendo que este material foi desprezado para a realização do ensaio de compactação, utilizando-se assim 35 Kg de material para os ensaios conforme a figura 20, pois foram utilizados 5 cilindros grandes, cada um com 7 Kg.

Figura 20 - Quantidade de amostra a ser utilizada

Ensaio de compactação	A amostra preparada passa integralmente na peneira mm	Cilindro a ser utilizado no ensaio	Quantidade de amostra (em massa seca) a ser tomada) kg
Com reuso de material	4,8	Pequeno Grande	3 7
	19,1	Grande	7
Sem reuso de material	4,8	Pequeno Grande	15 35
	19,1	Grande	35

Fonte: NBR 6457/2016

4.4. Análise Granulométrica

A NBR 6457/2016 determina a quantidade de material necessário para o ensaio de granulometria. Essa quantidade, de acordo com a dimensão dos grãos maiores contidos na amostra, foi de 4 kg, como mostrado na tabela da figura 21.

Figura 21 - Quantidade mínima de amostra para ensaio de granulometria

Dimensões dos órgãos maiores contidos na amostra, determinadas por observação visual mm	Quantidade mínima a tomar kg
< 5	1
5 a 25	4
> 25	8

NOTA 1 O material assim obtido constitui a amostra a ser ensaiada.
NOTA 2 O valor da massa específica dos grãos, a ser utilizado no cálculo de análise granulométrica por sedimentação, é determinado a partir de cerca de 500 g de material passado na peneira de 2,0 mm.

Fonte: NBR 6457/2016

Para o ensaio de análise granulométrica foi utilizada como parâmetro a NBR 7181/1984. Sendo assim, o ensaio foi realizado da seguinte forma:

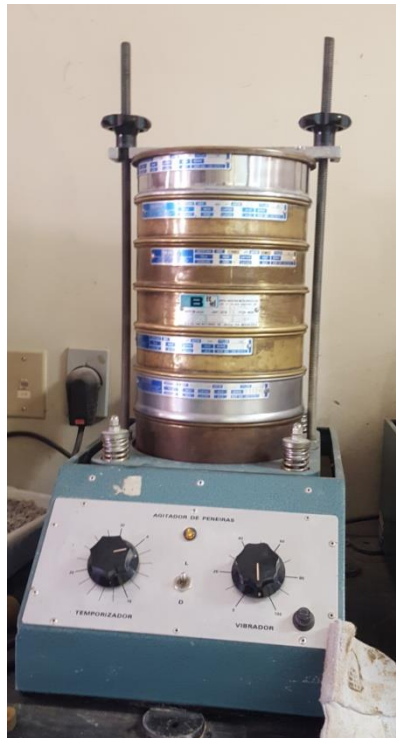
- 1) Foi tomada a quantidade de 4 kg de amostra e passou-se na peneira 2,0 mm. Analisando o solo retido no peneiramento grosso e o solo passante no peneiramento fino. O peneiramento foi feito com o auxílio do agitador de peneiras e conjunto de peneiras, de acordo com NBR NM ISO 3310-1 e NBR NM ISO 3310-2.
- 2) Para o peneiramento grosso foi utilizado o material retido lavado e seco em estufa. Após isto, utilizou-se o agitador mecânico e passou-se este material nas peneiras de 50, 38, 25, 19, 9,5 e 4,8 mm, conforme figura 22, tomando nota das massas retidas acumuladas em cada peneira.
- 3) Para o peneiramento fino, tomou-se o material e passou-se nas peneiras de 1,2; 0,6; 0,42; 0,25; 0,15 e 0,075 mm, conforme figura 23, tomando nota das massas retidas em cada peneira.
- 4) A elaboração da curva granulométrica depende do cálculo da massa total da amostra seca e das porcentagens de materiais grossos e finos retidos nas peneiras utilizadas.

Figura 22 – Agitador e conjunto de peneiras (peneiramento grosso)



Fonte: Autor (2017)

Figura 23 - Agitador e conjunto de peneiras (peneiramento fino)



Fonte: Autor (2017)

As características granulométricas da amostra podem ser observadas na tabela 1:

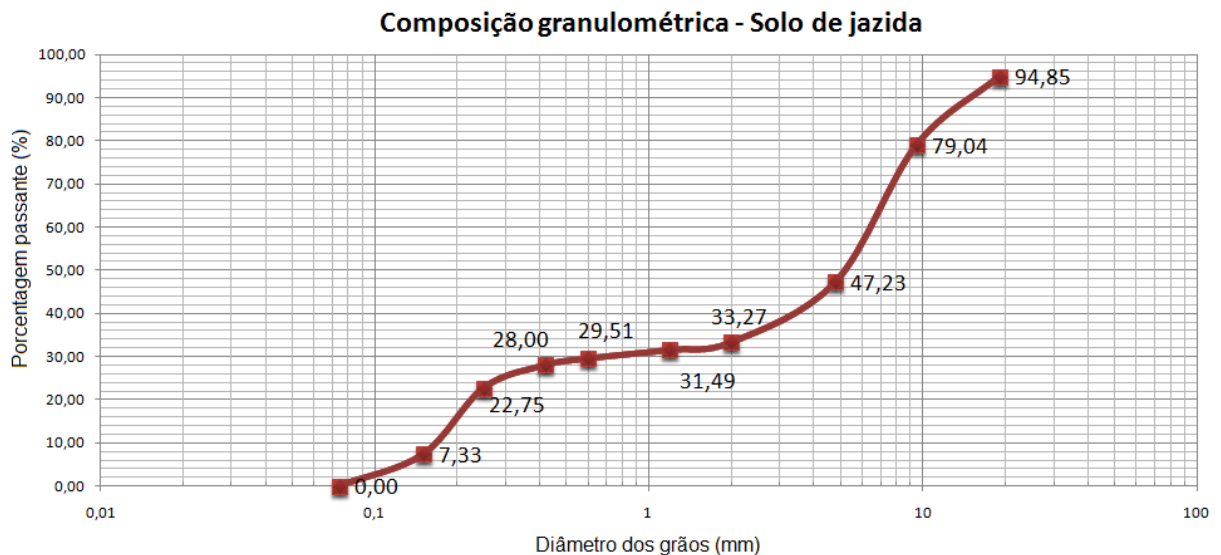
Tabela 1 - Análise granulométrica do solo de jazida

Peneira	Diâmetro (mm)	Peso da Amostra Seca (g)		% Passante
		Retido	Passante	
Peneiramento grosso				
2"	50,8	0,00	2928,80	100,00
1 1/2"	38,1	0,00	2928,80	100,00
1"	25,4	0,00	2928,80	100,00
3/4"	19,0	150,80	2778,00	94,85
3/8"	9,5	463,20	2314,80	79,04
Nº 4	4,8	931,60	1383,20	47,23
Nº 10	2,0	408,80	974,40	33,27
Peneiramento fino				
Nº 16	1,19	52,00	922,40	31,49
Nº 30	0,59	58,00	864,40	29,51
Nº 40	0,42	44,40	820,00	28,00
Nº 50	0,25	153,60	666,40	22,75
Nº 100	0,15	451,60	214,80	7,33
Nº 200	0,075	214,80	0,00	0,00

Fonte: Autor (2017)

Com os dados obtidos neste ensaio, foi possível construir a curva granulométrica, mostrada na figura 24, através das equações 1, 2 e 3.

Figura 24 - Curva granulométrica - Solo de jazida



Fonte: Autor (2017)

Assim, de acordo com a classificação da ABNT, pode-se verificar que o material é composto por 22,75% de areia fina (0,06 – 0,2 mm), 8,74% de areia média (0,2 – 0,6 mm), 1,78% de areia grossa (0,6 – 2 mm), 45,77% de pedregulho fino (2,0 – 6,0 mm) e 20,96% de pedregulho médio e grosso (> 6,0 mm).

4.5. Determinação do Limite de Liquidez

A NBR 6459/1984 descreve os procedimentos para a determinação do limite de liquidez.

Tomou-se 100 g do material separado segundo NBR 6457/2016, passado por secagem prévia.

- 1) Colocou-se a amostra em uma cápsula, adicionando pequena porção de água, misturando o solo e o tornando uma pasta homogênea.
- 2) Colocou-se o solo no aparelho de Casagrande e abrindo uma ranhura no mesmo com o cinzel, aplicou-se golpes até a amostra fechar-se. Repetiu-se o processo até que a amostra fechou-se com 25 golpes, determinando, assim, a umidade do limite de liquidez. A realização deste ensaio pode ser observada na figura 25.

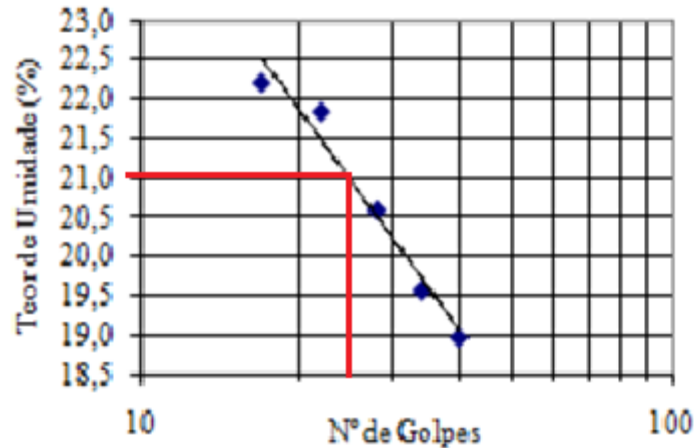
Figura 25 - Aparelho de Casagrande



Fonte: Autor (2017)

A figura 26 mostra o gráfico obtido após ensaio de limite de liquidez, com o aparelho de Casagrande:

Figura 26 - Gráfico do Limite de Liquidez



Fonte: Autor (2017)

Através deste gráfico, pôde-se determinar o índice de liquidez da amostra, cruzando os dados de 25 golpes para encontrar o teor de umidade. Assim, o teor de umidade do limite de liquidez, obtido através da equação 7 é de 21%. Segundo Marques (2006), o solo pode ser classificado como material de base, pois o limite de liquidez é menor ou igual a 25%.

$$y = -4,046 \ln(x) + 33,972 \quad (7)$$

Onde:

y = Teor de umidade (%);

x = Número de golpes (25 golpes).

4.6. Determinação do Limite de Plasticidade

O ensaio para determinação do limite de plasticidade é estabelecido pela NBR 7180/1984. Tomou-se 100 g do material, de acordo com NBR 6457/2016.

- 1) Colocou-se o solo em uma cápsula e misturou-se com água, a fim de formar uma mistura homogênea.
- 2) Separou-se cerca de 10 g da amostra e rolou-se a mesma com a palma da mão sobre uma placa de vidro, obtendo-se um cilindro de 3 mm de diâmetro de 100 mm de comprimento, conforme figura 27.

- 3) Quando o material se fragmentou com as dimensões mencionadas anteriormente, o solo foi transferido imediatamente para um recipiente, para, assim, obter a umidade. Este processo deve ser realizado 3 vezes e deve apresentar variação inferior a 5% da média. Sendo que o limite de plasticidade é encontrado pela média entre os resultados.

Figura 27 - Execução do ensaio de Limite de Plasticidade



Fonte: Autor (2017)

Quando o solo se encontra em estado plástico ele perde a capacidade de fluir, por isso conserva sua forma e pode ser moldado facilmente. Este ensaio determina o cálculo do teor de umidade em que o solo começa a se fraturar quando moldado na forma de um cilindro de 3 mm de diâmetro por 10 cm de comprimento. Sendo assim, o teor de umidade do limite de plasticidade é de 16,27%.

4.7. Índice de Plasticidade

O índice de Plasticidade da amostra foi obtido através da equação 8, onde levou-se em conta o limite de liquidez e o limite de plasticidade.

$$IP = LL - LP \quad (8)$$

IP = Índice de Plasticidade

LL = Limite de Liquidez

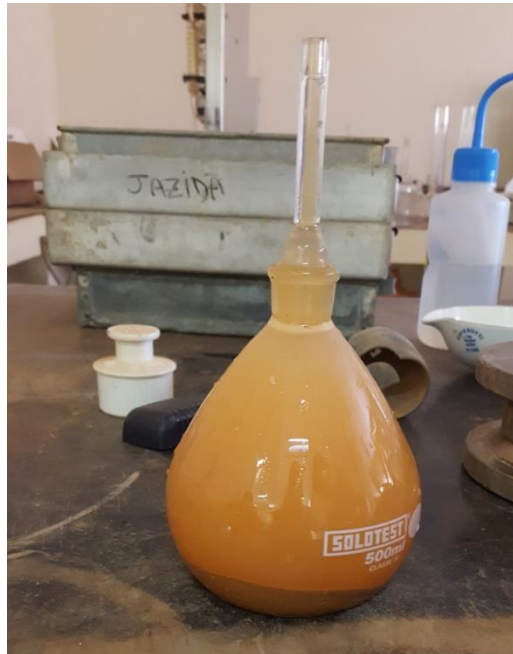
LP = Limite de Plasticidade

Através da equação 8, obteve-se um Índice de Plasticidade de 4,7%, que, segundo Marques (2006), pode ser classificado como material de base, pois o IP é menor ou igual a 6%.

4.8. Massa específica dos grãos

O ensaio para determinação da massa específica dos grãos é regido pela NBR 6508/1984, que consiste em preparar as amostras previamente de acordo com NBR 6457/2016 para o início do ensaio. Homogeneizou-se a amostra de 50 g, misturou-se água em quantidade suficiente para preencher o picnômetro de 500 cm³, deixou-se a amostra descansar e depois disso obteve-se o peso do conjunto. Assim como o peso do picnômetro com água. A figura 28 mostra o picnômetro contendo a mistura de solo com água.

Figura 28 - Picnômetro com água e solo



Fonte: Autor (2017)

A equação 9 mostra o procedimento para a obtenção da massa específica dos grãos do solo:

$$\delta = \frac{M1 \times 100 / (100 + h)}{\left[M1 \times \frac{100}{100 + h} \right] + M3 - M2} \times \delta T \quad (9)$$

Onde:

δ = Massa específica dos grãos de solo (g/cm³);

$M1$ = Massa do solo úmido;

$M2$ = Massa do picnômetro + solo + água, na temperatura do ensaio;

$M3$ = Massa do picnômetro cheio de água, na temperatura do ensaio;

h = umidade inicial da amostra;

δT = Massa específica da água;

4.9. Dosagem das amostras

A dosagem das amostras de solo com adição de cimento aconteceu de acordo com a Norma do DNIT 142/2010 – ES, onde foram fixadas duas porcentagens de cimento em relação à massa da amostra. Os teores foram 2% e 4%, sendo 100 g e 200 g de cimento, respectivamente, assim como pode ser observado na figura 29.

Figura 29 - Cimento utilizado na adição



Fonte: Autor (2017)

Para a dosagem de emulsão, foi utilizado o estudo de GANDOLFI e CARDOSO (2013), fixando teores de 2% e 4%, em massa, sendo 140 g e 280 g de emulsão, respectivamente, como mostra a figura 30.

Figura 30 - Massa de emulsão utilizada na dosagem de 2%



Fonte: Autor (2017)

Após a dosagem das amostras, foram realizados ensaios de compactação e Índice de Suporte Califórnia, a mistura das adições pode ser observada nas figuras 31 e 32:

Figura 31 - Mistura do cimento na amostra



Fonte: Autor (2017)

Figura 32 - Mistura da emulsão na amostra

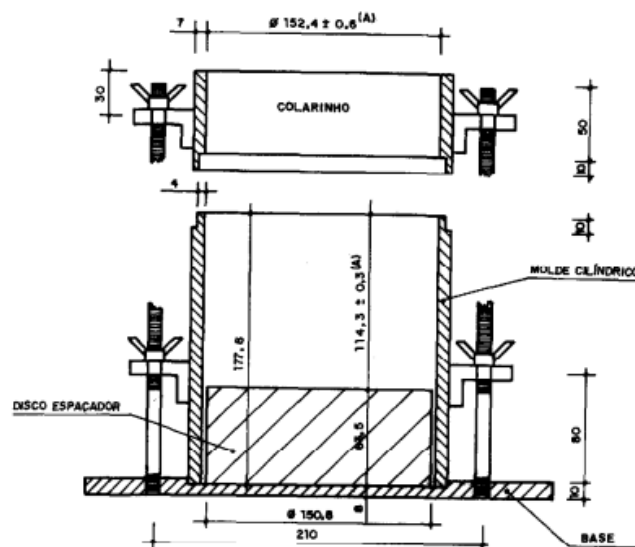


Fonte: Autor (2017)

4.10. Ensaio de compactação

Este ensaio é regido pela NBR 7182/2016, que determina o método para determinação da relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca de solos quando compactados. Para este ensaio foram necessários os seguintes equipamentos: balança de precisão; peneiras de 19,1 e 4,8 mm; estufa; cápsulas metálicas; badeiras metálicas, régua de aço de 30 cm; espátulas; cilindro metálico grande (cilindro de CBR), conforme figura 33; soquete grande; provetas de vidro graduadas; papel filtro.

Figura 33 - Cilindro de CBR



Fonte: NBR 7182/2016

A escolha dos equipamentos e execução foi de acordo com as características inerentes a cada energia, conforme assinalado na figura 34.

Figura 34 - Relação entre o tamanho do cilindro, energia e tamanho do soquete para ensaio de compactação

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

Fonte: NBR 7182/2016

Os procedimentos para a realização deste ensaio seguiram os seguintes passos:

- Tomou-se a amostra de 7 kg, preparada previamente em 5 porções iguais;
- Utilizou-se o cilindro grande, com energia intermediária;
- Preparou-se o molde cilíndrico na base rígida, juntamente com o cilindro complementar;
- Colocou-se o filtro de papel, para evitar a aderência do solo compactado com a superfície metálica na base;
- Adicionou-se água, com auxílio da proveta de vidro, revolvendo continuamente o material na bandeja. A quantidade de água em cada amostra pode ser observada no apêndice;
- Após a homogeneização do material, procedeu-se com a compactação, adicionando o solo no cilindro dividido sem 5 camadas e compactando com o soquete;
- Após a compactação, o cilindro complementar foi retirado e o excesso de solo foi retirado com o auxílio da régua;

- O cilindro foi removido da base e pesado;
- Uma pequena porção da amostra foi retirada para determinação do teor de umidade de acordo com a NBR 6457/2016;

O procedimento realizado pode ser observado nas figuras 35 a 38, dispostas a seguir:

Figura 35 - Colocação da amostra na bandeja para início do ensaio



Fonte: Autor (2017)

Figura 36 - Mistura do material com água



Fonte: Autor (2017)

Figura 37 - Compactação com auxílio do soquete metálico



Fonte: Autor (2017)

Figura 38 - Amostra já compactada



Fonte: Autor (2017)

Através do ensaio de compactação realizado no solo de jazida foram obtidos cinco teores de umidades e respectivas massas específicas calculadas, assim como mostra a tabela 2, podendo concluir que a massa específica aparente seca do solo de jazida é de 1,81 g/cm³ e um teor de umidade ótima de 12,20%.

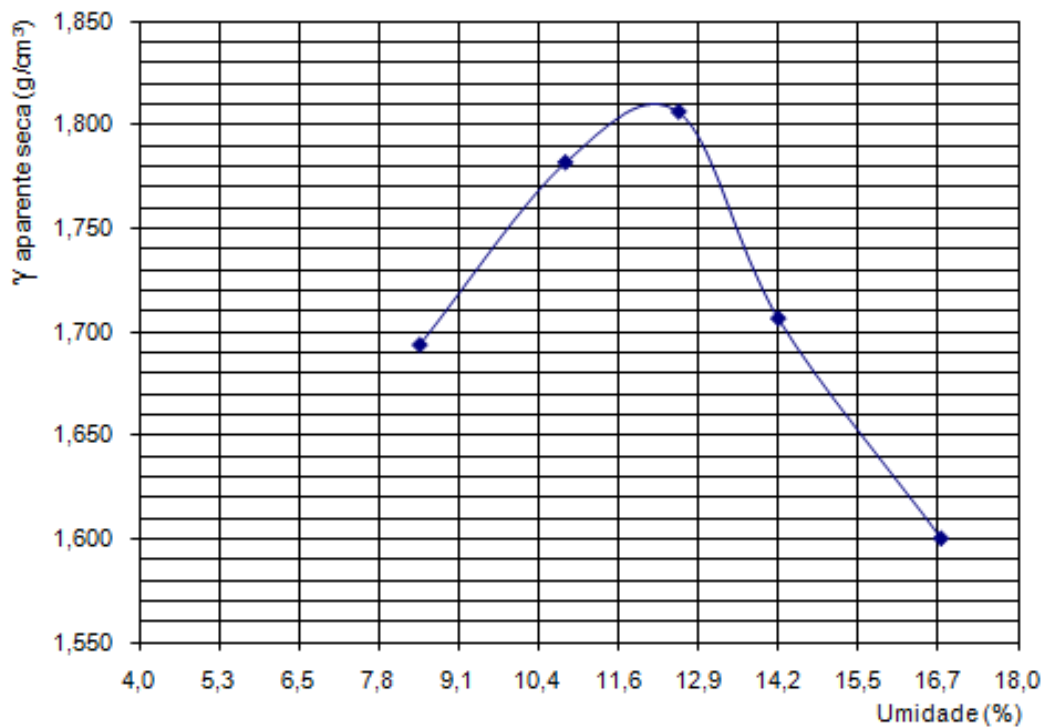
Tabela 2 - Resultados do Ensaio de Compactação do solo de jazida

γ_{seca} (g/cm ³)	Teor de Umidade (%)
1,690	8,50
1,730	10,80
1,810	12,60
1,710	14,20
1,600	16,80

Fonte: Autor (2017)

Sendo assim, pode-se obter o gráfico de compactação, que é mostrado no gráfico 1:

Gráfico 1 - Curva de compactação - solo de jazida



Fonte: Autor (2017)

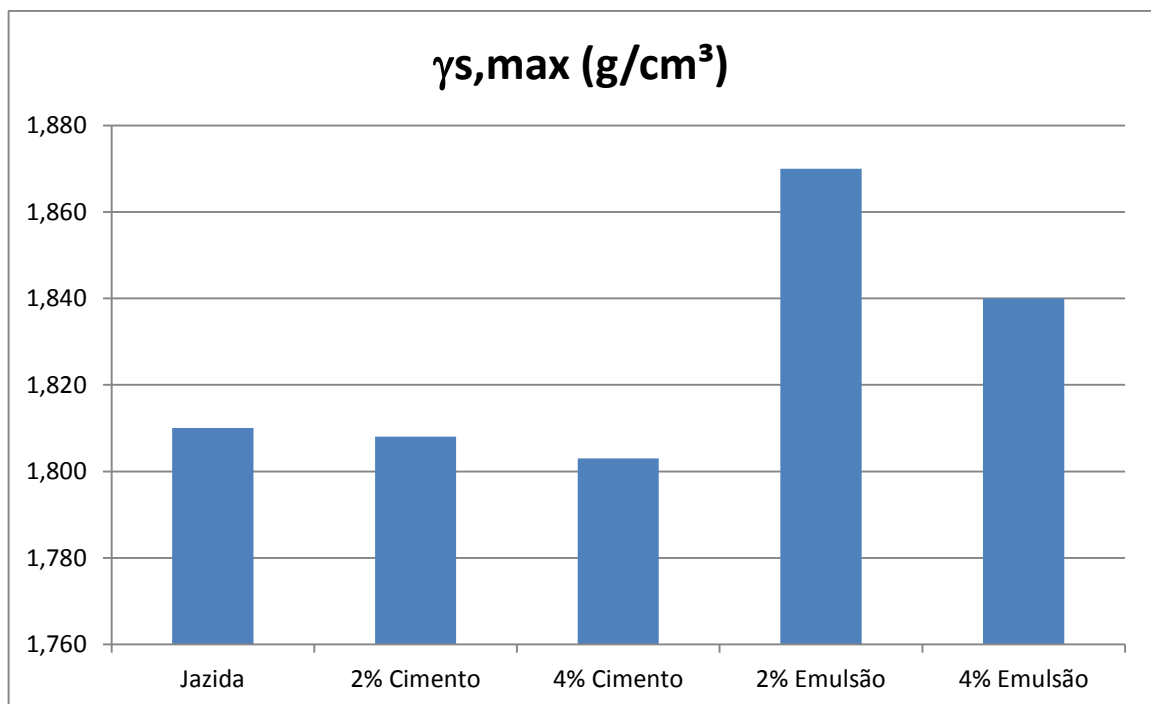
Após a realização do ensaio de compactação no solo de jazida, foram realizadas as dosagens de cimento e betume para a amostra, como mostrado anteriormente e novamente realizado o ensaio de compactação para cada dosagem determinada (2% e 4% de cimento e emulsão). Os resultados podem ser observados na tabela 3 e nos gráficos contidos nos gráficos 2 e 3:

Tabela 3 - Massa específica aparente seca máxima e umidade ótima

AMOSTRA	γ_s , máx (g/cm ³)	Wótima (%)
Jazida	1,810	12,20
Cimento 2%	1,808	11,80
Cimento 4%	1,803	13,00
Emulsão 2%	1,870	9,00
Emulsão 4%	1,840	10,40

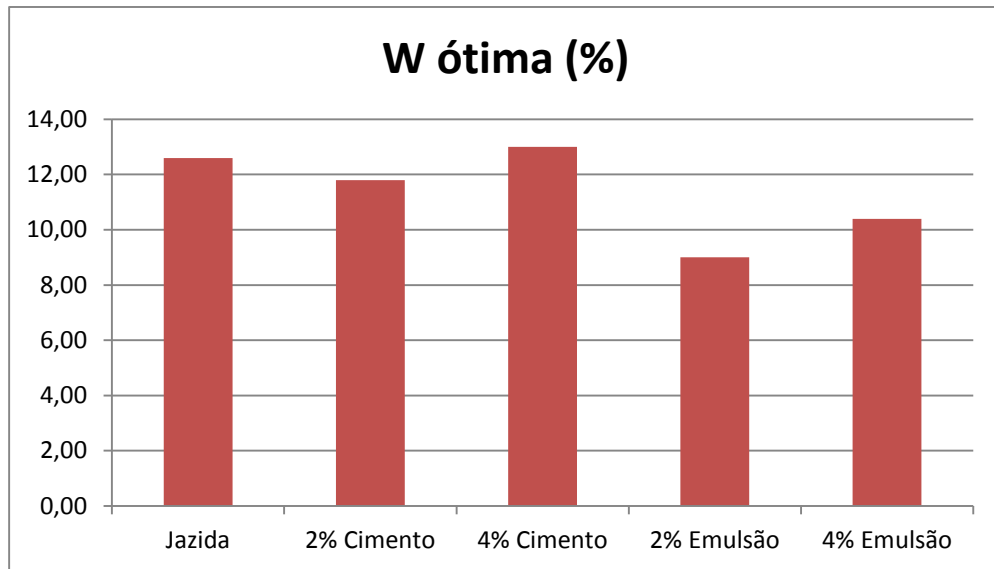
Fonte: Autor (2017)

Gráfico 2 - Massa específica aparente seca máxima das amostras



Fonte: Autor (2017)

Gráfico 3 - Umidade ótima das amostras



Fonte: Autor (2017)

Observou-se que a massa específica aparente seca das amostras com adição de cimento não sofreu tamanha alteração, mantendo-se próxima da amostra de jazida. O mesmo não aconteceu com as amostras com adição de emulsão, em que a massa específica aparente seca aumentou. Já a umidade ótima manteve-se próxima à do solo de jazida para as amostras com adição de cimento, e decresceu para as amostras com adição de emulsão. Isso se dá, pois o cimento é um material seco e absorve a água, já a emulsão é líquida, por isso requer menos água.

A seguir foram elaboradas as curvas de compactação de todas as situações, conforme mostrado no gráfico 4:

Tabela 4 - Massa específica aparente seca e teor de umidade

Jazida			
γ_{seca} (g/cm ³)	W _{calc} (%)		
1,694	8,50		
1,782	10,80		
1,806	12,60		
1,706	14,20		
1,600	16,80		
Cimento 2%		Cimento 4%	
γ_{seca} (g/cm ³)	W _{calc} (%)	γ_{seca} (g/cm ³)	W _{calc} (%)
1,735	8,30	1,597	8,20
1,797	10,20	1,710	10,90
1,802	12,90	1,802	12,80
1,749	14,40	1,764	14,20
1,672	16,50	1,665	16,30

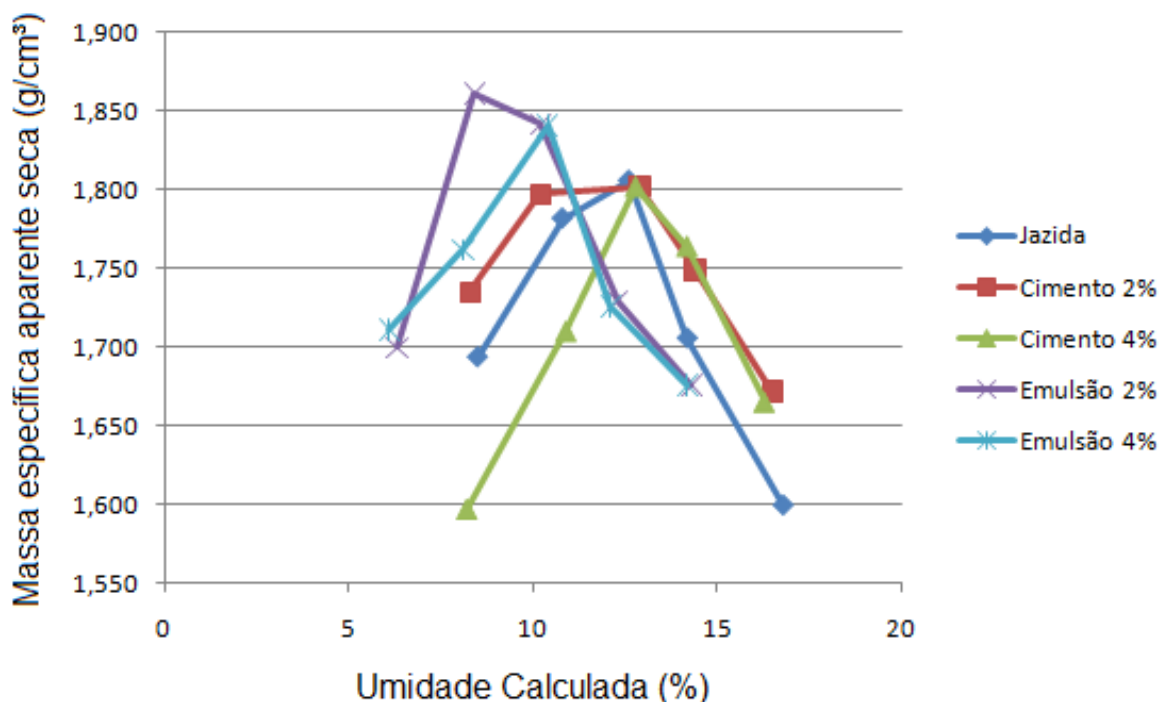
Fonte: Autor (2017)

Tabela 5 - Massa específica aparente seca e teor de umidade

Betume 2%		Betume 4%	
γ_{seca} (g/cm ³)	Wcalc (%)	γ_{seca} (g/cm ³)	Wcalc (%)
1,700	6,30	1,711	6,10
1,861	8,40	1,762	8,10
1,842	10,20	1,841	10,40
1,729	12,30	1,726	12,10
1,676	14,30	1,676	14,20

Fonte: Autor (2017)

Gráfico 4 - Curvas de compactação - solo de jazida e adições



Fonte: Autor (2017)

4.10. Índice de Suporte Califórnia (ISC)

O ensaio para obtenção do valor do Índice de Suporte Califórnia é determinado de acordo com a NBR 9895/1987, que define que serão utilizadas amostras deformadas, não reutilizadas, de material que passa na peneira de 19 mm e com o mínimo de 5 corpos de prova, assim como foi realizado. O procedimento realizado seguiu os passos descritos a seguir:

- Repetiu-se o processo realizado no ensaio de compactação;
- Foi colocado nos corpos de prova, no espaço deixado pelo disco espaçador, o prato perfurado com a haste de expansão;

- Os mesmos foram submersos em água por 96 horas, conforme figura 39;
- Após 24 horas foi feita uma leitura;
- Após o tempo de submersão, os corpos de prova foram submetidos à prensa do ensaio de penetração. A figura 40 mostra o equipamento para realização do ensaio de Índice de Suporte Califórnia;
- O pistão penetra na amostra, aplicando-se uma carga determinada, com velocidade conhecida, possibilitando a mensuração da resistência do solo.

Figura 39 - Amostras submersas em água



Fonte: Autor (2017)

Figura 40 - Equipamento para ensaio de Índice de Suporte Califórnia



Fonte: Autor (2017)

Após a realização dos ensaios, foi possível obter os resultados, conforme mostrados na tabela 5:

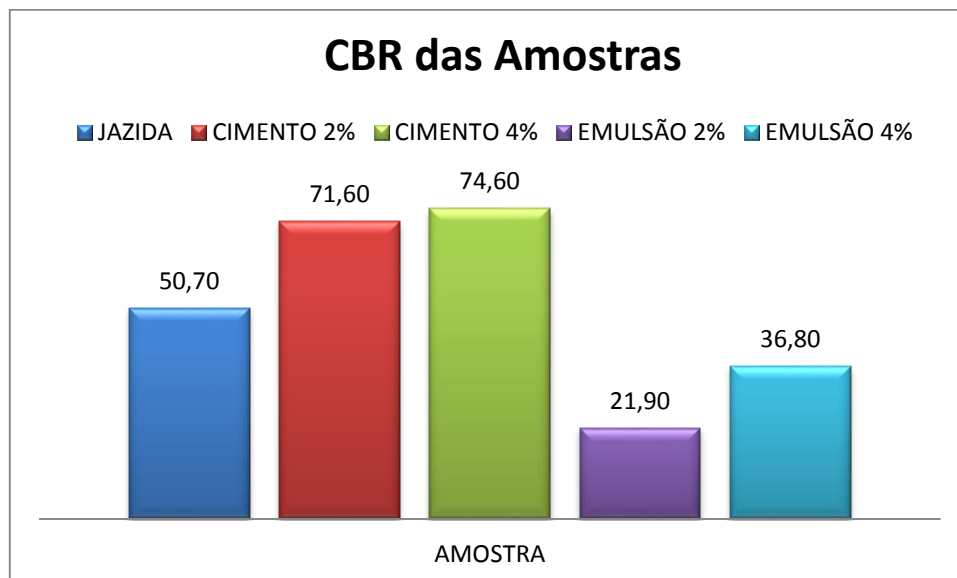
Tabela 6 - Resultado do ensaio de ISC

AMOSTRA	ISC (%)
Jazida	50,70
Cimento 2%	71,60
Cimento 4%	74,60
Emulsão 2%	21,90
Emulsão 4%	36,80

Fonte: Autor (2017)

Através destes resultados, podemos observar que o valor do ISC do solo de jazida encontrado foi 50,70%. Ao adicionar cimento na amostra o valor do ISC cresceu mais de 20%, contribuindo de forma positiva no solo. Já com a adição de emulsão asfáltica o efeito foi contrário, reduzindo significativamente o valor do ISC, não sendo possível sua utilização em camada de base. O gráfico 5 mostra o valor do CBR encontrado para cada amostra ensaiada.

Gráfico 5 - Comparativo entre o CBR das amostras ensaiadas



Fonte: Autor (2017)

Sabendo que para compor camada de base o solo necessita ser de maior nobreza, CBR > 80% ou para $N < 5 \times 10^6$ pode-se considerar materiais com CBR > 60%. Como no presente trabalho o objetivo não é classificar o CBR de acordo com o

número 'N', o solo de jazida utilizado não satisfaz o requisito CBR para compor solo de base. O solo quando estabilizado com 2% e 4% de cimento, atingiu CBR de 71,60% e 74,60%, respectivamente, podendo, assim, ser utilizado para compor camada de base de pavimento se utilizado em locais onde o número 'N' seja inferior a 5×10^6 .

De acordo com a expansão, todas as amostras foram aprovadas para uso como camada de base, já que foram menores de 0,5%, conforme observado nos apêndices 04, 06, 08, 010 e 012.

Classificação do material para camada de base (Marques, 2006):

- CBR > 80% (para $N < 5 \times 10^6$ podem ser materiais com CBR > 60%);
- Expansão < 0,5%
- Limite de Liquidez (LL) < 25%
- Índice de Plasticidade (IP) < 6%

Seguindo estes parâmetros o material pode ser utilizado como material constituinte de base de pavimento.

A aplicação de emulsão ao solo resultou em uma piora significativa de resistência, regredindo de 50,70% para 21,90% com 2% de emulsão, e para 36,80% com 4% de emulsão. Este fato se dá possivelmente pelo tipo de emulsão utilizado, RR – 2C, não comumente utilizado, em outros trabalhos utilizou-se emulsões RL – 1C e RM – 1C. Outro fator que pode ter influenciado no resultado negativo desta adição é o tipo de ensaio, em que realizou-se o mesmo ensaio em todas amostras, ou seja, ensaio de penetração na prensa CBR-Marshall com cura úmida de 96 horas. O teor de emulsão também pode ter prejudicado o resultado, já que a adição de altos teores de emulsão podem promover um efeito lubrificante nas partículas do solo, causando efeito contrário, diminuindo a resistência.

5. CONCLUSÃO

Através do levantamento de informações obtidas após os ensaios laboratoriais, foi possível determinar as características do solo de jazida a fim se conhecer suas propriedades, podendo, assim, definir se a amostra apresenta características suficientes para ser utilizada em camada de base de um pavimento. Após a adição de cimento e emulsão, foram novamente realizados os ensaios para se obter as alterações que essas adições provocaram no solo.

Observando os resultados obtidos nos ensaios executados, verificou-se que a estabilização química exerce grande influência nos parâmetros de compactação do solo, massa específica aparente seca e umidade ótima, mudanças nos teores das adições modificam as propriedades do solo.

Os resultados obtidos sugerem que a adição de cimento é benéfica para a estrutura do pavimento, já que aumenta sua resistência, como foi observado com o aumento considerável do valor do CBR, mantendo a umidade ótima e a massa específica aparente seca semelhantes às do solo de jazida.

Já a adição de emulsão asfáltica não trouxe os resultados esperados. Os valores obtidos para CBR decresceram consideravelmente, diminuindo a umidade ótima e aumentando a massa específica aparente seca.

Os resultados apresentados sugerem que a adição de emulsão asfáltica ao solo está relacionada com o método de cura, tipo de ensaio, modo de mistura do material ao solo e tipo de emulsão. Os resultados de CBR inferiores ao solo de jazida após a adição de emulsão, podem ter ocorrido devido ao método de ensaio e ao controle de execução.

Apesar dos resultados negativos quanto ao CBR, a emulsão asfáltica contribui para ganhos de impermeabilização e resistência à abrasão superficial para o solo, assim como foi observado em trabalhos de outros autores, características que não foram consideradas neste estudo.

Recomenda-se ensaiar as amostras com outros teores de emulsão, realizando o ensaio de compressão simples com cura seca, além de ensaiar a emulsão para se conhecer suas propriedades sabendo com mais precisão o efeito que ela causa na amostra. Recomenda-se também, o estudo dos efeitos causados pela emulsão quando aplicada a quente no solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Wilson Barbosa Filho. **Emprego da Mistura Solo-Cimento em Bases e Sub-Bases de Pavimentos**. Universidade São Francisco. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p. (BT-106)

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895**: Solo – Índice de Suporte Califórnia. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9604**: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM ISO 3310-1**: Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico (ISO 3310-1, IDT). Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM ISO 3310-2**: Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação Parte 2: Peneiras de ensaio de chapa metálica perfurada (ISO 3310-2:1999), IDT. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de Solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 1986. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solos - Determinação do Limite Liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508**: Massa específica real dos grãos. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

AZEVEDO, Ângela Martins. **Considerações sobre a drenagem subsuperficial na vida útil de pavimentos rodoviários**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo, 2007. Edição Revisada. 156 p.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica**: Materiais, projetos e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. 3. ed. Rio de Janeiro: Abeda, 2010.

BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. 1. ed. Rio de Janeiro: Abeda, 2008.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica Dos Solos e Suas Aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 1996. 234 p. 1 v

CASTRO, Moema. **Material didático – Materiais de Construção Básicos**. Disponível em: moemacastro.weebly.com/cap_5_cimento_portland.pdf. Acessado em: 25 de Maio de 2017.

DAS, Braja M.. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. 6. ed. São Paulo: Thomson Learnig, 2007. 559 p. Tradução da 6ª edição norte-americana.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT Revisão da norma DNER-ME 080/94 - Solos – Análise granulométrica por peneiramento**. Rio de Janeiro: IPR, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT Revisão da norma DNER-ME 051/94 - Solos – Análise granulométrica**. Rio de Janeiro: IPR, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT. Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos**. DNIT, 2006. 314 p. Publicação IPR – 720.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT. Manual de Conservação Rodoviária**. DNIT, 2005. 564 p. Publicação IPR – 710.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT. Manual de Pavimentação**. DNIT, 2006. 278 p. Publicação IPR – 719.

ENAMORADO, Marcio Alvarado. **Estudo comparativo entre o método mecânico e o método físico-químico para a dosagem do solo-cimento**. Rio de Janeiro, 1990.

FERNANDES, Manuel de Matos. **Mecânica dos Solos: Conceitos e princípios fundamentais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

Fonseca, Gustavo Celso da. **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil: uma abordagem epistêmica**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. Belo Horizonte - 2010.

GANDOLFI, Guilherme Gomes; CARDOSO, Letícia Sabino. **Estudo da estabilização química do tipo solo-emulsão em solo tropical laterítico granular utilizado em obras de pavimentação**. Goiânia. 2013

GEIPOT - **Relatório de gestão – 2001**. Disponível em <<http://www.geipot.gov.br/>> Acessado em: 10 de Outubro de 2016.

JUIZ DE FORA. **Materiais Asfálticos: Noções Gerais**. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2009.

MARQUES, Geraldo L. de Oliveira. **Pavimentação**. 2006. 210 p. Notas de Aulas – Pavimentação TRN 032 - Laboratório de Pavimentação da Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2006.

MEDINA, J.. **Mecânica dos Pavimentos**. 1ª edição, 380 p. Rio de Janeiro-RJ, 1997. Editora UFRJ.

MEDINA, J.; MOTTA, L.M.G. **Mecânica dos pavimentos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005. Editora UFRJ.

PEREIRA, Kiev Luiz de Araújo. **Estabilização de um solo com cimento e cinza de lodo para uso em pavimentação**. 2012. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

PONTES FILHO, Glauco. **Estradas de Rodagem Projeto Geométrico**. São Carlos: Copyright, 1998. 432 p.

RIO DE JANEIRO. Murillo Lopes de Souza. Ministério dos Transportes. **Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis**. 3. ed. Rio de Janeiro: Divisão de Informática Técnico-científica, 1981.

SARTORI, Guilherme. **Estudo de Estabilização de Solos para Fins de Pavimentação na Região de Campo Mourão**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. São Paulo: Pini, 2001. 671 p. 2 v.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2007. 761 p. 1 v.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1997. 1 v.

SILVA, Angelo Just da Costa e. **Impermeabilização**. Universidade Católica de Pernambuco - Departamento de Engenharia Civil. Pernambuco, 2004.



SOLIZ, Valeria Vaca Pereira. **Estudo de três solos estabilizados com emulsão asfáltica**. Dissertação de Mestrado – Programa de pós-graduação de engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2007.

SOUZA, Murillo Lopes de. **Método de projeto de pavimentos flexíveis**. 2 ed. rev. E atual. Rio de Janeiro, IPR., 1976.



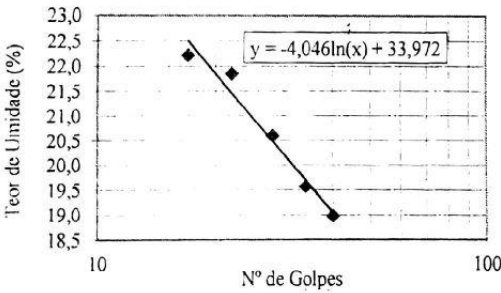
VARGAS, Milton. **Introdução à Mecânica dos Solos**. São Paulo: Mcgraw - Hill, 1977. 509 p

APÊNDICES



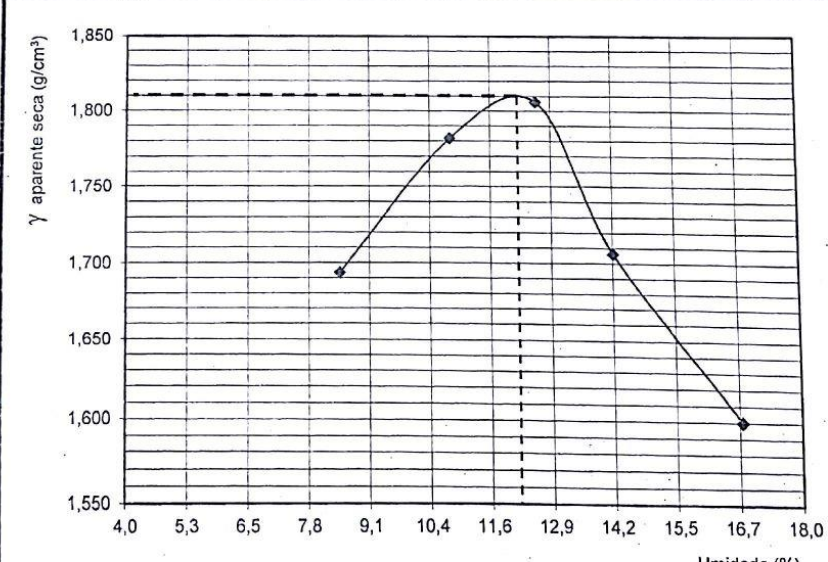
APÊNDICE 01 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

 CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS <small>UNIVERSIDADE EVANGÉLICA LUTERANA - SÃO PAULO</small> <small>SEMPRE ABRAÇANDO O BRASIL - 08.07.2000 - D.O.U. nº 130 de 07.07.2000</small>								
LABORATÓRIO DE SOLOS E ROCHAS								
Solicitante:	Ana Valéria		Fone:	Data: 15/03/2017				
Material:			Estaca:	Registro N°:				
Trecho:			Prof (m):	Amostra:				
Obs:								
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - NBR-7181								
TEOR DE UMIDADE				PENEIRAMENTO GROSSO				
N° Cápsula	#	1	2	Amostra Total Úmida (g)				
C + S + A	(g)			Amostra Total Seca (g) 2928,80				
C + S	(g)			Peneira	Diâmetro (mm)	Peso da Amostra Seca (g)		% Passante
C - Cápsula	(g)					Retido	Passante	
S - Solo	(g)			2"	50,8		2928,80	100,00
A - Água	(g)			1 1/2"	38,1		2928,80	100,00
w - Umidade	(%)			1"	25,4	0,00	2928,80	100,00
Umidade Média	(%)			3/4"	19,0	150,80	2778,00	94,85
MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS				3/8"	9,5	463,20	2314,80	79,04
passante na peneira N° 10				N° 4	4,8	931,60	1383,20	47,23
Picnômetro N°	#	1	2	N° 10	2,0	408,80	974,40	33,27
Pic+Solo+Água	(g)	664,7	659,5	PENEIRAMENTO FINO				
Pic+Água	(g)	633,8	629,2	Massa Úmida (g)				
T°C de Ensaio	(°C)	25,0	25,0	Massa Seca (g)		974,40		
Massa Solo Úmido	(g)	76,0	76,0	Peneira	Diâmetro (mm)	Peso da Amostra Seca (g)		% Passante
Massa Solo Seco	(g)	50,0	50,0			Retido	Passante	
ME da Água, T°C Ens	(g/cm ³)	1,0	1,0	N° 16	1,19	52,00	922,40	31,49
ME dos grãos	(g/cm ³)	2,60	2,54	N° 30	0,59	58,00	864,40	29,51
ME dos grãos média	(g/cm ³)	2,57		N° 40	0,42	44,40	820,00	28,00
				N° 50	0,25	153,60	666,40	22,75
				N° 100	0,15	451,60	214,80	7,33
				N° 200	0,075	214,80	0,00	0,00

APÊNDICE 02 - LIMITE DE LIQUIDEZ E PLASTICIDADE

 CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS <small>COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"</small> <small>Est. 1000, s/n, Distrito de 06/07/2000, D.O.U. nº 130 de 07/07/2000</small>																						
LABORATÓRIO DE SOLOS E ROCHAS																						
Solicitante:	ANA VALÉRIA	Fone:																				
Descrição:		Estaca:																				
Trecho:		Prof (m):																				
Obs:		Amostra:																				
LIMITE DE LIQUIDEZ - NBR-6459																						
Determinação	#	1	2	3	4	5	6	7														
Cápsula	#	1	2	3	4	7																
Massa Solo Umido + Cásula	(g)	49,30	52,50	50,80	50,10	53,20																
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	44,10	47,00	45,30	44,20	47,00																
Massa da Cápsula	(g)	16,70	18,90	18,60	17,20	19,10																
Massa da Água	(g)	5,20	5,50	5,50	5,90	6,20																
Massa Solo Seco	(g)	27,40	28,10	26,70	27,00	27,90																
Teor de Umidade	(%)	18,98	19,57	20,60	21,85	22,22																
Número de Golpes	#	40	34	28	22	17																
LIMITE DE PLASTICIDADE - NBR-7180																						
Determinação	#	1	2	3	4	5	6	7														
Cápsula	#	1	2	3	4	5																
Massa Solo Umido + Cásula	(g)	9,00	9,48	9,40	9,35	9,21																
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	8,85	9,35	9,25	9,20	9,05																
Massa da Cápsula	(g)	7,90	8,60	8,30	8,30	8,10																
Massa da Água	(g)	0,15	0,13	0,15	0,15	0,16																
Massa Solo Seco	(g)	0,95	0,75	0,95	0,90	0,95																
Teor de Umidade	(%)	15,79	17,33	15,79	16,67	16,84																
				CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO DA MÉDIA (LP) <table border="1"> <thead> <tr> <th>#</th> <th>LP</th> <th>0,95.LP</th> <th>1,05.LP</th> <th>N° Serve</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>16,48</td> <td>15,66</td> <td>17,31</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>16,27</td> <td>15,46</td> <td>17,09</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				#	LP	0,95.LP	1,05.LP	N° Serve	1	16,48	15,66	17,31	1	2	16,27	15,46	17,09	
#	LP	0,95.LP	1,05.LP	N° Serve																		
1	16,48	15,66	17,31	1																		
2	16,27	15,46	17,09																			
$LL = A \cdot \ln(N^\circ \text{ de Golpes}) + B$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-4,046</td> <td>33,972</td> </tr> </tbody> </table>				A	B	-4,046	33,972	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Limite de Liquidez (LL)</td> <td>21,0</td> </tr> <tr> <td>Limite de Plasticidade (LP)</td> <td>16,3</td> </tr> <tr> <td>Índice de Plasticidade (IP)</td> <td>4,7</td> </tr> </tbody> </table>				Limite de Liquidez (LL)	21,0	Limite de Plasticidade (LP)	16,3	Índice de Plasticidade (IP)	4,7					
A	B																					
-4,046	33,972																					
Limite de Liquidez (LL)	21,0																					
Limite de Plasticidade (LP)	16,3																					
Índice de Plasticidade (IP)	4,7																					
MASSA ESPECÍFICA - Grãos que passam na # 4,8mm - NBR-6508				Observações Gerais																		
Picnômetro N°	#	1	2	A massa específica do solo em questão foi obtida a partir de amostra seca em estufa a 105°C																		
Teor de Umidade	(%)																					
Massa Solo Umido	(g)	76,1	76,1																			
Massa Picnômetro+Solo+Água, T°C de Ensaio	(g)	664,70	659,50																			
Massa Picnômetro Cheio de Água	(g)	633,90	629,20																			
Temperatura de Ensaio	(°C)	25	25																			
Massa Solo Seco	(g)	50,00	50,00	Visto																		
Massa Específica da Água, T°C de Ensaio	(g/cm ³)	0,9981	0,9981																			
Massa Específica dos Grãos	(g/cm ³)	2,60	2,54																			
Massa Específica dos Grãos Média	(g/cm ³)	2,57																				

APÊNDICE 03 - COMPACTAÇÃO JAZIDA

 CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO" Credenciado pelo Decreto de 06/07/2000 - D.O.U. nº 130 de 07/07/2000									
LABORATÓRIO DE SOLOS E ROCHAS									
Solicitante: ANA VALÉRIA		Fone: _____							
Descrição: _____		Estaca: _____							
Trecho: _____		Prof (m): _____							
Energia: Proctor		Nº Golpes: 26							
		Soquete: Grande							
		Data: 15/03/2017							
		Reg. Nº: _____							
		Amostra: _____							
		Molde: Grande							
COMPACTAÇÃO JAZIDA - NBR-7182			Umidade Higroscópica						
Teor de Umidade									
Nº Cápsula	#	1	2	3	4	5	1	2	
C + S + A	(g)	103,3	103,3	98,5	93,0	93,0	92,8	107,1	107,1
C + S	(g)	96,6	96,6	90,5	84,4	84,4	83,2	94,1	94,1
C - Cápsula	(g)	17,5	17,5	16,4	16,2	16,2	16,7	16,5	16,5
A - Água	(g)	6,7	6,7	8,0	8,6	8,6	9,6	13,0	13,0
S - Solo	C	79,1	79,1	74,1	68,2	68,2	66,5	77,6	77,6
w - Umidade	(%)	8,5	8,5	10,8	12,6	12,6	14,4	16,8	16,8
Umidade Média	(%)	8,5	10,8	12,6	14,4	16,8			
Dados de Compactação dos Corpos de Prova			Material Usado em Cada CP para Homogeneização						
Água Adic.	(g)	400	500	600	700	800	M _{úmida} (g)	5000	
% Água Adic.	(%)	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	Nº		
Umidade Calc.	(%)	8,5	10,8	12,6	14,2	16,8	Peso (Kg)		
Nº do Molde	#	7	25	17	11	1	Volume (cm³)		
M + S + A	(g)	9380	9450	9700	9450	9400	7	5554	2087
M - Molde	(g)	5546	5324	5455	5383	5507	25	5324	2090
S + A	(g)	3834	4126	4245	4067	3893	17	5507	2087
γ úmida	(g/cm³)	1,837	1,974	2,034	1,949	1,869	11	5420	2087
γ seca	(g/cm³)	1,694	1,782	1,806	1,706	1,600	1	5440	2083
Curva de Compactação			17						
			γ _{s,max} (g/cm³)	1,810					
			W _{ótima} (%)	12,2					
			Observações Gerais:						
			Visto						

APÊNDICE 04 - CBR JAZIDA
SOLO DE JAZIDA

ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA

EXPANSÃO

Molde (Nº)	07			25			17		
	11,38			11,38			11,38		
Altura do molde (cm)	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. (%)	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. (%)	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. (%)
20/03/2017 seg 14:00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
21/03/2017 ter 14:00									
22/03/2017 qua 14:00									
23/03/2017 qui 14:00									
24/03/2017 sex 14:00	0,10	0,09	0,08	0,20	0,19	0,17	0,15	0,14	0,12
Cil.+am. após embebição									
Peso da água absorvida									

Anel dinamométrico
DIN 001

Constante do anel
0,10485

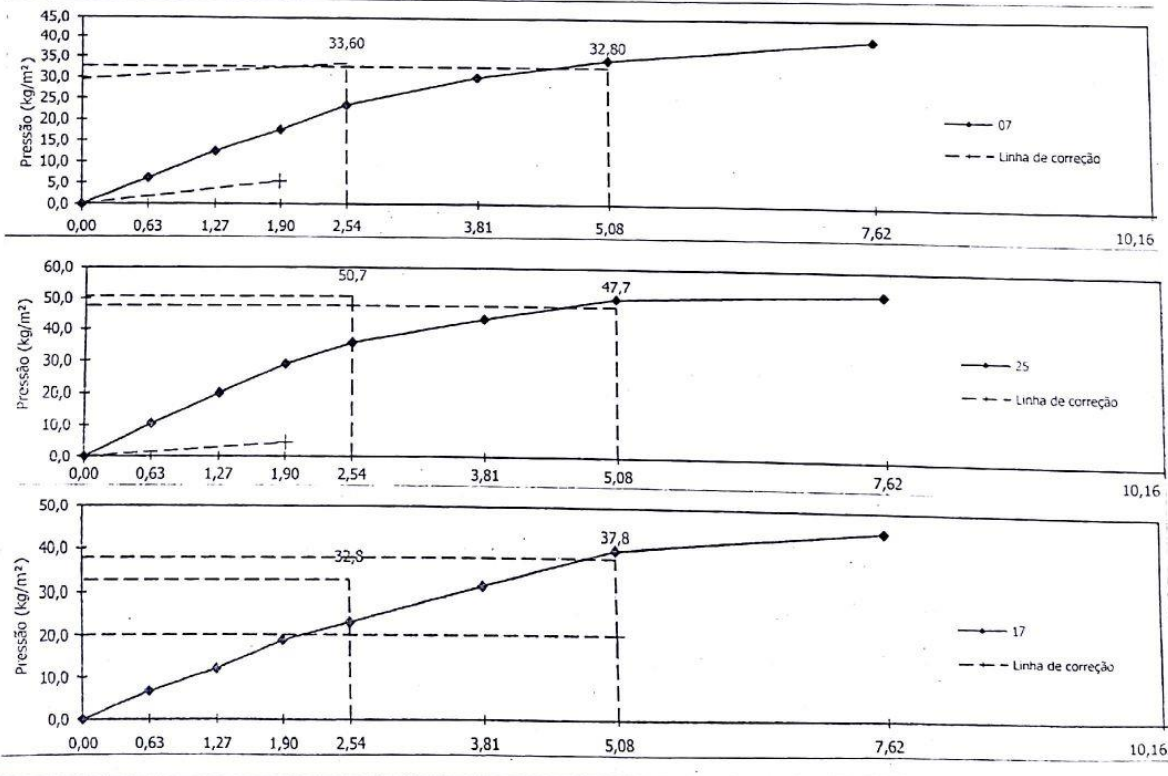
Relógio comparador
EXT 001

Área do pistão (cm²)
19,3221



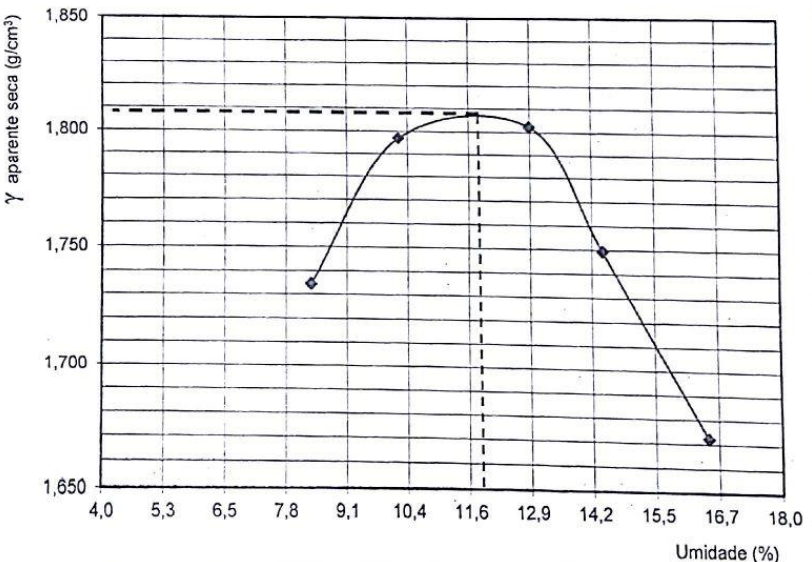
PENETRAÇÃO

Tempo Min.	Penetração		Pressão Padrão	Molde 07				Molde 25				Molde 17			
	mm	Pol.		Leitura mm	Pressão Kg/m²	ISC		Leitura mm	Pressão Kg/m²	ISC		Leitura mm	Pressão Kg/m²	ISC	
0,5	0,63	0,025	-	59	6,19			100	10,5			65	6,8		
1,0	1,27	0,050	-	120	12,58			190	19,9			115	12,1		
1,5	1,90	0,075	-	169	17,72			275	28,8			180	18,9		
2,0	2,54	0,100	70,31	225	23,59	23,6	33,6	340	35,6	35,6	50,7	220	23,1	23,1	32,8
3,0	3,81	0,150	-	290	30,41			415	43,5			300	31,5		
4,0	5,08	0,200	105,46	330	34,60	34,6	32,8	480	50,3	50,3	47,7	380	39,8	39,8	37,8
6,0	7,62	0,300	-	380	39,84			500	52,4			430	45,1		
8,0	10,16	0,400	-												
10,0	12,70	0,500	-												

Curvas de Pressão / Penetração do I.S.C



APÊNDICE 05 - COMPACTAÇÃO CIMENTO 2%

 ULBRA	CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS <small>COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO" Cridação pelo Decreto de 06/07/2000 - D.O.U. nº 130 da 07/07/2000</small>										
LABORATÓRIO DE SOLOS E ROCHAS											
Solicitante: ANA VALÉRIA		Fone: _____									
Descrição: _____		Estaca: _____									
Trecho: _____		Prof (m): _____									
Energia: Proctor	Nº Golpes: 26	Soquete: Grande									
		Data: _____									
		Reg. Nº: _____									
		Amostra: _____									
		Molde: Grande									
COMPACTAÇÃO 2% CIMENTO - NBR-7182		Umidade Higroscópica									
Teor de Umidade											
Nº Cápsula	#	1	2	3	4	5	1	2			
C + S + A	(g)	107,8	107,8	79,2	79,2	96,9	96,9	112,2	112,2	100,6	100,6
C + S	(g)	100,9	100,9	73,5	73,5	87,7	87,7	100,1	100,1	88,7	88,7
C - Cápsula	(g)	18,2	18,2	17,5	17,5	16,4	16,4	16,1	16,1	16,7	16,7
A - Água	(g)	6,9	6,9	5,7	5,7	9,2	9,2	12,1	12,1	11,9	11,9
S - Solo	C	82,7	82,7	56,0	56,0	71,3	71,3	84,0	84,0	72,0	72,0
w - Umidade	(%)	8,3	8,3	10,2	10,2	12,9	12,9	14,4	14,4	16,5	16,5
Umidade Média	(%)	8,3		10,2		12,9		14,4		16,5	
Dados de Compactação dos Corpos de Prova		Material Usado em Cada CP para Homogeneização									
Água Adic.	(g)	400	500	600	700	800	M _{úmida} (g)		5000		
% Água Adic.	(%)	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	Nº	Peso	Volume		
Umidade Calc.	(%)	8,3	10,2	12,9	14,4	16,5	#	(Kg)	(cm ³)		
Nº do Molde	#	71	3	11	21	27	7	5554	2080,62		
M + S + A	(g)	9350	9750	9630	9690	9680	25	5324	2081		
M - Molde	(g)	5440	5630	5383	5507	5609	17	5507	2087		
S + A	(g)	3910	4120	4247	4183	4071	11	5420	2090		
γ úmida	(g/cm ³)	1,879	1,980	2,035	2,001	1,949	1	5440	2089		
γ seca	(g/cm ³)	1,735	1,797	1,802	1,749	1,672					
Curva de Compactação		Resumo									
		γ _{s,max} (g/cm ³)	1,807								
		W _{ótima} (%)	11,8								
		Observações Gerais:									
		Visto _____									

APÊNDICE 06 - CBR CIMENTO 2%

SOLO MELHORADO COM CIMENTO - 2%

ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA

		EXPANSÃO								
		03			11			21		
Molde (Nº)		11,38			11,38			11,38		
Altura do molde (cm)		11,38			11,38			11,38		
Data		Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. (%)	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. (%)	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. (%)
24/03/2017	sex 09:00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
25/03/2017	sáb 09:00									
26/03/2017	dom 09:00									
27/03/2017	seg 09:00									
28/03/2017	ter 09:00	0,09	0,08	0,07	0,10	0,09	0,07	0,15	0,14	0,12
Cil.+am. após embebição										
Peso da água absorvida										

Anel dinamométrico
DIN 001

Constante do anel
0,10485

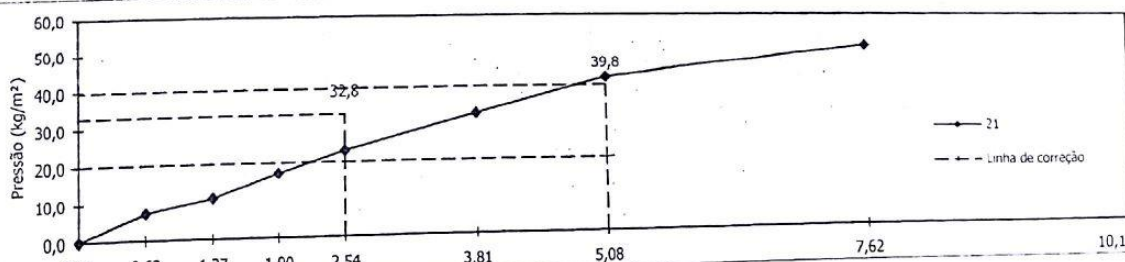
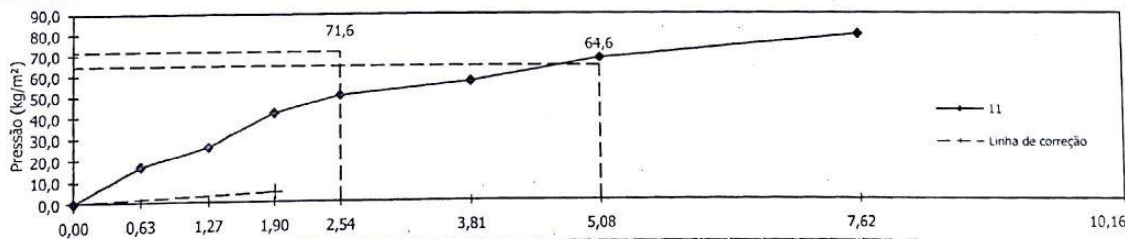
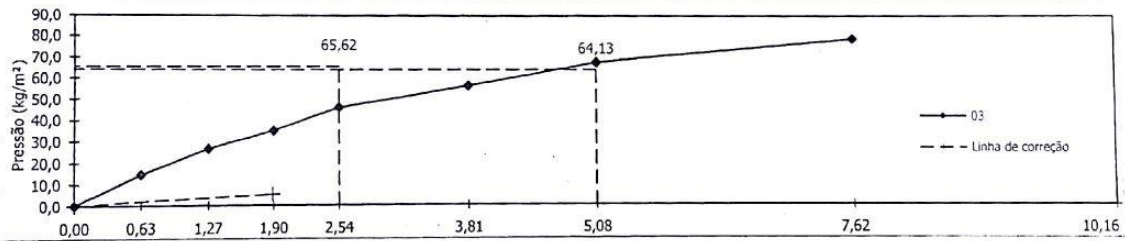
Relógio comparador
EXT 001

Área do pistão (cm²)
19,3221



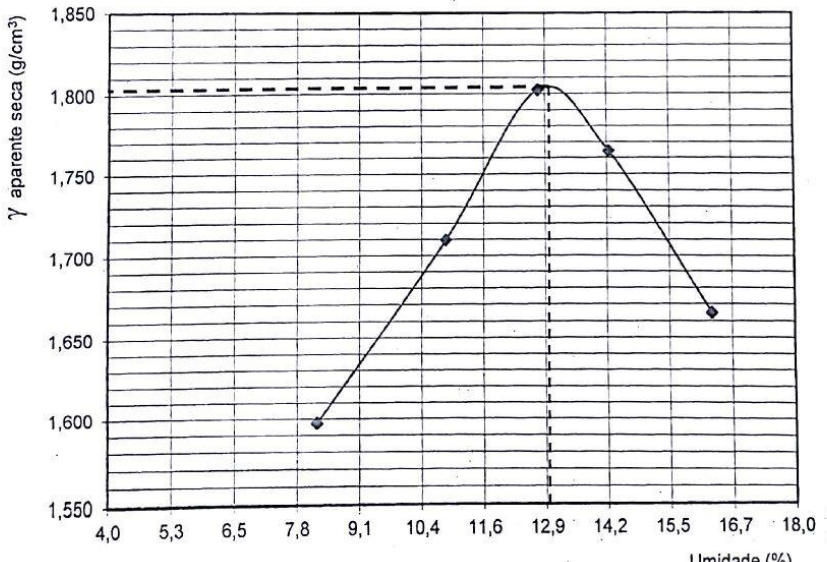
PENETRAÇÃO

Tempo Min.	Penetração		Pressão Padrão	Molde 03				Molde 11				Molde 21			
	mm	Pol.		Leitura mm	Pressão Kg/m² Calcul.	Pressão Kg/m² Corrig.	ISC %	Leitura mm	Pressão Kg/m² Calcul.	Pressão Kg/m² Corrig.	ISC %	Leitura mm	Pressão Kg/m² Calcul.	Pressão Kg/m² Corrig.	ISC %
0,5	0,63	0,025	-	140	14,68			160	16,8			70	7,3		
1,0	1,27	0,050	-	255	26,74			245	25,7			105	11,0		
1,5	1,90	0,075	-	335	35,12			400	41,9			165	17,3		
2,0	2,54	0,100	70,31	440	46,13	46,1	65,6	480	50,3	50,3	71,6	220	23,1	23,1	32,8
3,0	3,81	0,150	-	540	56,62			545	57,1			310	32,5		
4,0	5,08	0,200	105,46	645	67,63	67,6	64,1	650	68,2	68,2	64,6	400	41,9	41,9	39,8
6,0	7,62	0,300	-	750	78,64			760	79,7			485	50,9		
8,0	10,16	0,400	-												
10,0	12,70	0,500	-												

Curvas de Pressão / Penetração do I.S.C



APÊNDICE 07 - COMPACTAÇÃO CIMENTO 4%

CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS											UMIDADE HIGROSCÓPICA		
 CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SAO PAULO" Credenciado pelo Decreto de 06/07/2000 - D.O.U. nº 130 de 07/07/2000													
LABORATÓRIO DE SOLOS E ROCHAS													
Solicitante: ANA VALERIA				Fone: _____				Data: 20/03/2017					
Descrição: _____				Estaca: _____				Reg. Nº: _____					
Trecho: _____				Prof (m): _____				Amostra: _____					
Energia: Proctor				Nº Golpes: 26				Soquete: Grande					
COMPACTAÇÃO CIMENTO 4% - NBR-7182											Umidade Higroscópica		
Teor de Umidade													
Nº Cápsula	#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2
C + S + A	(g)	81,0	81,0	90,8	90,8	90,1	90,1	101,4	101,4	109,1	109,1		
C + S	(g)	76,1	76,1	83,5	83,5	81,8	81,8	90,9	90,9	96,3	96,3		
C - Cápsula	(g)	16,5	16,5	16,3	16,3	16,8	16,8	17,1	17,1	17,9	17,9		
A - Água	(g)	4,9	4,9	7,3	7,3	8,3	8,3	10,5	10,5	12,8	12,8		
S - Solo	C	59,6	59,6	67,2	67,2	65,0	65,0	73,8	73,8	78,4	78,4		
w - Umidade	(%)	8,2	8,2	10,9	10,9	12,8	12,8	14,2	14,2	16,3	16,3		
Umidade Média	(%)	8,2		10,9		12,8		14,2		16,3			
Dados de Compactação dos Corpos de Prova											Material Usado em Cada CP para Homogeneização		
Água Adic.	(g)	400		500		600		700		800		M _{úmida} (g)	5000
% Água Adic.	(%)	8,0		10,0		12,0		14,0		16,0		Nº	Peso
Umidade Calc.	(%)	8,2		10,9		12,8		14,2		16,3		#	Volume
Nº do Molde	#	22		33		24		34		19		7	5554
M + S + A	(g)	9020		9260		9670		9510		9540		25	5324
M - Molde	(g)	5412		5312		5420		5326		5510		17	5507
S + A	(g)	3608		3948		4250		4184		4030		11	5420
γ úmida	(g/cm ³)	1,729		1,895		2,033		2,015		1,937		1	5440
γ seca	(g/cm ³)	1,597		1,710		1,802		1,764		1,665			2081
Curva de Compactação											17		
											γ _{s,max}	1,803	
											W _{ótima}	13	
Observações Gerais:													
Visto													

APÊNDICE 08 - CBR CIMENTO 4%

ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA

EXPANSÃO									
Molde (Nº)	33			24			34		
Altura do molde (cm)	11,38			11,38			11,38		
Data	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. (%)	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. (%)	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. (%)
24/03/2017 sex 09:00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
25/03/2017 sáb 09:00									
26/03/2017 dom 09:00									
27/03/2017 seg 09:00									
28/03/2017 ter 09:00	0,08	0,07	0,06	0,10	0,09	0,07	0,07	0,06	0,05
Cil. + am. após embebição									
Peso da água absorvida									

Anel dinamométrico
DIN 001

Constante do anel
0,10485

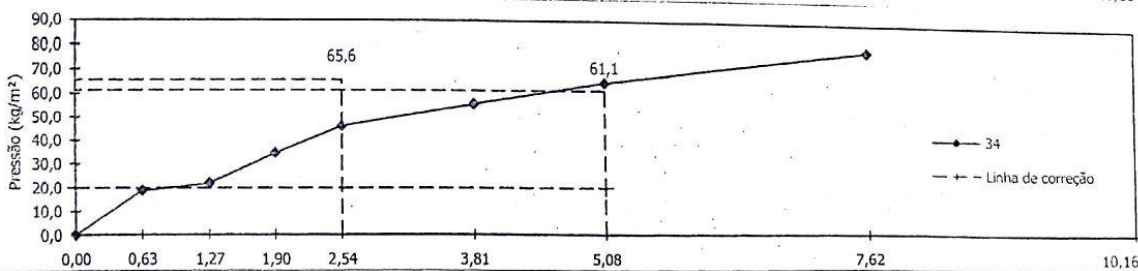
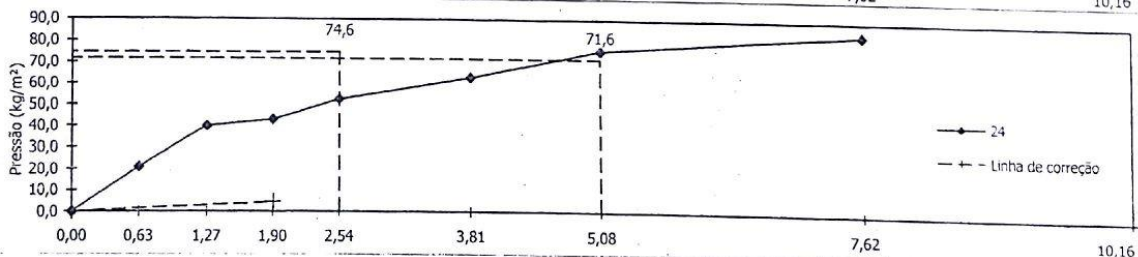
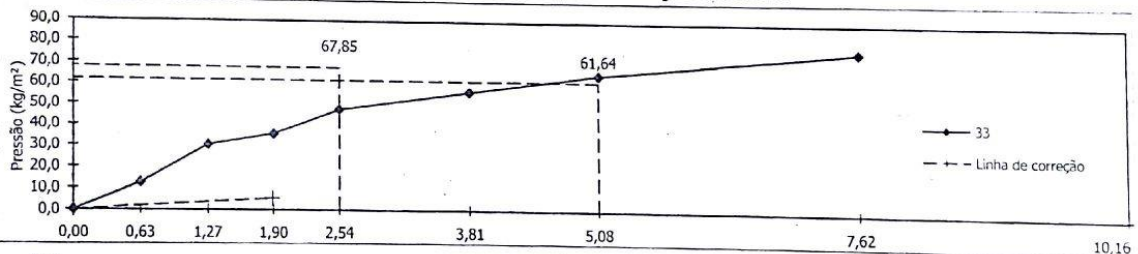
Relógio comparador
EXT 001

Área do pistão (cm²)
19,3221



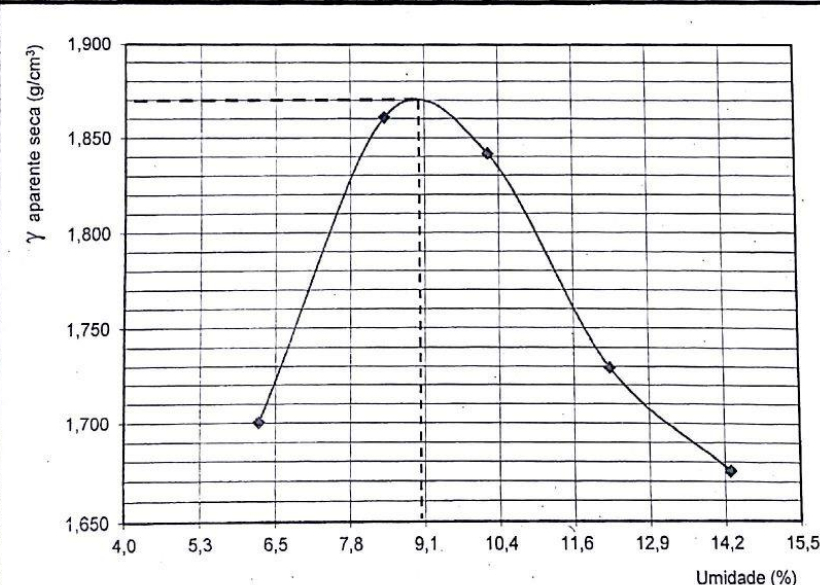
PENETRAÇÃO

Tempo Min.	Penetração		Pressão Padrão	Molde 33				Molde 24				Molde 34			
	mm	Pol.		Leitura mm	Pressão Kg/m ² Calcul.	ISC Corrig.	%	Leitura mm	Pressão Kg/m ² Calcul.	ISC Corrig.	%	Leitura mm	Pressão Kg/m ² Calcul.	ISC Corrig.	%
0,5	0,63	0,025	-	120	12,58			200	21,0			180	18,9		
1,0	1,27	0,050	-	290	30,41			380	39,8			210	22,0		
1,5	1,90	0,075	-	340	35,65			410	43,0			330	34,6		
2,0	2,54	0,100	70,31	455	47,71	47,7	67,9	500	52,4	52,4	74,6	440	46,1	46,1	65,6
3,0	3,81	0,150	-	540	56,62			600	62,9			530	55,6		
4,0	5,08	0,200	105,46	620	65,01	65,0	61,6	720	75,5	75,5	71,6	615	64,5	64,5	61,1
6,0	7,62	0,300	-	730	76,54			800	83,9			750	78,6		
8,0	10,16	0,400	-												
10,0	12,70	0,500	-												

Curvas de Pressão / Penetração do I.S.C



APÊNDICE 09 - COMPACTAÇÃO EMULSÃO 2%

 CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO" Criado pelo Decreto de 06/07/2000 - D.O.U. nº 130 de 07/07/2000			
LABORATÓRIO DE SOLOS E ROCHAS			
Solicitante: ANA VALÉRIA		Fone: _____	
Descrição: _____		Estaca: _____	
Trecho: _____		Prof (m): _____	
Energia: Proctor		Soquete: Grande	
Nº Golpes: 26		Data: 28/03/2017	
		Reg. Nº: _____	
		Amostra: _____	
		Molde: Grande	
COMPACTAÇÃO EMULSÃO 2% - NBR-7182			Umidade Higroscópica
Teor de Umidade			
Nº Cápsula	#	1	2
C + S + A	(g)	61,3	68,1
C + S	(g)	58,7	64,2
C - Cápsula	(g)	17,2	17,8
A - Água	(g)	2,6	3,9
S - Solo	(g)	41,5	46,4
w - Umidade	(%)	6,3	8,4
Umidade Média	(%)	6,3	8,4
Dados de Compactação dos Corpos de Prova			Material Usado em Cada CP para Homogeneização
Água Adic.	(g)	300	400
% Água Adic.	(%)	6,0	8,0
Umidade Calc.	(%)	6,3	8,4
Nº do Molde	#	3	33
M + S + A	(g)	9400	9510
M - Molde	(g)	5636	5312
S + A	(g)	3764	4198
γ úmida	(g/cm ³)	1,807	2,017
γ seca	(g/cm ³)	1,700	1,861
Curva de Compactação			17
			$\gamma_{s,max}$ (g/cm ³)
			1,870
			$W_{ótima}$ (%)
			9
			Observações Gerais:
			Visto

APÊNDICE 010 - CBR EMULSÃO 2%
SOLO MELHORADO COM EMULSÃO - 2%

ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA

EXPANSÃO

Molde (Nº)			33			34			21		
Altura do molde (cm)			11,38			11,38			11,38		
Data	Horas		Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. (%)	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. (%)	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. (%)
28/03/2017	ter	09:00	0,06	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00
29/03/2017	qua	09:00									
30/03/2017	qui	09:00									
31/03/2017	sex	09:00									
01/04/2017	sáb	09:00	0,20	0,14	0,12	0,30	0,22	0,19	0,25	0,15	0,13
Cil. + am. após embebição											
Peso da água absorvida											

Anel dinamométrico
DIN 001

Constante do anel
0,10485

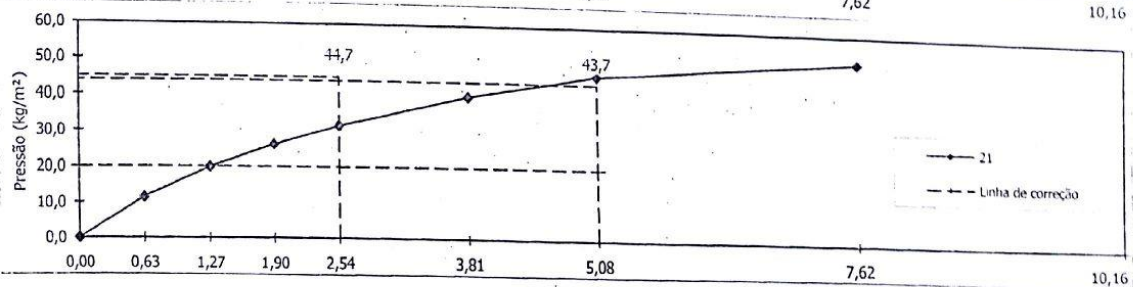
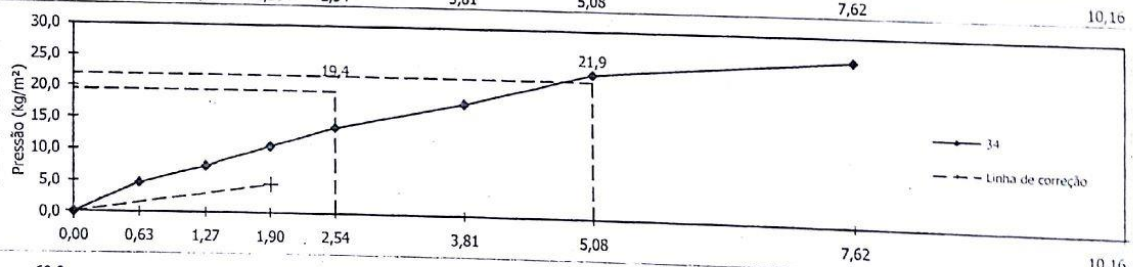
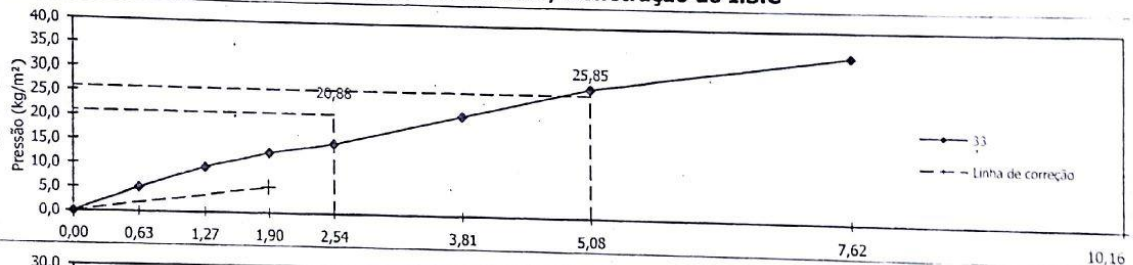
Relógio comparador
EXT 001

Área do pistão (cm ²)
19,3221



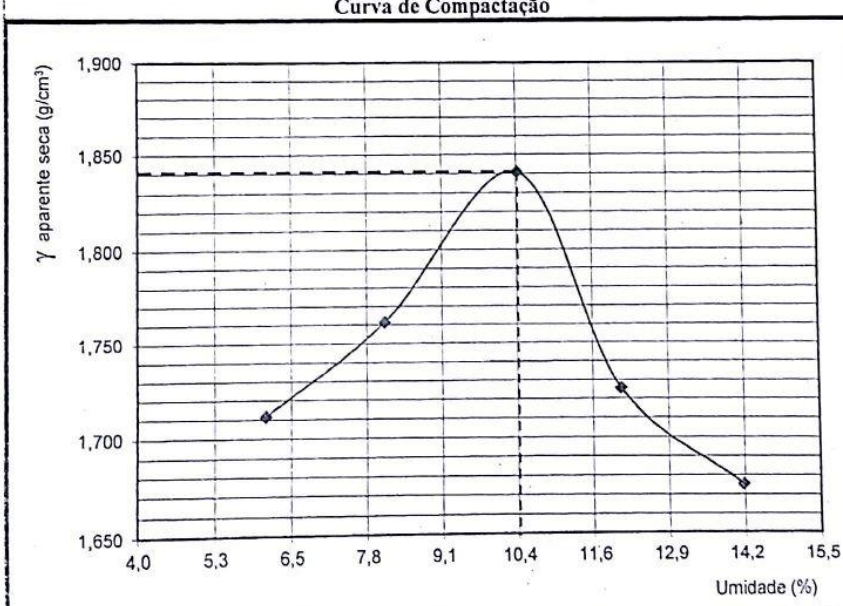
PENETRAÇÃO

Tempo Min.	Penetração		Pressão Padrão	Molde 33				Molde 34				Molde 21			
	mm	Pol.		Leitura mm	Pressão Kg/m ² Calcul.	ISC Corrig.	%	Leitura mm	Pressão Kg/m ² Calcul.	ISC Corrig.	%	Leitura mm	Pressão Kg/m ² Calcul.	ISC Corrig.	%
0,5	0,63	0,025	-	48	5,03			45	4,7			110	11,5		
1,0	1,27	0,050	-	90	9,44			70	7,3			190	19,9		
1,5	1,90	0,075	-	120	12,58			100	10,5			250	26,2		
2,0	2,54	0,100	70,31	140	14,68	14,7	20,9	130	13,6	13,6	19,4	300	31,5	31,5	44,7
3,0	3,81	0,150	-	200	20,97			170	17,8			380	39,8		
4,0	5,08	0,200	105,46	260	27,26	27,3	25,8	220	23,1	23,1	21,9	440	46,1	46,1	43,7
6,0	7,62	0,300	-	330	34,60			250	26,2			500	52,4		
8,0	10,16	0,400	-												
10,0	12,70	0,500	-												

Curvas de Pressão / Penetração do I.S.C



APÊNDICE 011 - COMPACTAÇÃO EMULSÃO 4%

 CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO" Credenciado pelo Decreto de 06/07/2000 - D.O.U. nº 130 de 07/07/2000													
LABORATÓRIO DE SOLOS E ROCHAS													
Solicitante: ANA VALERIA		Fone: _____											
Descrição: _____		Estaca: _____											
Trecho: _____		Prof (m): _____											
Energia: Proctor		Soquete: Grande											
Nº Golpes: 26		Data: 28/03/2017											
		Reg. N°: _____											
		Amostra: _____											
		Molde: _____											
COMPACTAÇÃO EMULSÃO 4% - NBR-7182			Umidade Higroscópica										
Teor de Umidade													
Nº Cápsula	#	1	2	3	4	5	1	2					
C + S + A	(g)	63,8	63,8	65,5	65,5	56,9	56,9	59,6	59,6	71,1	71,1	582,7	659,7
C + S	(g)	61,1	61,1	61,9	61,9	53,1	53,1	54,4	54,4	64,4	64,4	574,0	645,9
C - Cápsula	(g)	17,0	17,0	17,6	17,6	16,5	16,5	11,5	11,5	17,1	17,1	153,3	102,3
A - Água	(g)	2,7	2,7	3,6	3,6	3,8	3,8	5,2	5,2	6,7	6,7	8,7	13,8
S - Solo	C	44,1	44,1	44,3	44,3	36,6	36,6	42,9	42,9	47,3	47,3	420,7	543,6
w - Umidade	(%)	6,1	6,1	8,1	8,1	10,4	10,4	12,1	12,1	14,2	14,2	2,1	2,5
Umidade Média	(%)	6,1		8,1		10,4		12,1		14,2		2,5	
Dados de Compactação dos Corpos de Prova			Material Usado em Cada CP para Homogeneização										
Água Adic.	(g)	300	400	500	600	700	M _{úmida} (g)		5000				
% Água Adic.	(%)	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	Nº		Peso				
Umidade Calc.	(%)	6,1	8,1	10,4	12,1	14,2	#		Volume				
Nº do Molde	#	25	23	19	22	71	(Kg)		(cm ³)				
M + S + A	(g)	9120	9450	9740	9450	9420	7	5554	2090				
M - Molde	(g)	5324	5475	5510	5412	5440	25	5324	2087				
S + A	(g)	3796	3975	4230	4038	3980	17	5507	2081,62				
γ úmida	(g/cm ³)	1,816	1,905	2,032	1,935	1,915	11	5420	2087				
γ seca	(g/cm ³)	1,711	1,762	1,841	1,726	1,676	1	5440	2080,6				
Curva de Compactação			17										
			γ _{s,max} (g/cm ³)		1,840								
			W _{ótima} (%)		10,4								
<p style="text-align: center;">Observações Gerais:</p> <p style="text-align: center;">Visto</p>													

APÊNDICE 012 - CBR EMULSÃO 4%
SOLO MELHORADO COM EMULSÃO - 4%

ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA

EXPANSÃO											
Molde (Nº)	23			19			22				
Altura do molde (cm)	11,38			11,38			11,38				
	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. (%)	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. (%)	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. (%)		
Data	Hora										
28/03/2017	ter	09:00	0,40	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,35	0,00	0,00
29/03/2017	qua	09:00									
30/03/2017	qui	09:00									
31/03/2017	sex	09:00									
01/04/2017	sáb	09:00	0,55	0,15	0,13	0,46	0,16	0,14	0,55	0,20	0,18
Cil. + am. após embebição											
Peso da água absorvida											

Anel dinamométrico
DIN 001

Constante do anel
0,10485

Relógio comparador
EXT 001

Área do pistão (cm²)
19,3221

PENETRAÇÃO

Tempo Min.	Penetração		Pressão Padrão	Molde 23				Molde 19				Molde 22			
	mm	Pol.		Leitura		Pressão Kg/m²		Leitura		Pressão Kg/m²		Leitura		Pressão Kg/m²	
				mm	Calcul.	Corrig.	ISC %	mm	Calcul.	Corrig.	ISC %	mm	Calcul.	Corrig.	ISC %
0,5	0,63	0,025	-	98	10,28			95	10,0			30	3,1		
1,0	1,27	0,050	-	140	14,68			170	17,8			50	5,2		
1,5	1,90	0,075	-	175	18,35			210	22,0			70	7,3		
2,0	2,54	0,100	70,31	200	20,97	21,0	29,8	250	26,2	26,2	37,3	90	9,4	9,4	13,4
3,0	3,81	0,150	-	235	24,64			320	33,6			115	12,1		
4,0	5,08	0,200	105,46	270	28,31	28,3	26,8	370	38,8	38,8	36,8	140	14,7	14,7	13,9
6,0	7,62	0,300	-	300	31,46			400	41,9			160	16,8		
8,0	10,16	0,400	-												
10,0	12,70	0,500	-												

Curvas de Pressão / Penetração do I.S.C

