

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA- UNIFOR-MG
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
ELVIS ELTON GOMES ANSELM

**ESTUDO DA CURVA DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA NA MISTURA
DE SOLO-AGREGADO: ANALISANDO SEU COMPORTAMENTO COM
DIFERENTES PORCENTAGENS DE ARGILA-ARENOSA VERMELHA**

FORMIGA-MG
2015

Elvis Elton Gomes Anselmi

ESTUDO DA CURVA DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA NA MISTURA DE
SOLO-AGREGADO: ANALISANDO SEU COMPORTAMENTO COM
DIFERENTES PORCENTAGENS DE ARGILA-ARENOSA VERMELHA

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao curso de Engenharia Civil do UNIFOR-
MG como requisito parcial para obtenção
do título de bacharel em Engenharia Civil.

FORMIGA-MG
2015

A618 Anselmi, Elvis Elton Gomes.

Estudo da curva de índice de suporte Califórnia na mistura de solo-agregado : analisando seu comportamento com diferentes porcentagens de argila-arenosa vermelha / Elvis Elton Gomes Anselmi. – 2015.
89 f.

Orientador: Tiago de Moraes Faria Novais.
Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Centro
Universitário de Formiga–UNIFOR-MG, Formiga, 2015.

1. Solo-agregado. 2. BGS. 3. Índice de suporte Califórnia. I. Título.

CDD 631.433

Elvis Elton Gomes Anselmi

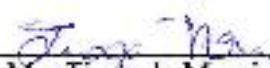
ESTUDO DA CURVA DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA NA MISTURA DE
SOLO-AGREGADO: ANALISANDO SEU COMPORTAMENTO COM
DIFERENTES PORCENTAGENS DE ARGILA-ARENOSA VERMELHA

Elvis Elton Gomes Anselmi

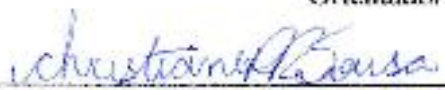
ESTUDO DA CURVA DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA NA MISTURA DE
SOLO-AGREGADO: ANALISANDO SEU COMPORTAMENTO COM
DIFERENTES PORCENTAGENS DE ARGILA-ARENOSA VERMELHA

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao curso de Engenharia Civil do UNIFOR-
MG como requisito parcial para obtenção
do título de bacharel em Engenharia Civil.

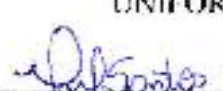
BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Tiago de Moraes Faria Novais
Orientador



Prof.ª Ma. Christiane Pereira Rocha Sousa
UNIFOR-MG



Prof.ª Dra. Mirian Aparecida Isidro dos Santos
UNIFOR-MG

Formiga, 12 de novembro de 2015.

*Não existem limites, apenas nossos medos
nos detêm.*
(Mestre Yoda)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Jeová por me abençoar nesta oportunidade de estudar em uma faculdade e ter a chance de me graduar. Agradeço ao Professor Tiago pela ajuda e me apoiar neste tema, pela orientação e por também ser um verdadeiro geek. Somos poucos hoje em dia.

Aos professores Giarola e Leonard, minha eterna admiração e meu mais sincero obrigado.

A minha mãe Neneca, meu pai Jaime e meu padrasto Wellington, por me apoiarem de diversas formas nessa jornada. Um agradecimento especial a minha irmã Vivian, que me apoia constantemente, de todas as maneiras que foram necessárias, te amo. A minha namorada Karyne, obrigado por sempre estar ao meu lado.

Ao meu amigo Gleison que sempre fez de tudo pra me apoiar no trabalho, e me ensinou a ser um profissional.

Ao pessoal do laboratório da Pavidez Engenharia, Rainel Gomes, Danilo Rodrigues, Emission Santana e Fabiano Cabral, pelo auxílio com os ensaios.

Mesmo correndo risco de um indesculpável esquecimento, me senti obrigado a particularizar essas pessoas, a todas as outras que me ajudaram direta e indiretamente na realização deste trabalho, e na minha vida acadêmica, muito obrigado.

RESUMO

O solo, por ser um material de baixo custo e abundante, sempre foi para as obras rodoviárias um delimitador e um trunfo para sua construção, o aumento na burocracia e das leis ambientais fez com que a substituição de um solo ficasse inviável, indo à contrapartida com o baixo custo do uso do material. O solo argiloso, dentre todos os solos, é o mais utilizado, fazendo com que a estabilização física deste solo seja a opção mais economicamente rentável possível. As características plásticas de um solo argiloso precisam ser amplamente estudadas para o entendimento completo de que essa mistura pode proporcionar. O presente trabalho visa buscar, por meio de ensaios de laboratório, se existe uma relação entre a capacidade de carga de um material estabilizado com o índice de plasticidade existente nele e se essa plasticidade é um agente deletério na mistura.

Palavras-chaves: Solo-agregado; BGS; ISC.

ABSTRACT

The soil, being an inexpensive and abundant material, has always been for the road works a delimiting factor and an asset to its construction, the increase in bureaucracy and environmental laws caused the substitution of a soil stay unfeasible, going to counterpart with the low cost of using the material. The clay soil, of all the soils, is the most used, making the physical stabilization of a soil will be the most cost-effective possible option. The plastic characteristics of a clay soil need to be widely studied for the full understanding that this mixture can provide. The present work seeking, through laboratory tests, if there is a relationship between the load capacity of a stabilized material with the existing plasticity index it and if this plasticity is a deleterious agent into the mixture.

Keywords: Soil-aggregate, stabilization, California Bearing Ratio.

LISTA DE ABREVIATURAS

AASHTO	- American Association of State Highway and Transportation Officials
BGS	- Brita graduada simples
CBR	- Californian bearing ratio
DNER	- Departamento Nacional de Estradas e Rodovias
DNIT	- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
EM	- Especificações de material
ISC	- Índice de Suporte Califórnia
ME	- Método de ensaio
NBR	- Norma Brasileira
PRO	- Procedimento

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Caixa de empréstimo.....	31
Figura 2	- Estoque da jazida de agregado.....	32
Figura 3	- Amostra secando ao ar.....	33
Figura 4	- Destorroamento da argila.....	33
Figura 5	- Preparação da BGS.....	34
Figura 6	- Granulometria lavada do solo.....	35
Figura 7	- Granulometria lavada de material britado.....	35
Figura 8	- Amostra sendo separada.....	36
Figura 9	- Início do ensaio de limite de plasticidade.....	36
Figura 10	- Moldando o cilindro de solo para o limite de plasticidade.....	37
Figura 11	- Cilindro de solo com espessura de norma.....	37
Figura 12	- Corte dos cilindros.....	38
Figura 13	- Pesagem das amostras.....	38
Figura 14	- Preparação para a ranhura.....	39
Figura 15	- Ranhura após encontro.....	39
Figura 16	- Separação para pesagem.....	40
Figura 17	- Homogeneização de solo-agregado.....	40
Figura 18	- Material homogeneizado.....	41
Figura 19	- Início da compactação do ensaio.....	41
Figura 20	- Material compactado.....	42
Figura 21	- Prensa de CBR.....	42
Figura 22	- Amostra sendo preparada para o rompimento.....	43
Figura 23	- Colocação dos pesos anelares.....	43
Figura 24	- Rompimento da amostra.....	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Granulometria da argila vermelha.....	46
Gráfico 2 - Granulometria BGS.....	48
Gráfico 3 - Granulometria solo-agregado 70% argila 30% BGS.....	49
Gráfico 4 - Granulometria solo-agregado 50% argila e 50% BGS.....	51
Gráfico 5 - Granulometria solo-agregado 70% BGS e 30% argila.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Leituras obtidas no extensômetro do anel em função da penetração do pistão no solo e do tempo.....	28
Tabela 2	- Cálculo do Índice de Suporte Califórnia.....	28
Tabela 3	- Composição das amostras.....	32
Tabela 4	- Granulometria da argila vermelha.....	45
Tabela 5	- Granulometria BGS.....	47
Tabela 6	- Granulometria solo-agregado 70% argila 30% BGS.....	48
Tabela 7	- Granulometria solo-agregado 50% argila e 50% BGS.....	50
Tabela 8	- Granulometria solo-agregado 70% BGS e 30% argila.....	51
Tabela 9	- Limites de liquidez e plasticidade da argila vermelha.....	53
Tabela 10	- Limites de liquidez e plasticidade do solo-agregado com 70% de argila e 30% de BGS.....	54
Tabela 11	- Limites de liquidez e plasticidade de solo-agregado com 50% de argila e 50% de BGS.....	55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Justificativa.....	13
1.2	Objetivos.....	13
1.2.1	Geral.....	13
1.2.2	Específicos.....	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1	Solo.....	15
2.1.1	Análise Granulométrica.....	15
2.1.2	Índices de consistência (Limites de Atterberg).....	16
2.1.2.1	Limite de plasticidade.....	16
2.1.2.2	Limite de liquidez.....	16
2.1.3	Descrição e classificação dos solos para fins rodoviários.....	16
2.1.4	Solo-agregado ou solo-brita.....	17
2.1.5	Classificação AASHTO/DNIT.....	17
2.1.6	Compactação.....	18
2.1.7	Índice de Suporte Califórnia (<i>California Bearing Radio</i>).....	18
2.2	Pavimento.....	18
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
3.1	Normas e especificações técnicas.....	20
3.1.1	Peneiras de malhas quadradas para análise granulométrica de solos – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) – Especificações de Material (EM) 035/95.....	20
3.1.2	Base estabilizada granulometricamente – DNER – Especificação (ES) 303/97.....	21
3.1.3	Coleta de amostras de agregados – DNER – Procedimento (PRO) 120/97.....	22
3.1.4	Agregados – análise granulométrica – DNER – Método de Ensaio (ME) 083/98.....	22
3.1.5	Coleta de amostras deformadas de solos – DNER – PRO 003/94.....	23
3.1.6	Amostras de solo – preparação para ensaio de compactação e caracterização – NBR 6457.....	23

3.1.6.1	Amostra para análise granulométrica.....	24
3.1.6.2	Amostra para determinação dos limites de Atterberg.....	24
3.1.6.3	Amostra para ensaio de compactação.....	24
3.1.7	Solo – Ensaio de compactação – NBR 7182.....	24
3.1.8	Solo – Análise granulométrica por peneiramento – DNER – ME 080/94	25
3.1.9	Solos – Determinação do limite de liquidez – DNER – ME 122/94.....	25
3.1.10	Solos – Determinação do limite de plasticidade – DNER – ME 082/94.....	26
3.1.11	Solos – Determinação do limite de plasticidade – DNER – ME 082/94.....	27
4	RESULTADOS ESPERADOS.....	30
5	METODOLOGIA.....	31
5.1	Classificação do estudo.....	31
5.2	Procedimento de coleta de dados.....	31
5.2.1	Solo.....	31
5.2.2	Material Britado (BGS).....	33
5.2.3	Preparação da amostra e ensaios de caracterização.....	32
5.2.3.1	Análise granulométrica.....	34
5.2.3.2	Limites de Atterberg	35
5.2.3.3	Compactação.....	40
5.2.3.4	Ensaio de compressão simples – ISC.....	42
6	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	45
6.1	Compactação.....	45
6.2	Granulometria.....	45
6.3	Limites de Atterberg.....	52
6.4	Compressão simples (CBR).....	56
7	CONCLUSÃO.....	58
	REFERÊNCIAS.....	60
	APÊNDICE A - Ensaio de compactação.....	62
	APÊNDICE B – Granulometrias.....	67
	APÊNDICE C - Limites Atterberg.....	72
	APÊNDICE D - Compressão simples - ISC.....	77
	ANEXO A – Classificação dos solos – HRB.....	87
	ANEXO B – Preparação de amostra para ensaio de caracterização.....	88

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios, a engenharia civil e seus mestres de obras se deparam com a inconstância dos solos. Na engenharia civil, a análise dos solos sempre visa o aumento da resistência mecânica dos solos em questão, a fim de sempre serem estáveis. Com a evolução da tecnologia e com o aumento do potencial de carregamento das máquinas, neste caso físico, a estabilização dos solos deixa de ser uma tarefa simples, pois dia após dia, os esforços sobre os mesmos vêm sofrendo um aumento exponencial, fazendo com que patologias nos pavimentos sejam cada vez mais frequentes.

A caracterização dos solos, mesmo sendo uma tarefa difícil, sempre se mostrou um aliado forte e vantajoso de se ter. Estudos sobre estabilização granulométrica e aumento no ganho da resistência mecânica deixaram de ser algo exclusivo das grandes empresas para ser utilizado nas mais variadas obras. Em particular, o estudo do índice de suporte califórnia (I.S.C.) que demonstra, em forma de porcentagem, até o ponto máximo que um solo, agregado ou solo-agregado, pode resistir. A utilização de solo-agregado tem sido amplamente utilizada para corrigir certas deficiências mecânicas do solo e diminuir o custo da utilização do agregado. O trabalho a seguir visa identificar se existe uma porcentagem na qual as características plásticas do solo argiloso são passadas para a mistura de solo agregado e se sua curva de resistência I.S.C. apresenta isso em seu gráfico.

1.1 Justificativa

Este é um trabalho sobre a importância de se entender o que acontece com a mistura de solo-agregado (solo-brita) após o seu ponto máximo de resistência e se existe uma relação com a quantidade de argila existente em sua mistura.

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

Apresentar resultados de curva de resistência *californian bearing ratio* (CBR) da mistura de solo argiloso (solo-agregado ou solo-brita) com material britado usado em

base de pavimentos rodoviários, através de ensaios de laboratório, a fim de identificar uma variação em sua constância.

1.2.2 Específicos

O presente trabalho tem por objetivo apresentar resultados de ensaios laboratoriais de mistura de solo argiloso com material britado comprovando uma variação na curva de índice suporte Califórnia I.S.C.

- Apresentar resultados de granulometria, índices de consistência (limites de Atterberg), compressão e proporções da mistura solo-brita.
- Definir se as específicas porcentagens de argila influenciam o grau de plasticidade da mistura.
- Utilizar o ensaio de Índice de Suporte Califórnia como parâmetro entre esse grau de plasticidade e se o material for trabalhado acima do especificado em norma apresenta uma variação para menos em seus resultados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Solo

Para o engenheiro civil, solo é uma reunião de partículas minerais soltas, ou cimentadas, formada pela decomposição de rochas por ação de intemperismo, com o espaço vazio entre as partículas ocupado por água e/ou ar. (CRAIG, 2004).

Geralmente num solo, convivem partículas de tamanhos diversos. Grãos de areia, por exemplo, podem estar envoltos por uma grande quantidade de partículas argilosas finíssimas, com o mesmo aspecto de uma aglomeração formada unicamente por essas partículas argilosas.

Para averiguação do tamanho dos grãos de um solo, realiza-se a análise granulométrica, que abrange duas fases: peneiramento e sedimentação. (BERNUCCI *et al.*, 2008).

2.1.1 Análise Granulométrica

Peneiramento: a amostra de solo é passada através de uma série de peneiras padrão de testes com tamanhos de malha sucessivamente menores. A massa do solo acumulada em cada peneira é determinada e a porcentagem cumulativa de massa que passa em cada peneira é calculada, na presença de partículas finas de argila no solo, a amostra deve ser lavada entre as peneiras. Este ensaio aplica-se somente a amostra de solos. (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Sedimentação: para solos finos a leitura de densidade, feita com um densímetro, a partir da Lei de Stokes que admite que a velocidade de queda de uma partícula esférica de peso específico num fluido (hexametáfosfato de sódio ou silicato de sódio) e peso específico é proporcional ao quadrado do diâmetro dessas partículas, fornece também a profundidade de queda da partícula, que é a distância entre a superfície da suspensão até o centro do bulbo do densímetro. Dessa forma a velocidade de queda da partícula pode ser calculada pela razão entre a profundidade de queda (z) e o tempo para que isso ocorra, permitindo assim a determinação do diâmetro equivalente das partículas para a fração fina do solo. (BERNUCCI *et al.*, 2008).

2.1.2 Índices de consistência (Limites de Atterberg)

Ensaio granulométrico somente não são caracterizadores precisos de solos sob o ponto de vista da Engenharia. As frações finas dos solos correspondem por uma parcela muito importante nesse comportamento, pois quanto mais fina maior a superfície específica. Os limites inferem que um solo argiloso difere conforme o seu teor de umidade. (BERNUCCI *et al.*, 2008).

2.1.2.1 Limite de plasticidade

O termo plasticidade, em suma, descreve a capacidade do solo de sofrer deformação irreversível sem se romper ou se esfregar. O limite de plasticidade indica o menor teor de umidade com o qual se molda um cilindro de 3 mm de diâmetro, utilizando a palma da mão. Assim que efetuado leva-se as amostras para estufa por 24 (vinte e quatro) horas a fim de obter o teor de umidade dos cilindros. (BERNUCCI *et al.*, 2008).

2.1.2.2 Limite de liquidez

Indica a porcentagem de umidade necessária para um solo ser experimentado em um equipamento chamado Casagrande, que consiste em um recipiente (prato) metálico e côncavo, preso a um pivô em sua borda, apoiado a uma base de ebonite (borracha dura) onde uma pasta do solo é colocada, fazendo uma ranhura de 13 mm com um entalhe padronizado (cinzel), conta-se a quantidade de golpes necessários para a pasta se unir. Devem ser feitas determinações repetidas até que duas determinações sucessivas forneçam o mesmo número, logo após esse processo deve-se levar as amostras para estufa a fim de obter o teor de umidade do material. (BERNUCCI *et al.*, 2008).

2.1.3 Descrição e classificação dos solos para fins rodoviários

Tanto a descrição dos solos como sua classificação exige um conhecimento de graduação e da plasticidade, Senço (2007) considera que a forma mais resumida de classificar um solo é a sua granulometria, no entanto, este parâmetro não atende suas

finalidades quanto ao uso para pavimentação por não levar em conta um fator fundamental para este tipo de atividade que é a plasticidade.

O constante crescimento dos países com clima tropical fez com que estes países desenvolvessem estudos para seus solos, observou-se que as propriedades dos solos finos não eram atendidas para a geotecnia, sendo incorporados gradativamente conceitos de pedologia e geologia para o entendimento de solos destas regiões. (BALBO, 2007).

2.1.4 Solo-agregado ou solo-brita

As características de um solo natural sozinhas, às vezes, não atendem as especificações e nuances de um projeto de estradas, mas o aproveitamento de um solo com certas características ou propriedades indesejáveis não deve ser descartado. O emprego de procedimentos de melhoria das características físicas do solo com a adição de agregados é largamente utilizado em muitas regiões do Brasil e em outros países de clima tropical úmido. (NOGAMI, 1992 apud BALBO, 2007)¹. A adição de agregados granulometricamente estabilizado com solo de comportamento não laterítico quando se busca uma melhoria de resistência ao cisalhamento, por exemplo, é vantajosa uma dosagem com o mínimo de solo possível, para as características mecânicas dos agregados prevaleçam, sendo assim, requerem um estudo contínuo e intermitente para serem analisadas as vantagens econômicas e mecânicas da mistura. (BALBO, 2007).

2.1.5 Classificação AASHTO/DNIT

A classificação mais empregada no Brasil e a mais utilizada mundialmente é a classificação da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) regulamentada no Brasil pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT). Neste sistema os solos são classificados sob os grupos A-1 à A-7, sendo que os solos de materiais granulares são os A-1, A-2 e A-3 dos quais 35% das partículas passam pela peneira nº 200, os demais grupos A-4, A-5, A-6 e A-7 que

¹ NOGAMI, J. S. **Metodologia MCT e suas aplicações em obras viárias**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1992. Notas de aula da disciplina PTR-786.

passam mais do que 35% na peneira nº 200 são na maioria das vezes considerados siltes e materiais semelhantes a argilas. (DAS, 2007).

2.1.6 Compactação

Pode-se entender de compactação de solo como um aumento de densidade do material reduzindo seus vazios, comprimindo-os por meios mecânicos. Ralph R. Proctor (1894 – 1962), em 1933, no estado da Califórnia observou que a densidade atingida no solo era proporcional ao seu grau de umidade. Obter a maior massa específica aparente possível num solo por meio de aplicação de energia mecânica pressupõe em obter a maior quantidade de partículas sólidas por unidade de volume, causando assim o aumento da resistência do solo. (SENÇO, 2007).

2.1.7 Índice de Suporte Califórnia (*Californian Bearing Ratio*)

Para o dimensionamento de estruturas de pavimentos no Brasil o parâmetro de caracterização mecânica mais utilizada é o Índice de Suporte Califórnia, com abreviatura de ISC em português e CBR em inglês, com o intuito de avaliar o potencial de ruptura do subleito no estado da Califórnia no final da década de 20, uma vez que era o defeito mais frequente observado na época. (PORTER, 1950). Na época que o ensaio foi desenvolvido foram selecionados os melhores materiais granulares de bases para pavimentos, sendo obtido por meio de ensaio penetrométrico no laboratório o valor de referência ou padrão, que foi estabelecido em 100%, assim, todos os materiais correspondem a um valor de porcentagem, representando o quão melhor ou pior é sua resistência no ensaio ISC por referência a um “material padrão”. (BERNUCCI *et al.*, 2008).

2.2 Pavimento

É uma estrutura de múltiplas camadas estabelecidas em projeto, variando de espessura de acordo com a necessidade, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada a resistir a esforços de tráfego de veículos e do clima,

distribuí-las minoradas no subleito estratal, e dar condições de conforto e segurança de rolamento. (BERNUCCI *et al.*, 2008).

2.3 MATERIAIS E MÉTODOS

2.4 Normas e especificações técnicas

Neste item irão ser descritas as normas e especificações técnicas que melhor definem o estudo de solos para a confecção de um solo granulometricamente estabilizado com agregados, garantindo um preenchimento dos vazios a fim de prezar pela resistência mecânica e uma melhor análise laboratorial.

2.4.1 Peneiras de malhas quadradas para análise granulométrica de solos – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) – Especificações de Material (EM) 035/95

Esta norma fixa as condições gerais exigíveis para peneiras de malhas quadradas que tem por objetivo à análise granulométrica dos solos, possuindo as seguintes características:

- a) Peneira para ensaio: instrumento formado por um meio de peneiramento rigidamente fixado no meio de uma armação indeformável, e que se destina à análise granulométrica de sistemas dispersos.
- b) Meio de peneiramento: superfície metálica que possui aberturas no formado regular e dimensões uniformes distribuídas homoganeamente em sua área livre.
- c) Tela de fios tecidos: meio de peneiramento compostos por fios dispostos por trama e urdidura, que, entrelaçados ortogonalmente, formam malhas de seção quadrada e de dimensões uniformes.
- d) Malha: superfície quadrada entre fios adjacentes cuja separação caracteriza sua abertura.
- e) Abertura: menor separação, medida no centro da malha, entre dois fios sucessivos.
- f) Abertura nominal: abertura ideal que caracteriza a designação de uma peneira para ensaio.
- g) Abertura média: abertura decorrente da média aritmética calculada com base na medição de um determinado número de malhas, em pelo menos duas áreas

da tela, escolhidas aleatoriamente, para verificação das tolerâncias dimensionais.

- h) Caixilho:** componente da peneira destinado a ser armação da tela e parede que limita lateralmente o espaço de peneiramento. Os caixilhos redondos devem ser metálicos, com parede interna lisa e sem emendas, contendo uma chapa metálica de espessura mínima de 8 mm. Os de formato quadrado podem ser de metal ou madeira resistente, sendo de suficiente rigidez para não distorcer a tela quando em uso.

2.4.2 Base estabilizada granulometricamente – DNER – Especificação (ES) 303/97

Esta norma regulariza os métodos a serem empregados na elaboração do material a ser empregado na execução de uma base granulometricamente estabilizada, tendo que apresentar as seguintes características:

a) Quando submetidos aos ensaios:

- DNER – ME 080/94 – Solos – Análise granulométrica por peneiramento.
- DNER – ME 082/94 – Solos – Determinação do limite de plasticidade.
- DNER – ME 122/94 – Solos – Determinação do limite de liquidez.

Deverão possuir composições granulométricas satisfatórias a uma das faixas do quadro a seguir de acordo com o nº N de tráfego do DNER.

- A fração que passa na peneira nº 40 deverá apresentar limite de liquidez inferior ou igual a 25% e índice de plasticidade inferior ou igual a 6%.
- A porcentagem do material que passa na peneira nº 200 não deve ultrapassar 2/3 da porcentagem que passa na peneira nº 40.

b) Quando submetido aos ensaios:

- Norma Brasileira (NBR) 7182 – SOLO – Ensaio de compactação
- DNER – ME 049/94 – SOLOS – Determinação do índice Califórnia utilizando amostras não trabalhadas.
- O Índice de Suporte Califórnia (ISC), deverá ser superior a 60% e a expansão máxima será de 0,5% com energia de compactação intermediária.

- O agregado retido na peneira nº 10 deverá ser constituído de partículas duras e resistentes, isentas de fragmentos moles, alongados ou achatados, estes isentos de matéria animal ou vegetal ou outra substância que possa reagir com oxigênio ou água e/ou não esteja dimensionada ou projetada.

2.4.3 Coleta de amostras de agregados – DNER – Procedimento (PRO) 120/97

Esta norma fixa o procedimento de coleta de amostras de agregados para análise em laboratório com emprego de agregado miúdo retirado em pilhas de estocagem. As amostras devem ser obtidas de vários pontos da pilha, desde a crista até a base, perfazendo um total de 20 kg. As amostras devem ser retiradas com pá ou enxada conforme a seguinte indicação.

- A superfície da área da carga deve ser dividida em seis subáreas, formadas por interseção de uma linha mediana, traçada no sentido do comprimento do montante, com duas linhas transversais que a divide em partes iguais. Retirar de uma só vez amostras da superfície das subáreas;

2.4.4 Agregados – análise granulométrica – DNER – Método de Ensaio (ME) 083/98

Esta norma fixa o procedimento de análise granulométrica de agregados para análise em laboratório com emprego de agregado miúdo, obedecendo ao prescrito na DNER – PRO 120/97.

O ensaio consiste em:

- a) Secar uma porção da amostra em estufa (110 ± 5) °C, por 24 horas, e esfriar a temperatura ambiente e determinar sua massa total.
- b) Encaixar as peneiras, previamente limpas, no agitador de peneiras, de modo a formar um único conjunto de peneiras, com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo, com um fundo fechado adequado para o conjunto.
- c) Colocar a quantidade previamente pesada da amostra sobre a peneira superior do conjunto, de modo a evitar formar camada espessa de material sobre qualquer uma das peneiras.

Realizar o peneiramento da série de peneiras especificada ao caso pertinente, pela agitação mecânica do conjunto.

- d) O peneiramento deve ser continuado até que não mais que 1% da massa total da amostra passe em qualquer peneira, durante 1 (um) minuto.
- e) Em sequencia, pesar, com aproximação de 0.1% sobre a massa da total, o material retido em cada peneira, juntamente com a porção que porventura tenha ficado preso nas malhas, que é retirada com uma escova apropriada.
- f) O somatório de todas as massas retidas (item (f)) não deve diferir de mais de 0.3% da massa seca inicialmente introduzida no conjunto de peneiras.
- g) Caso não haja agitador de peneiras mecânico, a agitação manual de cada peneira de ser realizada, inicialmente na peneira de maior abertura e subsequentemente nas demais da série (ordem decrescente), sendo que sua agitação deve ser feita em movimentos laterais e circulares alternados, tanto no plano horizontal quanto no vertical e inclinado.
- h) Os cálculos devem ser obtidos da porcentagem de cada peneira em comparação com a total inicial da amostra seca para realização de um gráfico.

2.4.5 Coleta de amostras deformadas de solos – DNER – PRO 003/94

Esta norma fixa o modo no qual o procedimento de coleta de amostras de solos deve ser realizado para análise em laboratório. Em frente ao local a ser prospectado, é colocado uma lona onde serão depositadas as amostras coletadas a fim de extrair qualquer material de procedência orgânica, posteriormente, as amostras são colocadas em sacos plásticos. As quantidades mínimas das amostras para serem realizados os ensaios de caracterização e de compactação de ISC devem ser respectivamente, de 10 kg a 60 kg.

2.4.6 Amostras de solo – preparação para ensaio de compactação e caracterização – NBR 6457

Esta norma normatiza o método para a preparação de amostras de solos para ensaios de caracterização e compactação realizados em laboratório. Inicialmente deve-se colocar a amostra para ser seca ao ar, ou por aparelho secador, desde que não

ultrapasse a 60°C, para que não haja mudanças nas características do solo. Deve-se também eliminar os torrões da amostra com um almofariz, tomando cuidado para não diminuir o tamanho natural das partículas, para posteriormente ser peneirado pela peneira 2,0 mm, devendo ficar retido somente os grãos maiores que a abertura da malha da peneira.

2.4.6.1 Amostra para análise granulométrica

Tomar uma fração da amostra obtida da parcela seca ao ar e passar pela peneira 76 mm, desprezando a parcela eventualmente retida. De a parcela passante tomar 1 (um) quilo e efetuar o ensaio.

2.4.6.2 Amostra para determinação dos limites de Atterberg

Tomar uma fração da amostra obtida da parcela seca ao ar e passar na peneira 0.42 mm, de modo a se ter cerca de 200 (duzentos) g de material passado. O material assim obtido constitui a amostra a ser ensaiada. Para ambos os ensaios (limite de liquidez e plasticidade) deve-se efetuar o mesmo processo.

2.4.6.3 Amostra para ensaio de compactação

Com a utilização de um repartidor ou de um quarteador de amostras, reduzir a quantidade de material até se obter uma amostra representativa em quantidade suficiente para a realização do ensaio (cerca de 35 (trinta e cinco) quilos).

2.4.7 Solo – Ensaio de compactação – NBR 7182

Esta norma prescreve o método para determinar a relação entre umidade e massa específica aparente seca de solos quando compactados, de acordo com os processos especificados.

Para a execução deste ensaio foi adotado que será sem reuso do material utilizado em cada cilindro de compactação e energia intermediária (26 (vinte e seis) golpes por camada). Tomar a amostra seca ao ar e quarteada, e separa-la em 5 (cinco)

porções de 7 (sete) quilos, respeitando a porcentagem de argila e de material britado, ressalvando-se que a primeira porção deve estar com teor de umidade em torno de $5\% \pm 2$, abaixo da umidade ótima presumível, a segunda com umidade $2\% \pm 2$, superior à primeira e assim por diante para a construção de um gráfico de densidades e umidades.

2.4.8 Solo – Análise granulométrica por peneiramento – DNER – ME 080/94

Esta norma técnica define o procedimento de execução do método de ensaio de análise granulométrica por peneiramento. As peneiras a serem utilizadas são as 50 – 38 – 25 – 19 – 9,5 – 4,8 – 2,0 – 1,2 – 0,6 – 0,42 – 0,30 – 0,15 e 0,075 mm, inclusive tampa e fundo. A amostra de solo previamente seca ao ar e destorroada deve ser repartida em um quarteador até a uma amostra representativa de 1500 (um mil e quinhentos) g para solos argilosos, sendo este peso anotado como peso total da amostra seca ao ar.

Coloca-se a amostra representativa demonstrada por quarteamento anteriormente em um recipiente cilíndrico com capacidade de 5 litros, munido de bico vertedor para desagregar por lavagem a amostra de solo, com água esfregando-a com as mãos a fim de desagregar os torrões de solo ainda existentes. Verte-se a amostra com água de lavagem através das peneiras 2,0 mm e de 0,075, colocadas uma sobre a outra, tomando-se precaução de remover todo o material do recipiente com um jato de água. À peneira 2,0 mm é utilizada apenas como precaução para a malha da peneira 0,075 mm não sofra nenhum dano em sua malha. Todo este material depois de limpo deve ser colocado em uma cápsula de porcelana de no mínimo 500 ml e secada em estufa a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ por mais ou menos 24 horas ou até apresentar constância de peso. Após a secagem completa do material as peneiras a serem utilizadas para o término do ensaio são as referidas acima, calcula-se a porcentagem em relação ao peso da amostra total seca.

2.4.9 Solos – Determinação do limite de liquidez – DNER – ME 122/94

Esta norma técnica contém o método de referência para a determinação do limite de liquidez de solos.

O ensaio se consiste em pegar uma amostra do material seco ao ar livre de material orgânico e de material acima de 2,0 mm, e fazer sua homogeneização com

auxílio de espátula por 15 a 30 minutos, após a homogeneização deve-se colocar uma porção desta mistura no aparelho normatizado (Casagrande) e com o auxílio de um cinzel produzir uma canelura de 1 (um) centímetro de espessura na massa de solo segundo o plano de simetria do aparelho, girar a manivela do aparelho até que as duas bordas da canelura se unam na extensão de 1 (um) centímetro, quando isso ocorrer deve-se transferir uma porção para recipientes adequados e fazer a pesagem imediata, levando-o a seguir para estufa a $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ para determinar a umidade.

Os valores de umidade e número de golpes são representados em um sistema de eixos ortogonais, no qual, na ordenada escala logarítmica, são representados os números de golpes e na abscissa, em escala aritmética, os correspondentes teores de umidade, pelos pontos lançados será traçada uma reta, tão próxima quanto possível, de pelo menos 3 (três) pontos, o resultado, expresso em porcentagem, é aproximado para o número inteiro mais próximo.

2.4.10 Solos – Determinação do limite de plasticidade – DNER – ME 082/94

Esta norma técnica prescreve o método de execução do ensaio de laboratório para determinação do limite de plasticidade de solos, junto com sua aparelhagem e condições para obtenção do resultado.

Para a realização do ensaio separam-se cerca de 50g da amostra previamente seca ao ar e sem material orgânico ou maior que 2,0 mm. Coloca-se a amostra em uma cápsula de porcelana de aproximadamente 500 ml e se junta água destilada em quantidade suficiente para a obtenção de uma massa plástica, prezando pela homogeneização da massa. Em uma placa esmerilhada, separam-se cerca de 20 g dessa massa, obtida na descrição acima, modelando-a na forma elipsoidal. Rola-se essa massa entre os dedos e a face esmerilhada da placa de vidro, com pressão suficiente, a fim de moldá-la na forma de um cilindro comparador de 3 mm de diâmetro uniforme, o número de rolagens deverá estar compreendido entre 80 e 90 por minuto, considerando-se uma rolagem como movimento de mão para frente e mão para trás, retornando ao ponto de partida. Assim que feito os cilindros de solo separa-se cerca de 5 exemplos desses cilindros e pesa-se, após a pesagem serem levados a uma estufa de secagem a $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ para obtenção da umidade, o limite de plasticidade é a média de umidade entre esses cilindros de solo.

2.4.11 Solos – Determinação do limite de plasticidade – DNER – ME 082/94

Esta norma técnica, fixa as condições, e aparelhagens a serem utilizadas para a execução do ensaio de laboratório, em amostras não trabalhadas.

O termo amostras não trabalhadas significa a não reutilização da amostra já ensaiada para um novo ensaio. O ensaio consiste em utilizar os 3 (três) pontos de umidade e densidade ótima obtidos no ensaio de compactação orquestrados sob a norma NBR 7182. Após a realização do ensaio de compactação toma-se os 3 (três) pontos ótimos e retira-se o disco espaçador da amostra, e com os moldes invertidos devem ser fixados nos respectivos pratos-base perfurados. No corpo de prova de maior densidade deverá ser adaptado, na haste de expansão, um extensômetro fixo ao tripé porta-extensômetro, colocado na borda superior do cilindro, e deverão ser anotadas de 24 (vinte e quatro) em 24 (vinte e quatro) horas, em relação a altura inicial do corpo-de-prova, em cada corpo de prova deverá ser deixado dois pesos anelares que equivalem ao peso do pavimento. Os corpos-de-prova deverão ser imersos em água por 96 (noventa e seis) horas.

Terminando o período de embebição os corpos-de-prova estarão prontos para a penetração. O ensaio de penetração deverá ser realizado em uma prensa chamada “Prensa de C.B.R.”, onde se é feito o assentamento do pistão de penetração no solo onde será aplicada uma carga de aproximadamente 4,5 kg (quatro e meio) controlada pelo ponteiro do extensômetro do anel dinamométrico. Aciona-se a manivela da prensa a uma velocidade de 1.27 mm/min (0.05pol/min). Conforme a TAB. 1 a seguir, cada leitura do extensômetro do anel dinamométrico é função de uma penetração do pistão no solo mediante ao tempo especificado para o ensaio.

Tabela 1 – Leituras obtidas no extensômetro do anel em função da penetração do pistão no solo e do tempo

Tempo		Penetração		Leitura do extensômetro do anel (mm)
min	pol	mm		
0,5	0,025	0,635		-
1,0	0,050	1,270		-
1,5	0,075	1,905		-
2,0	0,100	2,540		-
3,0	0,150	3,810		-
4,0	0,200	5,080		-
6,0	0,300	7,620		-
8,0	0,400	10,160		-
10,0	0,500	12,700		-

Fonte: O autor, 2015

Tabela 2 - Cálculo do Índice de Suporte Califórnia

Tempo em minutos	Penetração		Pressão padrão kg/cm ²	Leituras no extensômetro mm	Molde N°		ISC %
	mm	pol			Pressão		
					Calculada kg/cm ²	Corrigida kg/cm ²	
0,5	0,63	0,025	-				
1	1,27	0,050	-				
1,5	1,90	0,075	-				
2	2,54	0,100	70				
3	3,81	0,150	-				
4	5,08	0,000	105				
6	7,63	0,300	132				
8	10,16	0,400	161				
10	12,70	0,500	182				

Fonte: DNER – ME 049/94

As colunas apresentadas na TAB.2 indicam:

- Coluna 1 – tempo;
- Coluna 2 – penetração ocorrida no tempo especificado;
- Coluna 3 – pressão padrão, que é a correspondente a um determinado tipo de pedra britada que apresenta Índice de Suporte Califórnia de 100%;
- Coluna 4 – leituras do extensômetro do anel dinamométrico;
- Coluna 5 – pressão corrigida
- Coluna 6 – o Índice de Suporte Califórnia (I.S.C).

A correção pode ser obtida pela seguinte fórmula:

$$\text{ISC} = \frac{\text{pressão calculada ou pressão corrigida} \times 100}{\text{Pressão padrão}}$$

Adotando-se o maior dos valores entre as penetrações 2.54 mm e 5.08 mm.

3 RESULTADOS ESPERADOS

Espera-se encontrar evidências de que a mistura de solo argiloso com material britado, não seja profícua, a não ser que utilizada em ambientes com peso controlado (balanças), pois a carga elevada de caminhões e carretas além de danificar o pavimento, forçará a argila a agir de modo plástico dentro da mistura agilizando o processo de desgaste e gerando patologias variadas.

4 METODOLOGIA

4.1 Classificação do estudo

Este estudo teve como propósito analisar específicas porcentagens de argila adicionada em material britado, para entender se suas características plásticas são passadas para a mistura.

A pesquisa foi realizada de maneira quantitativa, as amostras foram coletadas em campo e preparadas em laboratório e os resultados analisados por meio de gráficos.

4.2 Procedimento de coleta de dados

4.2.1 Solo

O solo escolhido foi coletado nas imediações da BR 354 ao lado do KM 58, onde funciona uma caixa de empréstimo, utilizada pela prefeitura, de acordo com a norma DNER – PRO 003/94, classificado visualmente como argila arenosa vermelha, e classificado por meio de ensaios como solo A-7-5, pela tabela *Highway Research Board* (HRB) de classificações de solos (FIG.1).

A coleta de dados resume-se a preparação da amostra, ensaios de granulometria, limites de Atterberg, compactação e de índice de suporte Califórnia.

Figura 1 – Caixa de empréstimo



Fonte: O autor, 2015.

4.2.2 Material Britado - BGS

A coleta do material britado foi efetuada aplicando as recomendações da norma técnica DNER – PRO 120/97. Este material é proveniente de uma mineradora da região de Arcos/MG, extraído de uma jazida de calcário pertencente à mineradora (FIG.2).

Figura 2 – Estoque da jazida de agregado



Fonte: O autor, 2015.

4.2.3 Preparação da amostra e ensaios de caracterização

Para esta parte do processo foram ensaiados cinco conjuntos de amostras, sendo as amostras de argila vermelha, conforme mostram as FIG.3 e FIG.4, e de brita graduada simples (BGS) demonstrada pela FIG.5, como comparativo entre as amostras de solo-agregado, explicitadas na TAB.3.

Tabela 3 – Composição das amostras

Ensaio	Mistura	Energia (golpes por camada)
1	Argila arenosa vermelha	18
2	Brita graduada simples	55
3	70% argila 30% BGS	55
4	50% argila 50% BGS	55
5	30% argila 70% BGS	55

Fonte: O autor, 2015

Figura 3 – Amostra secando ao ar

-

Fonte: O autor, 2015.

Figura 4 – Destorroamento da argila



Fonte: O autor, 2015.

Figura 5 – Preparação da BGS



Fonte: O autor, 2015.

4.2.3.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica foi imprescindível para a confecção das amostras de brita graduada simples, pois o material escolhido possuía muito material considerado como brita 2, que possui espessura variando entre 19mm e 32mm, analisadas pelo método do paquímetro, que foram retiradas da mistura a fim de deixar a amostra mais homogênea e fácil de trabalhar. A análise granulométrica do solo não demonstrou nenhuma variação e dificuldade, inclusive as amostras de solo-agregado.

Depois de realizada a mistura na qual seriam realizados os ensaios de compactação, foram feitas as análises granulométricas, por via lavada, de todas as amostras ensaiadas (FIG. 6 e FIG.7).

Figura 6 – Granulometria lavada do solo



Fonte: O autor, 2015.

Figura 7 – Granulometria lavada de material britado



Fonte: O autor, 2015.

4.2.3.2 Limites de Atterberg

Para a caracterização exata e completa de um solo, de acordo com a norma DNER – ME 041/94, deve ser feito os limites de atterberg que se resumem principalmente no limite de liquidez (NBR 6459) e no limite de plasticidade (NBR

7180). As FIG. 8 a 16 demonstram o processo de execução de ensaio dos limites de liquidez e plasticidade.

Figura 8 – Amostra sendo separada



Fonte: O autor, 2015.

Figura 9 – Início do ensaio de limite de plasticidade



Fonte: O autor, 2015.

Figura 10 – Moldando o cilindro de solo para o limite de plasticidade



Fonte: O autor, 2015.

Figura 11 – Cilindro de solo com espessura de norma



Fonte: O autor, 2015.

Figura 12 – Corte dos cilindros



Fonte: O autor, 2015.

Figura 13 – Pesagem das amostras



Fonte: O autor, 2015.

Figura 14 – Preparação para a ranhura



Fonte: O autor, 2015.

Figura 15 – Ranhura após encontro



Fonte: O autor, 2015.

Figura 16 – Separação para pesagem



Fonte: O autor, 2015.

4.2.3.3 Compactação

Para o ensaio de compactação foram ensaiadas 25 amostras, dentre as amostras 5 eram de brita graduada simples e 5 de material argiloso para efeito de comparação com os resultados da compactação do solo-agregado, preparadas de acordo com a NBR 6457, e executadas de acordo com a NBR 7182. As FIG.17 a 20 demonstram o processo de compactação do ensaio de uma amostra.

Figura 17 – Homogeneização de solo-agregado



Fonte: O autor, 2015.

Figura 18 – Material homogeneizado



Fonte: O autor, 2015.

Figura 19 – Início da compactação do ensaio



Fonte: O autor, 2015.

Figura 20 – Material compactado



Fonte: O autor, 2015.

4.2.3.4 Ensaio de compressão simples - ISC

O ensaio consiste na utilização dos 3 pontos de umidade ótima utilizados e caracterizados no ensaio de compactação, seguindo as recomendações da norma DNER – ME 049-94. As FIG.21 a 24 o processo de compressão simples ISC.

Figura 21 – Prensa de CBR



Fonte: O autor, 2015.

Figura 22 – Amostra sendo preparada para o rompimento



Fonte: O autor, 2015.

Figura 23 – Colocação dos pesos anelares



Fonte: O autor, 2015.

Figura 24 – Rompimento da amostra



Fonte: O autor, 2015.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

6.1 Compactação

No ensaio de compactação as amostras de argila pura e de material britado puro foram compactadas a fim de estabelecerem uma relação entre suas densidades e para servirem de comparação para as amostras de solo-agregado e suas porcentagens.

O processo mais moroso se mostrou ser o de preparação das amostras de BGS para a mistura com o solo, todo o material britado foi cuidadosamente extraído do estoque e de uma única vez, para não haver diferenças entre as amostras. As planilhas completas estão no Apêndice A.

6.2 Granulometria

O ensaio de granulometria se mostrou coerente com as porcentagens adicionadas de material britado, mostrando a eficácia da confecção de todas as amostras com uma única extração de material dos montes. Os resultados estão no Apêndice B.

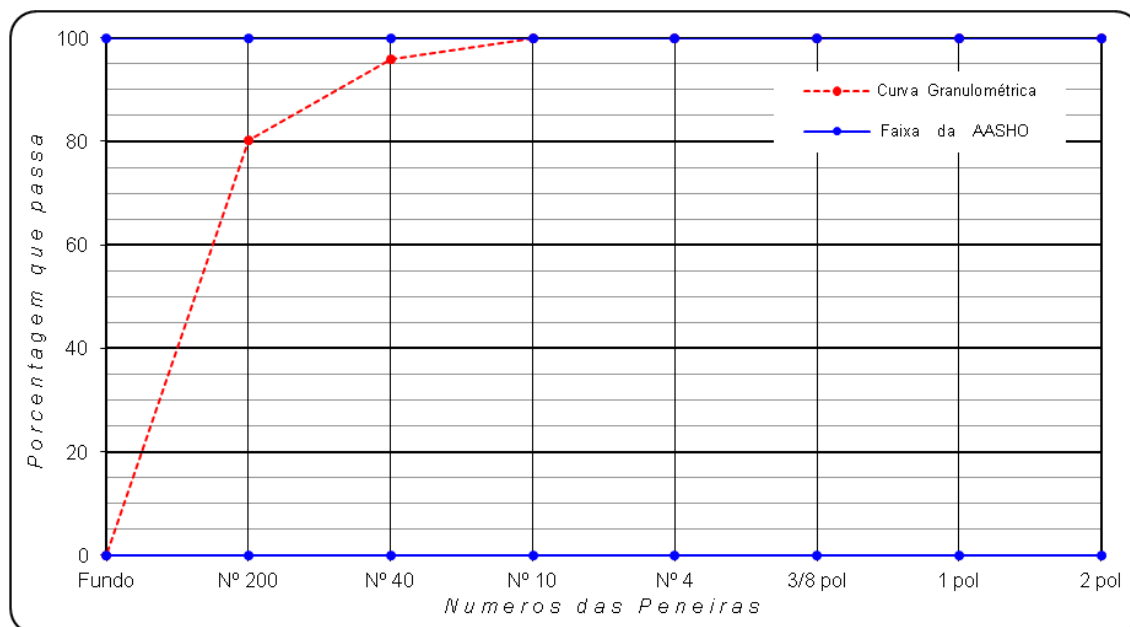
Tabela 4 – Granulometria da argila vermelha

Preparação da Amostra				Umidade Higroscópica		
Amostra Total			Equivalente de areia	Capsula	n°	6
Peso Amostra Total Úmida	g	2.000,0		Cap.+ Solo + Água	g	511,88
Retido acima da # N° 10	g	0,0		Capsula + Solo	g	469,68
Passando # N° 10 Úmida	g	2.000,0		Peso Capsula	g	11,88
Passando # N° 10 Seco	g	1.831,2		Peso da Água	g	42,20
Amostra Total Seca	g	1.831,2		Peso Solo Seco	g	457,80
Peso Amostra # N° 10 Úmida	g	200,0		Umidade	%	9,2
				Peso Amostra # N° 10 Seca	g	183,1
Peneiramento de Material						

Peneira	Material Retido			RESUMO		
	Peso em (g.)	Porcentagem		Que passa da amostra total	Pedregulho % retida acima da # N° 4	
		Amostra total	Acumulada			0
2 pol	0,0	0,00	0,00	100,0	Areia Grossa # N° 4 à # N° 10	0
1 pol	0,0	0,00	0,00	100,0	Areia Média # N° 10 à # N° 40	4
3/8 pol	0,0	0,00	0,00	100,0	Areia Fina # N° 40 à # N° 200	16
N° 4	0,0	0,00	0,00	100,0	Silte + Argila passando na # N° 200	80
N° 10	0,0	0,00	0,00	100,0	TOTAL %	100
N° 40	7,3	3,99	96,01	96,0	% de Areia Grossa, Média e Fina	20
N° 200	28,8	15,73	80,29	80,3	Faixa da AASHO	F. F

Fonte: O autor, 2015.

Gráfico 1 - Granulometria da argila vermelha



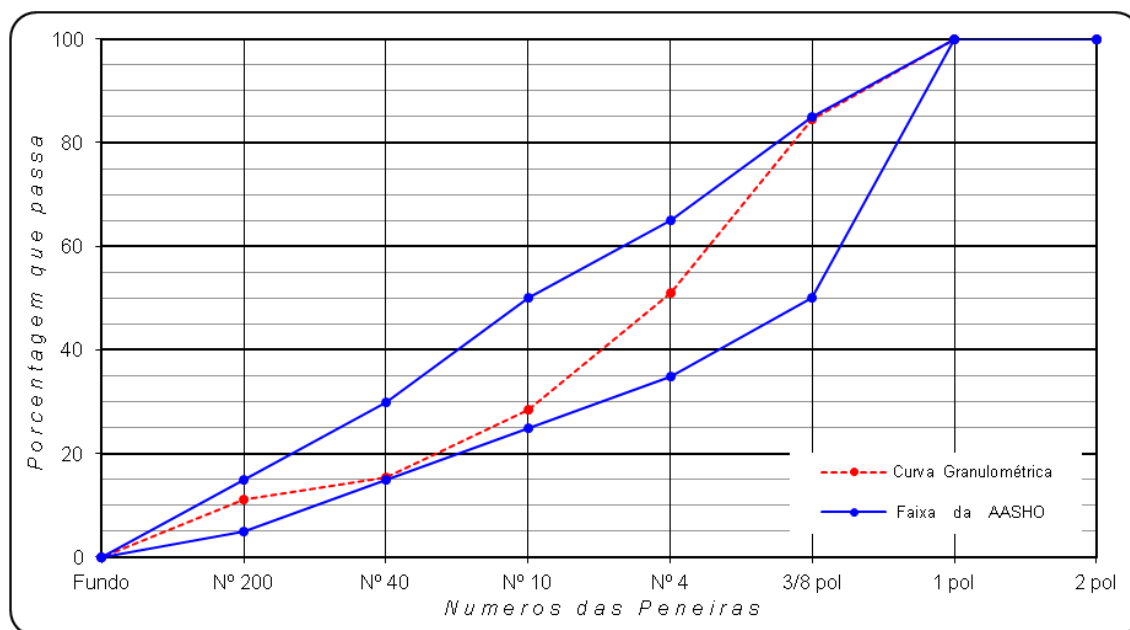
Fonte: O autor, 2015.

Tabela 5 – Granulometria BGS

Preparação da Amostra					Umidade Higroscópica	
Amostra Total			Equivalente de areia	Capsula	n°	5
Peso Amostra Total Úmida	g	2.000,0		Cap.+ Solo + Água	g	100,00
Retido acima da # N° 10	g	1.427,1		Capsula + Solo	g	99,20
Passando # N° 10 Úmida	g	572,9		Peso Capsula	g	14,67
Passando # N° 10 Seco	g	567,5		Peso da Água	g	0,80
Amostra Total Seca	g	1.994,6		Peso Solo Seco	g	84,53
Peso Amostra # N° 10 Úmida	g	200,0		Umidade	%	0,9
				Peso Amostra # N° 10 Seca	g	198,1
Peneiramento de Material						
Peneira	Material Retido				RESUMO	
	Peso em (g.)	Porcentagem		Que passa da amostra total	Pedregulho % retida acima da # N° 4	
		Amostra total	Acumulada			
2 pol	0,0	0,00	0,00	100,0	Areia Grossa # N° 4 à # N° 10	23
1 pol	0,0	0,00	0,00	100,0	Areia Média # N° 10 à # N° 40	13
3/8 pol	310,7	15,58	15,58	84,4	Areia Fina # N° 40 à # N° 200	4
N° 4	665,8	33,38	48,96	51,0	Silte + Argila passando na # N° 200	11
N° 10	450,6	22,59	71,55	28,5	TOTAL %	100
N° 40	90,5	45,69	54,31	15,5	% de Areia Grossa, Média e Fina	40
N° 200	30,3	15,29	39,02	11,1	Faixa da AASHO	FAIXA C

Fonte: O autor, 2015.

Gráfico 2 - Granulometria BGS



Fonte: O autor, 2015.

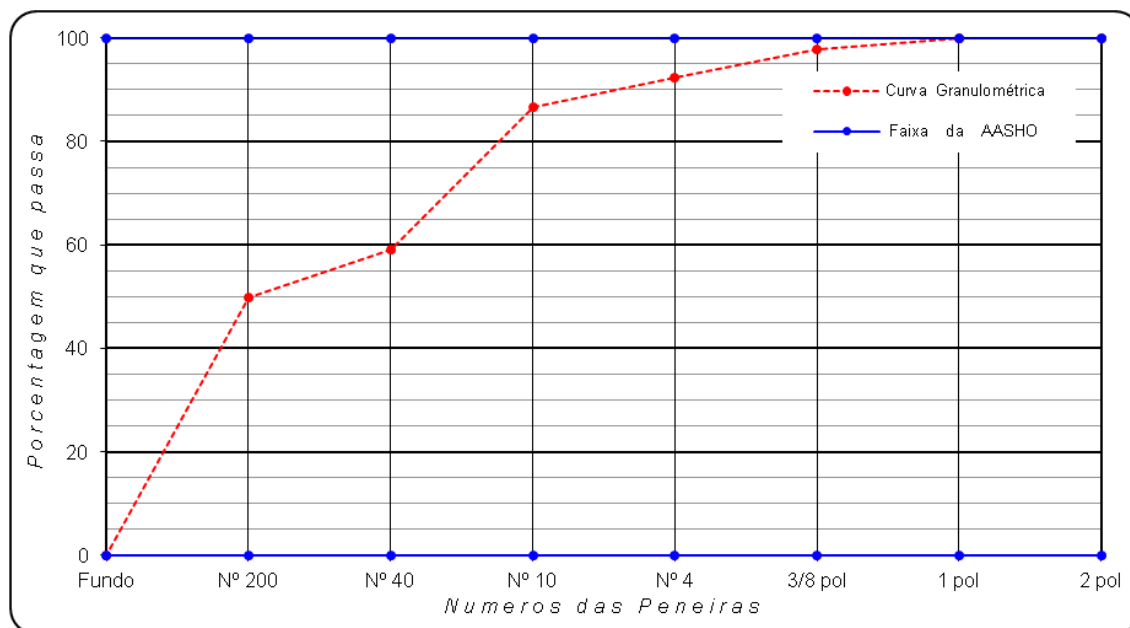
Tabela 6 – Granulometria solo-agregado 70% argila 30% BGS

Preparação da Amostra				Umidade Higroscópica		
Amostra Total				Capsula	nº	5
Peso Amostra Total Úmida	g	2.000,0		Cap.+ Solo + Água	g	204,15
Retido acima da # Nº 10	g	248,2		Capsula + Solo	g	189,76
Passando # Nº 10 Úmida	g	1.751,8		Peso Capsula	g	14,93
Passando # Nº 10 Seco	g	1.618,6		Peso da Água	g	14,39
Amostra Total Seca	g	1.866,8		Peso Solo Seco	g	174,83
Peso Amostra # Nº 10 Úmida	g	200,0		Umidade	%	8,2
				Peso Amostra # Nº 10 Seca		g
Peneiramento de Material						
Peneira	Material Retido				RESUMO	
	Peso em (g.)	Porcentagem			Pedregulho % retida	8
		Amostra	Acumulada	Que passa		

		total		da amostra total	acima da # N° 4	
2 pol	0,0	0,00	0,00	100,0	Areia Grossa # N° 4 à # N° 10	6
1 pol	0,0	0,00	0,00	100,0	Areia Média # N° 10 à # N° 40	28
3/8 pol	43,1	2,31	2,31	97,7	Areia Fina # N° 40 à # N° 200	9
N° 4	99,7	5,34	7,65	92,3	Silte + Argila passando na # N° 200	50
N° 10	105,4	5,65	13,30	86,7	TOTAL %	100
N° 40	58,7	31,77	68,23	59,2	% de Areia Grossa, Média e Fina	42
N° 200	19,8	10,71	57,52	49,9	Faixa da AASHO	F. F

Fonte: O autor, 2015.

Gráfico 3 - Granulometria solo-agregado 70% argila 30% BGS



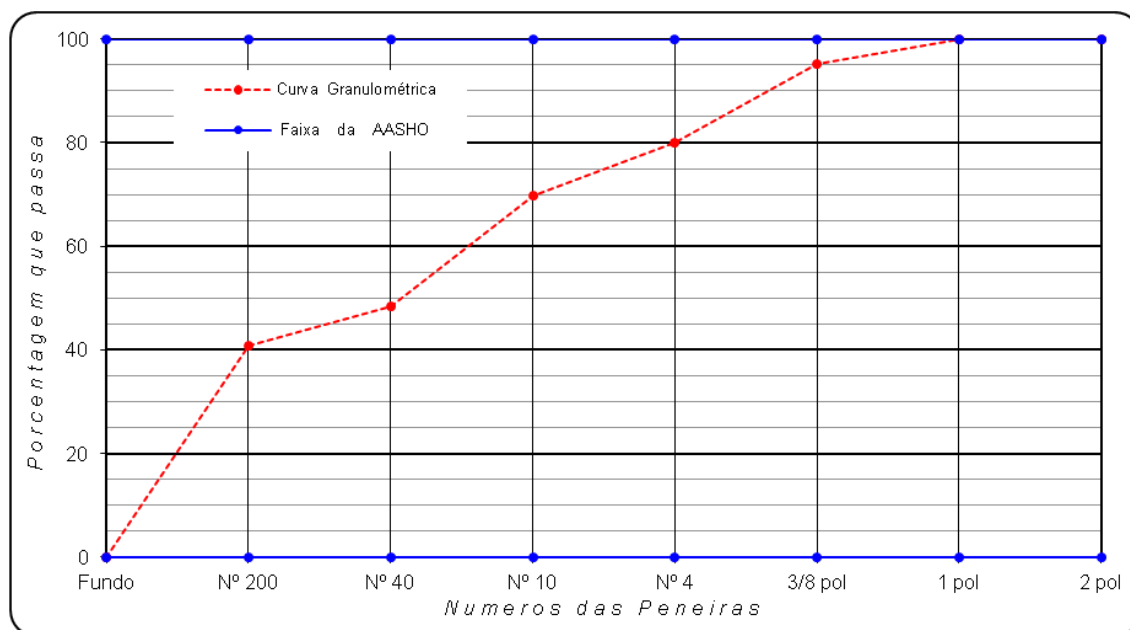
Fonte: O autor, 2015.

Tabela 7 – Granulometria solo-agregado 50% argila e 50% BGS

Preparação da Amostra					Umidade Higroscópica	
Amostra Total			Equivalente de areia	Capsula	n°	5
Peso Amostra Total Úmida	g	2.000,0			Cap.+ Solo + Água	g
Retido acima da # N° 10	g	593,3		Capsula + Solo	g	504,43
Passando # N° 10 Úmida	g	1.406,7		Peso Capsula	g	14,93
Passando # N° 10 Seco	g	1.377,2		Peso da Água	g	10,50
Amostra Total Seca	g	1.970,5		Peso Solo Seco	g	489,50
Peso Amostra # N° 10 Úmida	g	200,0		Umidade	%	2,1
				Peso Amostra # N° 10 Seca	g	195,8
Peneiramento de Material						
Peneira	Material Retido				RESUMO	
	Peso em (g.)	Porcentagem			Pedregulho % retida acima da # N° 4	20
		Amostra total	Acumulada	Que passa da amostra total		
2 pol	0,0	0,00	0,00	100,0	Areia Grossa # N° 4 à # N° 10	10
1 pol	0,0	0,00	0,00	100,0	Areia Média # N° 10 à # N° 40	21
3/8 pol	94,0	4,77	4,77	95,2	Areia Fina # N° 40 à # N° 200	8
N° 4	302,5	15,35	20,12	79,9	Silte + Argila passando na # N° 200	41
N° 10	196,8	9,99	30,11	69,9	TOTAL %	100
N° 40	60,0	30,64	69,36	48,5	% de Areia Grossa, Média e Fina	39
N° 200	21,6	11,03	58,32	40,8	Faixa da AASHO	F. F

Fonte: O autor, 2015.

Gráfico 4 - Granulometria solo-agregado 50% argila e 50% BGS



Fonte: O autor, 2015.

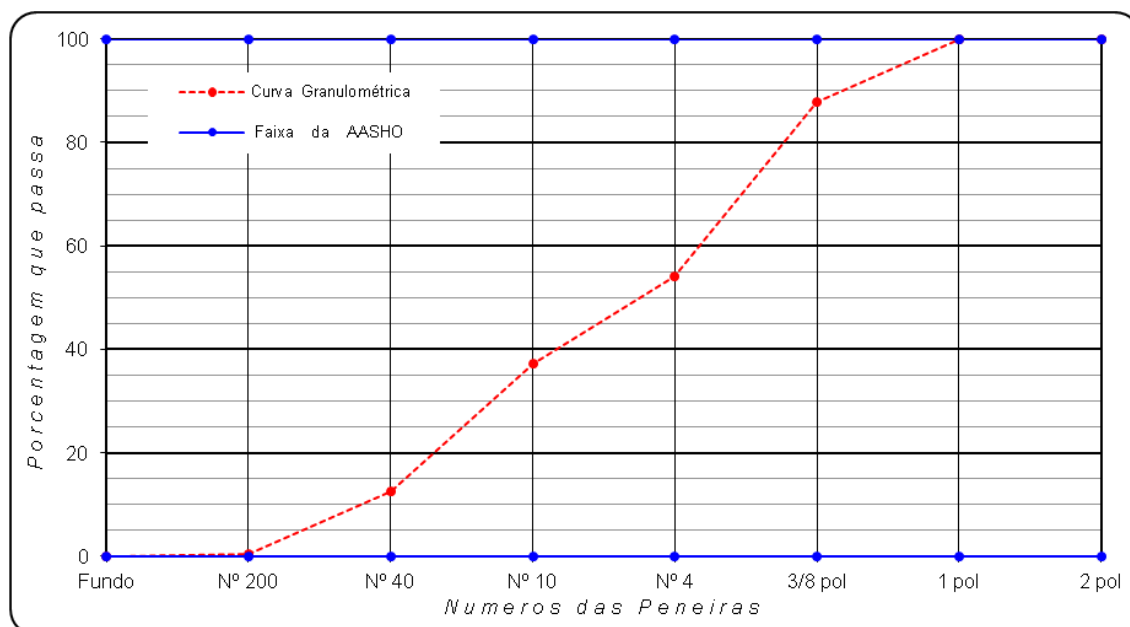
Tabela 8 – Granulometria solo-agregado 70% BGS e 30% argila

Preparação da Amostra				Umidade Higroscópica		
Amostra Total			Equivalente de areia	Capsula	nº	4
Peso Amostra Total Úmida	g	2.000,0		Cap.+ Solo + Água	g	216,29
Retido acima da # Nº 10	g	1.211,7		Capsula + Solo	g	199,06
Passando # Nº 10 Úmida	g	788,3		Peso Capsula	g	15,22
Passando # Nº 10 Seco	g	720,8		Peso da Água	g	17,23
Amostra Total Seca	g	1.932,4		Peso Solo Seco	g	183,84
Peso Amostra # Nº 10 Úmida	g	200,0		Umidade	%	9,4
				Peso Amostra # Nº 10 Seca	g	182,9
Peneiramento de Material						
Peneira	Material Retido				RESUMO	
	Peso em (g.)	Porcentagem			Pedregulho % retida acima da # Nº 4	46
		Amostra total	Acumulada	Que passa da		

				amostra total		
2 pol	0,0	0,00	0,00	100,0	Areia Grossa # N° 4 à # N° 10	17
1 pol	0,0	0,00	0,00	100,0	Areia Média # N° 10 à # N° 40	25
3/8 pol	236,5	12,24	12,24	87,8	Areia Fina # N° 40 à # N° 200	12
N° 4	648,7	33,57	45,81	54,2	Silte + Argila passando na # N° 200	0
N° 10	326,4	16,89	62,70	37,3	TOTAL %	100
N° 40	121,3	66,33	33,67	12,6	% de Areia Grossa, Média e Fina	54
N° 200	59,8	32,70	0,96	0,4	Faixa da AASHO	F. F

Fonte: O autor, 2015.

Gráfico 5 - Granulometria solo-agregado 70% BGS e 30% argila



Fonte: O autor, 2015.

6.3 Limites de Atterberg

Os limites de plasticidade, e liquidez, da amostra de argila foram para estipular o grau máximo do índice de plasticidade que o material alcançaria, haja visto que a

premissa do trabalho foi analisar se suas características plásticas seriam passadas para o material, mesmo após a mistura com material não plástico.

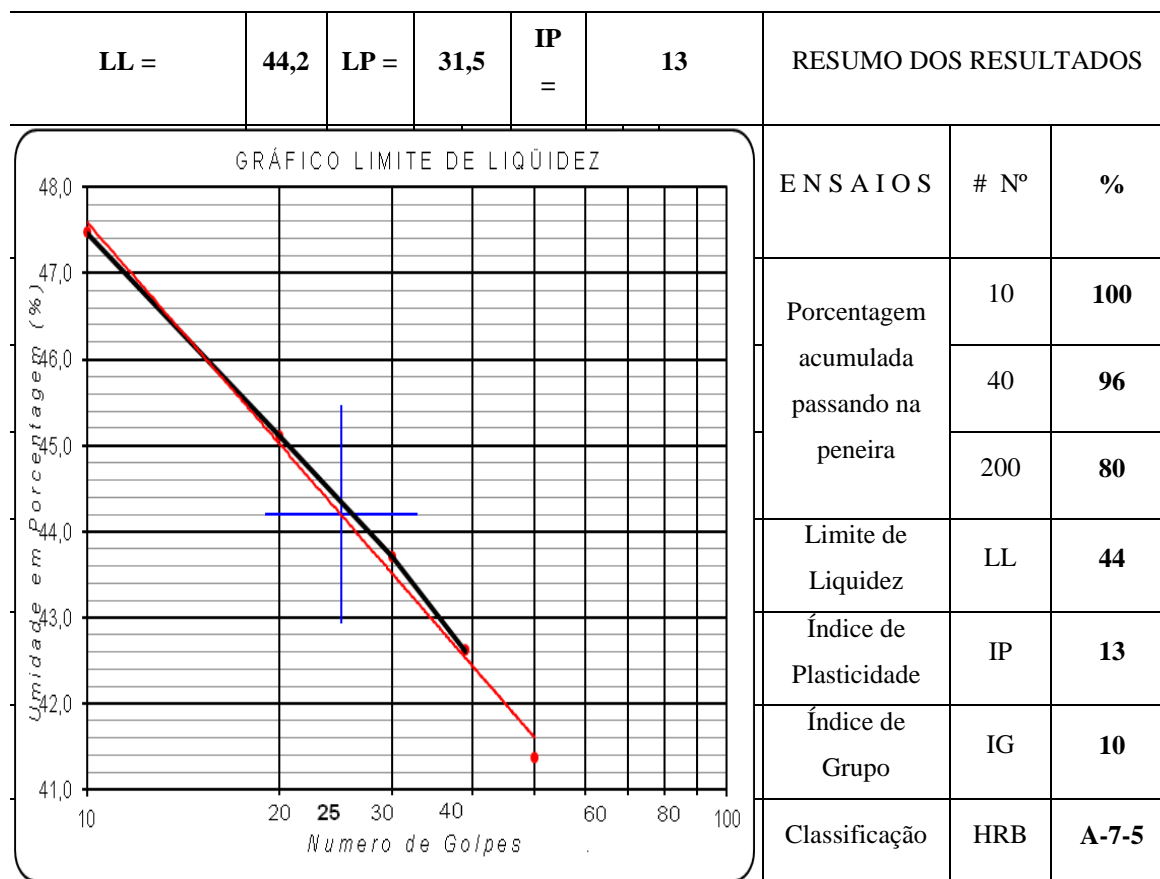
A amostra contendo adição de 30% (trinta) de material britado não demonstrou diferença no aspecto visual e de trabalho na realização do ensaio de limite de liquidez e limite de plasticidade, embora os resultados demonstraram uma queda nos teores de umidade.

A amostra contendo adição de 50 % (cinquenta) de material britado demonstrou ser mais susceptível a umidade, o limite de liquidez foi repetido mais de 2 (duas) vezes para a averiguação real do fechamento da ranhura no aparelho de Casagrande para não passar falsos resultados para o trabalho. O limite de plasticidade foi realizado também com uma preocupação acima da estipulada pela norma e foram realizados ensaios extras para a confirmação do grau de umidade.

A amostra com 70% de adição de material britado se mostrou menos influenciada pela argila e seus valores foram classificados como não plástico e não líquidos pelos ensaios. Todas as tabelas com os valores e análises estão no Apêndice C.

Tabela 9 – Limites de liquidez e plasticidade da argila vermelha

LIMITE DE LIQUIDEZ						
Números de Golpes	nº	50	39	30	20	10
Cápsula	nº	11	15	12	13	14
Cápsula + Solo + Água	g	20,62	20,81	19,64	21,34	20,85
Cápsula + Solo	g	16,06	16,25	15,65	16,86	16,44
Peso da Água	g	4,56	4,56	3,99	4,48	4,41
Peso da Cápsula	g	5,04	5,55	6,52	6,93	7,15
Peso Solo Seco	g	11,02	10,70	9,13	9,93	9,29
Teor de Umidade	%	41,4	42,6	43,7	45,1	47,5
LIMITE DE PLASTICIDADE						
Cápsula	nº	2	3	4	5	6
Cápsula + Solo + Água	g	9,68	10,45	10,64	10,76	9,86
Cápsula + Solo	g	9,16	9,44	9,51	9,36	8,88
Peso da Água	g	0,52	1,01	1,13	1,40	0,98
Peso da Cápsula	g	7,51	6,27	5,96	4,93	5,69
Peso Solo Seco	g	1,65	3,17	3,55	4,43	3,19
Teor de Umidade	%	31,5	31,9	31,8	31,6	30,7
Valores aceitáveis		Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

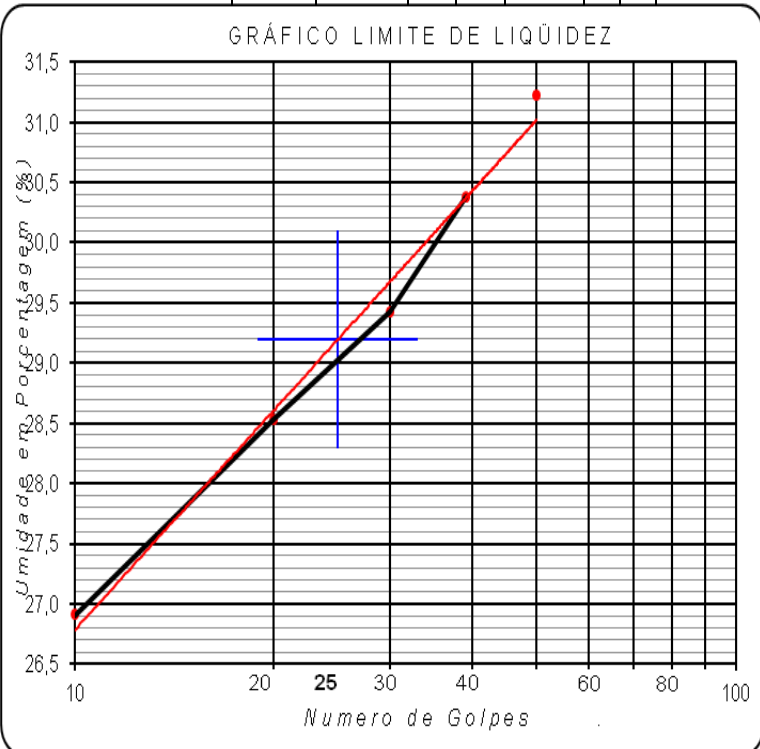


Fonte: O autor, 2015.

Tabela 10 – Limites de liquidez e plasticidade do solo-agregado com 70% de argila e 30% de BGS

LIMITE DE LIQUÍDEZ						
Números de Golpes	nº	50	39	30	20	10
Cápsula	nº	11	15	13	17	12
Cápsula + Solo + Água	g	20,13	21,13	19,86	20,47	21,00
Cápsula + Solo	g	16,54	17,50	16,92	17,36	17,93
Peso da Água	g	3,59	3,63	2,94	3,11	3,07
Peso da Cápsula	g	5,04	5,55	6,93	6,46	6,52
Peso Solo Seco	g	11,50	11,95	9,99	10,90	11,41
Teor de Umidade	%	31,2	30,4	29,4	28,5	26,9

LIMITE DE PLASTICIDADE						
Cápsula	nº	6	4	3	10	9
Cápsula + Solo + Água	g	12,32	12,00	11,46	12,45	11,22
Cápsula + Solo	g	11,12	10,87	10,51	11,43	10,20
Peso da Água	g	1,20	1,13	0,95	1,02	1,02

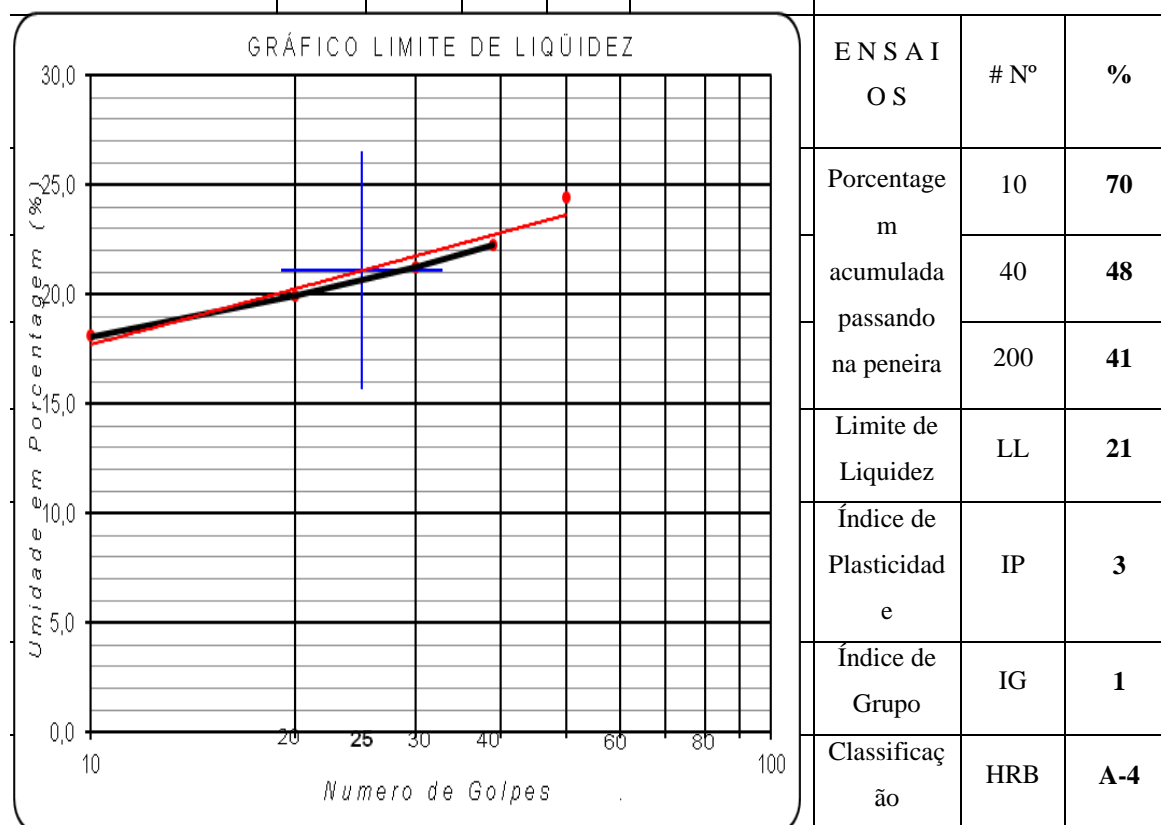
Peso da Cápsula	g	5,69	5,96	6,27	6,79	5,40
Peso Solo Seco	g	5,43	4,91	4,24	4,64	4,80
Teor de Umidade	%	22,1	23,0	22,4	22,0	21,3
Valores aceitáveis		Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
LL =	29,2	LP =	22,2	IP =	7	RESUMO DOS RESULTADOS
						
ENSAIOS		# N°	%			
Porcentagem acumulada passando na peneira		10	87			
		40	59			
		200	50			
Limite de Liquidez		LL	29			
Índice de Plasticidade		IP	7			
Índice de Grupo		IG	3			
Classificação		HRB	A-4			

Fonte: O autor, 2015.

Tabela 11 – Limites de liquidez e plasticidade de solo-agregado com 50% de argila e 50% de BGS

LIMITE DE LIQUIDEZ						
Números de Golpes	n°	50	39	30	20	10
Cápsula	n°	11	15	13	17	12
Cápsula + Solo + Água	g	21,58	20,64	20,73	19,86	21,14
Cápsula + Solo	g	18,33	17,89	18,31	17,63	18,90
Peso da Água	g	3,25	2,75	2,42	2,23	2,24
Peso da Cápsula	g	5,04	5,55	6,93	6,46	6,52
Peso Solo Seco	g	13,29	12,34	11,38	11,17	12,38

Teor de Umidade	%	24,5	22,3	21,3	20,0	18,1
LIMITE DE PLASTICIDADE						
Cápsula	n°	6	4	3	10	9
Cápsula + Solo + Água	g	9,52	10,63	11,06	11,40	10,85
Cápsula + Solo	g	8,93	9,91	10,32	10,69	10,02
Peso da Água	g	0,59	0,72	0,74	0,71	0,83
Peso da Cápsula	g	5,69	5,96	6,27	6,79	5,40
Peso Solo Seco	g	3,24	3,95	4,05	3,90	4,62
Teor de Umidade	%	18,2	18,1	18,3	18,2	18,0
Valores aceitáveis		Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
LL =	21,1	LP =	18,2	IP =	3	RESUMO DOS RESULTADOS



6.4 Compressão simples (C.B.R)

A argila vermelha se mostrou ser um material de boa trabalhabilidade e resistência à penetração muito satisfatória para um material argiloso, o índice máximo registrado no ensaio foi de 19%, haja vista que argilas na ordem de até 11% são muito bem cotadas dentro do mercado.

A brita graduada, assim como esperado, demonstrou um índice de suporte Califórnia de sua umidade ótima de 87%, identificando o teto máximo que as consequentes amostras de solo-agregado podem alcançar.

A amostra com 70% de argila e 30% de brita demonstrou uma trabalhabilidade melhorada em relação à argila vermelha pura, pois o material britado age como um auxiliador na homogeneização do composto. A amostra atingiu 32% de índice de suporte Califórnia.

O composto com 50% de argila e 50% de BGS se mostrou de difícil trabalhabilidade em relação a homogeneização e assimilação com a umidade adicionada, a amostra ainda manteve as características plásticas e líquidas da argila e atingiu 48% de índice de suporte califórnia.

O composto com 30% de argila e 70% de BGS demonstrou baixa aceitabilidade a variações de umidade e trabalhabilidade, assim como um material britado se comporta, e possuiu um fechamento de seus vazios mais satisfatórios em relação ao BGS puro. Seu índice de suporte Califórnia foi de 75%.

7 CONCLUSÃO

Com a análise e execução destes ensaios, chegaram-se às seguintes conclusões:

a) Compactação

Nos ensaios de compactação, a adição de material britado em suas respectivas porcentagens mostrou-se que a trabalhabilidade do material melhora gradativamente. E mesmo em quantidades pequenas de argila o material se mostra mais suscetível à compactação.

b) Granulometria

As granulometrias se mostraram coerentes com a adição do material britado, mostrando a eficiência de se fazer a coleta de uma só vez, evitando possíveis mudanças que podem ocorrer no processo de britagem da pedra calcária na jazida.

c) Limites de Atterberg

Os índices de liquidez e plasticidade foram indicadores de possíveis patologias que esse tipo de mistura pode oferecer. O grau de plasticidade e liquidez pode ser caracterizado sem problemas até a proporção de 50% de material britado adicionado à argila vermelha. Embora a classificação da mistura de solo-agregado com 70% de BGS e 30% de argila tenha sido de não plástico e não líquido, o comportamento plástico foi observado na execução do ensaio até a ordem de 15 golpes no equipamento de Casagrande, mas com o aumento da umidade não se pode mais quantificar, fazendo com que o material se feche independente a quantidade de golpes, classificando-o assim como material não plástico.

d) Compressão Simples (CBR)

A premissa do trabalho de caracterizar a porcentagem que seria necessária de argila em um material granulometricamente estabilizado e de características não plásticas, para que o mesmo demonstre que em situações de peso elevado, não pôde ser demonstrado no ensaio de Índice de Suporte Califórnia. Ao realizar o primeiro rompimento do corpo-de-prova a prensa de CBR mostrou-se não ter condições de trabalhar com pressões acima do estipulado em norma, tanto que o equipamento, dotado de engrenagens e de uma manivela manual, mostrou ter um sistema de segurança, para que assim que a pressão ultrapassasse a máxima

estipulada em norma, fizesse com que a manivela rodasse “em falso”, não deixando serem obtidas leituras acima das penetrações na ordem de 12,7 mm (0.5 pol.). Embora não haja no manual do equipamento tal especificação, nenhum ensaio foi realizado acima dessa penetração, por causa de tal efeito de sua mecânica.

REFERÊNCIAS

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

____. **NBR 6457**: Amostras de solo – preparação para ensaio de compactação e caracterização, Rio de Janeiro, 1986.

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projetos e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007, 558 p.

BAPTISTA, C. F. N. **Pavimentação**: tomo II: compactação dos solos no campo, camadas de base e estabilização dos solos. Porto Alegre: Globo, 1974. 178 p.

BAPTISTA, C. F. N. **Pavimentação**: tomo III: revestimentos, pavimentos rígidos e conservação dos pavimentos. Porto Alegre: Globo, 1975. 275 p.

BERNUCCI, L. B. *et al.* **Formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2007. 501 p.

CRAIG, R. F. **Mecânica dos solos**. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 359 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **ES 303**: Base estabilizada granulometricamente, Rio de Janeiro, 1997.

____. **PRO 120**: Coleta de amostra de agregados, Rio de Janeiro, 1997.

____. **EM 035**: Peneiras de malhas quadradas para análise granulométrica de solos, Rio de Janeiro, 1995.

____. **ME 083**: Agregados – análise granulométrica, Rio de Janeiro, 1998.

____. **PRO 003**: Coletas de amostras deformadas de solos, Rio de Janeiro, 1994.

____. **ME 080**: Solos – análise granulométrica por peneiramento, Rio de Janeiro, 1994.

____. **ME 122**: Solos – determinação do limite de liquidez, Rio de Janeiro, 1994.

____. **ME 082**: Solos – determinação do limite de plasticidade, Rio de Janeiro, 1994.

____. **ME 049**: Solos – determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas, Rio de Janeiro, 1994.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso básico de mecânica dos solos**. 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos. 367 p.

PORTER, O. J. **Development of the original method for highway design.** Development of CBR flexible pavement design method for airfields. New York Transactions of American Society of Civil Engineers, v. 115, p. 461-7, 1950.

APÊNDICE A – PLANILHAS DOS ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO

Argila vermelha

CLIENTE		Proctor:	INTERNORMAL		Nº golpes:	18	
COLETA:	ARGILA VERMELHA	Profundidade (m):	-	à	-	Data:	24/08/15
Determinação do Teor de Umidade							Higroscópica
Cápsula	nº						6
Cápsula + Solo + Água	g						511,88
Cápsula + Solo Seco	g						469,68
Peso da Cápsula	g						11,88
Água	g						25,27
Solo Seco	g						457,80
Teor de Umidade	%						9,2
Conferencia de Umidade							
Umidade Calculada	%	23,4	25,6	27,8	30,0	32,2	
Água Adicionada	%	13,0	15,0	17,0	19,0	21,0	
Água Adicionada	g	1040	1200	1360	1520	1680	
Determinação da Massa Específica							Peso da Amostra
Numero do Molde	nº	3	9	11	8	2	
Peso Molde + Solo + Água	g	7345	7715	7970	7895	7805	8000
Peso do Molde	g	3884	3880	3942	3990	4094	
Peso do Solo + Água	g	3461	3835	4028	3905	3711	Peso Aмос. Seco
Volume do Molde	dm³	2024	2036	2067	2049	2080	
Massa Específica Umida	g/dm³	1,710	1,884	1,949	1,906	1,784	7325
Massa Espec. Apar. Seca	g/dm³	1,386	1,500	1,525	1,466	1,350	
Densidade Máxima		1,527	g/dm³	Úmidade ótima		27,3	%

Massa específica apar. máxima g/dm³

23,0 24,0 25,0 26,0 27,0 28,0 29,0 30,0 31,0 32,0 33,0

P o r c e n t a g e m d e U m i d a d e

Fonte: O autor, 2015.

Brita graduada simples (BGS)

Furo:	-	Amostra:	1	Profundidade (m):	-	à	-	Data:	23/09/15
Determinação do Teor de Umidade									Higroscópica
Cápsula	nº								5
Cápsula + Solo + Água	g								103,61
Cápsula + Solo Seco	g								103,00
Peso da Cápsula	g								12,27
Água	g								25,27
Solo Seco	g								90,73
Teor de Umidade	%								0,7
Conferencia de Umidade									
Umidade Calculada	%	2,7	3,7	4,7	5,7	6,7			
Água Adicionada	%	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0			
Água Adicionada	g	140	210	280	350	420			
Determinação da Massa Específica									Peso da Amostra
Numero do Molde	nº	14	13	10	1	6			7000
Peso Molde + Solo + Água	g	8220	8530	8370	8340	8350			7000
Peso do Molde	g	4036	4244	3978	4002	4018			7000
Peso do Solo + Água	g	4184	4286	4392	4338	4332			7000
Volume do Molde	dm³	2050	2053	2051	2041	2045			Peso Aмос. Seco
Massa Específica Úmida	g/dm³	2,041	2,088	2,141	2,125	2,118			6953
Massa Espec. Apar. Seca	g/dm³	1,988	2,013	2,045	2,011	1,985			6953
Densidade Máxima		2,045	g/dm³	Úmidade ótima		4,7			%

Fonte: O autor, 2015.

70 % argila vermelha e 30% BGS

MATERIAL	70% argila vermelha 30% BGS		Profundidade (m):			-	à	-	Data:	03/07/15
Determinação do Teor de Umidade										Higroscópica
Cápsula	nº									5
Cápsula + Solo + Água	g									204,15
Cápsula + Solo Seco	g									198,30
Peso da Cápsula	g									14,93
Água	g									25,27
Solo Seco	g									183,37
Teor de Umidade	%									3,2
Conferencia de Umidade										
Umidade Calculada	%	11,4	12,5	13,5	14,5	15,6				
Água Adicionada	%	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0				
Água Adicionada	g	400	450	500	550	600				
Determinação da Massa Específica										Peso da Amostra
Numero do Molde	nº	7	1	13	5	2				5000
Peso Molde + Solo + Água	g	7585	7751	8238	7986	7886				
Peso do Molde	g	4022	4002	4244	4068	4094				
Peso do Solo + Água	g	3563	3749	3994	3918	3792				Peso Aмос. Seco
Volume do Molde	dm³	2068	2041	2053	2047	2080				
Massa Específica Umida	g/dm³	1,723	1,837	1,945	1,914	1,823				4845
Massa Espec. Apar. Seca	g/dm³	1,546	1,633	1,714	1,671	1,577				
Densidade Máxima		1,715	g/dm³	Úmidade ótima	13,7	%				

Massa específica apar. máxima g/dm³

11,0 11,5 12,0 12,5 13,0 13,5 14,0 14,5 15,0 15,5 16,0

P o r c e n t a g e m d e U m i d a d e

Fonte: O autor, 2015.

50% argila vermelha 50% BGS

COLETA:		50% ARGILA 50% BGS			Profundidade (m):		-	à	-	Data:	28/09/15
Determinação do Teor de Umidade											Higroscópica
Cápsula	nº										5
Cápsula + Solo + Água	g										514,93
Cápsula + Solo Seco	g										504,43
Peso da Cápsula	g										14,93
Água	g										25,27
Solo Seco	g										489,50
Teor de Umidade	%										2,1
Conferencia de Umidade											
Umidade Calculada	%	9,3	10,3	11,3	12,4	13,4					
Água Adicionada	%	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0					
Água Adicionada	g	560	640	720	800	880					
Determinação da Massa Específica											Peso da Amostra
Numero do Molde	nº	3	12	4	11	2					8000
Peso Molde + Solo + Água	g	7700	8220	8410	7980	8048					
Peso do Molde	g	3884	4158	4098	3942	4094					
Peso do Solo + Água	g	3816	4062	4312	4038	3954					
Volume do Molde	dm³	2024	2048	2054	2067	2080					Peso Aмос. Seco
Massa Específica Úmida	g/dm³	1,885	1,983	2,099	1,954	1,901					7832
Massa Espec. Apar. Seca	g/dm³	1,725	1,798	1,886	1,739	1,677					
Densidade Máxima		1,887	g/dm³	Úmidade ótima		11,3			%		
<p>Massa específica apar. máxima g/dm³</p> <p>P o r c e n t a g e m d e U m i d a d e</p>											

Fonte: O autor, 2015.

30% argila vermelha 70% BGS

COLETA:		30% ARGILA 70% BICA CORRIDA			Profundidade (m):		-	à	-	Data:	29/09/15
Determinação do Teor de Umidade										Higroscópica	
Cápsula	nº									4	
Cápsula + Solo + Água	g									216,29	
Cápsula + Solo Seco	g									199,06	
Peso da Cápsula	g									15,22	
Água	g									25,27	
Solo Seco	g									183,84	
Teor de Umidade	%									9,4	
Conferencia de Umidade											
Umidade Calculada	%	10,5	11,6	12,7	13,7	14,8					
Água Adicionada	%	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0					
Água Adicionada	g	80	160	240	320	400					
Determinação da Massa Específica										Peso da Amostra	
Numero do Molde	nº	3	11	12	9	2				8000	
Peso Molde + Solo + Água	g	7895	8354	8705	8258	8360					
Peso do Molde	g	3884	3942	4158	3880	4094					
Peso do Solo + Água	g	4011	4412	4547	4378	4266					
Volume do Molde	dm³	2024	2067	2048	2036	2080				Peso Aмос. Seco	
Massa Específica Úmida	g/dm³	1,982	2,134	2,220	2,150	2,051				7314	
Massa Espec. Apar. Seca	g/dm³	1,794	1,913	1,971	1,890	1,786					
Densidade Máxima		1,971	g/dm³	Úmidade ótima		12,6				%	
<p>Massa específica apar. máxima g/dm³</p> <p>P o r c e n t a g e m d e U m i d a d e</p>											

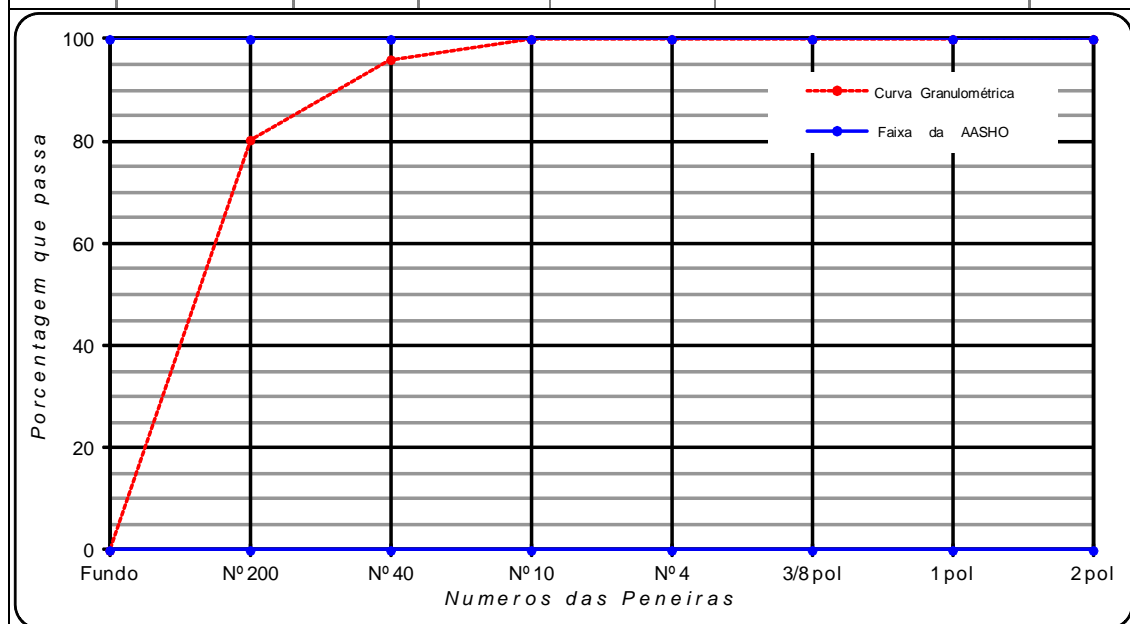
Fonte: O autor, 2015.

APÊNDICE B – GRANULOMETRIAS

Argila vermelha

Preparação da Amostra				Umidade Higroscópica		
Amostra Total				Equivalente de areia	Capsula	nº 6
Peso Amostra Total Úmida	g	2.000,0	Cap.+ Solo + Água		g	511,88
Retido acima da # Nº 10	g	0,0		Capsula + Solo	g	469,68
Passando # Nº 10 Úmida	g	2.000,0		Peso Capsula	g	11,88
Passando # Nº 10 Seco	g	1.831,2		Peso da Água	g	42,20
Amostra Total Seca	g	1.831,2		Peso Solo Seco	g	457,80
Peso Amostra # Nº 10 Úmida	g	200,0		Umidade	%	9,2
			Peso Amostra # Nº 10 Seca		g	183,1

Peneiramento de Material						
Peneira	Material Retido				RESUMO	
	Peso em (g.)	Porcentagem				
		Amostra total	Acumulada	Que passa da amostra total	Pedregulho % retida acima da # Nº 4	
2 pol	0,0	0,00	0,00	100,0	Areia Grossa # Nº 4 à # Nº 10	0
1 pol	0,0	0,00	0,00	100,0	Areia Média # Nº 10 à # Nº 40	4
3/8 pol	0,0	0,00	0,00	100,0	Areia Fina # Nº 40 à # Nº 200	16
Nº 4	0,0	0,00	0,00	100,0	Silte + Argila passando na # Nº 200	80
Nº 10	0,0	0,00	0,00	100,0	TOTAL %	100
Nº 40	7,3	3,99	96,01	96,0	% de Areia Grossa, Média e Fina	20
Nº 200	28,8	15,73	80,29	80,3	Faixa da AASHO	F. F

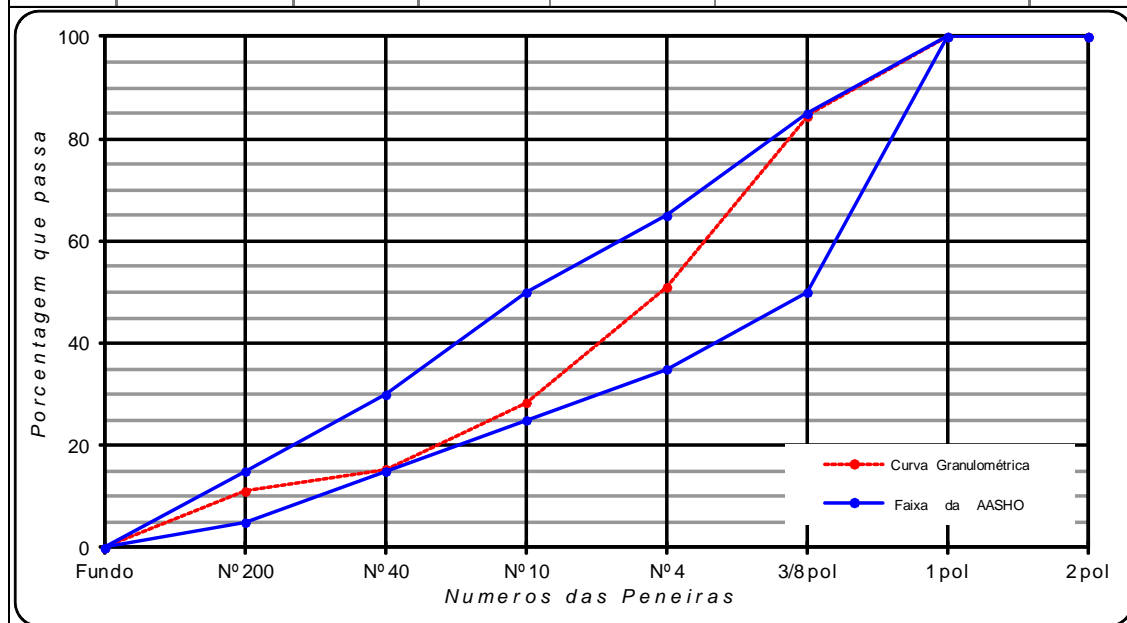


Fonte: O autor, 2015.

Brita graduada Simples (BGS)

Preparação da Amostra				Umidade Higroscópica		
Amostra Total			Equivalente de areia	Capsula	nº	5
Peso Amostra Total Úmida	g	2.000,0		Cap.+ Solo + Água	g	100,00
Retido acima da # Nº 10	g	1.427,1		Capsula + Solo	g	99,20
Passando # Nº 10 Úmida	g	572,9		Peso Capsula	g	14,67
Passando # Nº 10 Seco	g	567,5		Peso da Água	g	0,80
Amostra Total Seca	g	1.994,6		Peso Solo Seco	g	84,53
Peso Amostra # Nº 10 Úmida	g	200,0		Umidade	%	0,9
				Peso Amostra # Nº 10 Seca	g	198,1

Peneiramento de Material						
Peneira	Material Retido				RESUMO	
	Peso em (g.)	Porcentagem			Pedregulho % retida acima da # Nº 4	
		Amostra total	Acumulada	Que passa da amostra total		
2 pol	0,0	0,00	0,00	100,0	Areia Grossa # Nº 4 à # Nº 10	23
1 pol	0,0	0,00	0,00	100,0	Areia Média # Nº 10 à # Nº 40	13
3/8 pol	310,7	15,58	15,58	84,4	Areia Fina # Nº 40 à # Nº 200	4
Nº 4	665,8	33,38	48,96	51,0	Silte + Argila passando na # Nº 200	11
Nº 10	450,6	22,59	71,55	28,5	TOTAL %	100
Nº 40	90,5	45,69	54,31	15,5	% de Areia Grossa, Média e Fina	40
Nº 200	30,3	15,29	39,02	11,1	Faixa da AASHO	FAIXA C

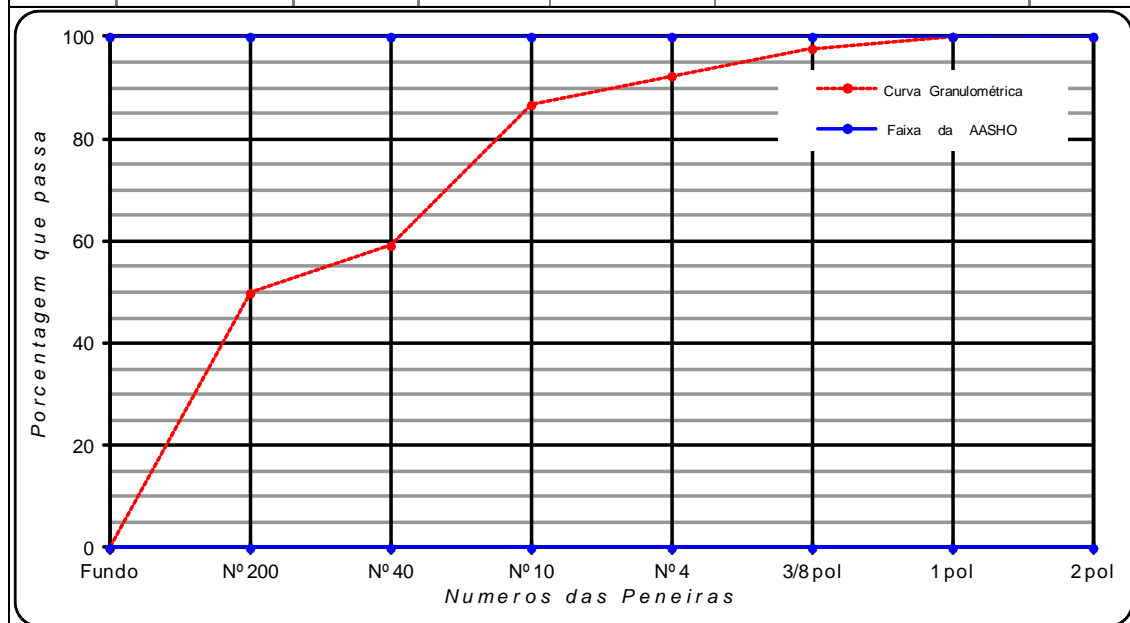


Fonte: O autor, 2015.

70% argila vermelha 30% BGS

Preparação da Amostra				Umidade Higroscópica			
Amostra Total				Capsula	nº	5	
Peso Amostra Total Úmida	g	2.000,0		Cap.+ Solo + Água	g	204,15	
Retido acima da # Nº 10	g	248,2		Capsula + Solo	g	189,76	
Passando # Nº 10 Úmida	g	1.751,8		Peso Capsula	g	14,93	
Passando # Nº 10 Seco	g	1.618,6		Peso da Água	g	14,39	
Amostra Total Seca	g	1.866,8		Peso Solo Seco	g	174,83	
Peso Amostra # Nº 10 Úmida	g	200,0		Umidade	%	8,2	
				Peso Amostra # Nº 10 Seca		g	184,8

Peneiramento de Material						
Peneira	Material Retido				RESUMO	
	Peso em (g)	Porcentagem			Pedregulho % retida acima da # Nº 4	
		Amostra total	Acumulada	Que passa da amostra total		
2 pol	0,0	0,00	0,00	100,0	Areia Grossa # Nº 4 à # Nº 10	6
1 pol	0,0	0,00	0,00	100,0	Areia Média # Nº 10 à # Nº 40	28
3/8 pol	43,1	2,31	2,31	97,7	Areia Fina # Nº 40 à # Nº 200	9
Nº 4	99,7	5,34	7,65	92,3	Silte + Argila passando na # Nº 200	50
Nº 10	105,4	5,65	13,30	86,7	TOTAL %	100
Nº 40	58,7	31,77	68,23	59,2	% de Areia Grossa, Média e Fina	42
Nº 200	19,8	10,71	57,52	49,9	Faixa da AASHO	F. F

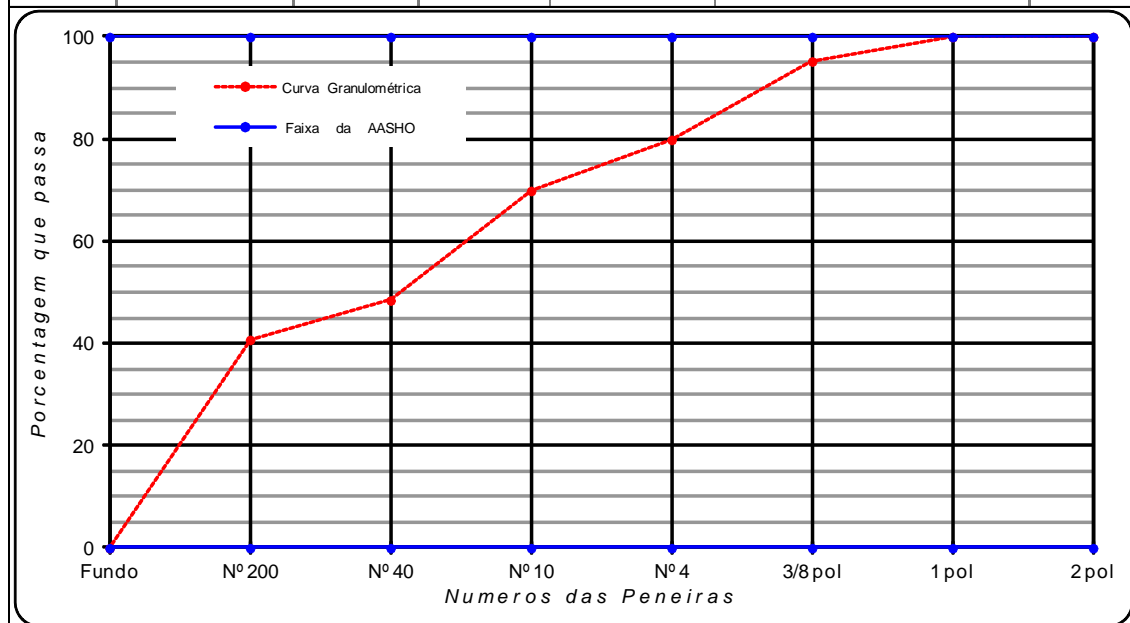


Fonte: O autor, 2015.

50% argila vermelha 50% BGS

Preparação da Amostra				Umidade Higroscópica			
Amostra Total				Equivalente de areia	Capsula	nº	5
Peso Amostra Total Úmida	g	2.000,0			Cap.+ Solo + Água	g	514,93
Retido acima da # Nº 10	g	593,3			Capsula + Solo	g	504,43
Passando # Nº 10 Úmida	g	1.406,7			Peso Capsula	g	14,93
Passando # Nº 10 Seco	g	1.377,2			Peso da Água	g	10,50
Amostra Total Seca	g	1.970,5			Peso Solo Seco	g	489,50
Peso Amostra # Nº 10 Úmida	g	200,0			Umidade	%	2,1
						Peso Amostra # Nº 10 Seca	g

Peneiramento de Material						
Peneira	Material Retido				RESUMO	
	Peso em (g.)	Porcentagem			Pedregulho % retida acima da # Nº 4	
		Amostra total	Acumulada	Que passa da amostra total		
2 pol	0,0	0,00	0,00	100,0	Areia Grossa # Nº 4 à # Nº 10	10
1 pol	0,0	0,00	0,00	100,0	Areia Média # Nº 10 à # Nº 40	21
3/8 pol	94,0	4,77	4,77	95,2	Areia Fina # Nº 40 à # Nº 200	8
Nº 4	302,5	15,35	20,12	79,9	Silte + Argila passando na # Nº 200	41
Nº 10	196,8	9,99	30,11	69,9	TOTAL %	100
Nº 40	60,0	30,64	69,36	48,5	% de Areia Grossa, Média e Fina	39
Nº 200	21,6	11,03	58,32	40,8	Faixa da AASHO	F. F

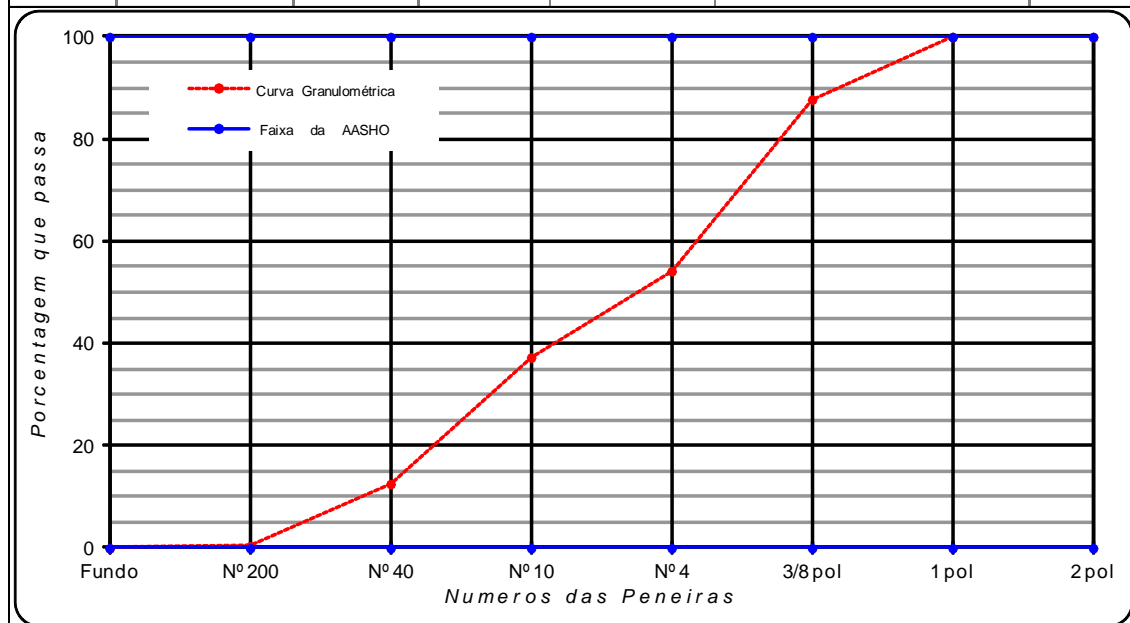


Fonte: O autor, 2015.

30% argila vermelha 70% BGS

Preparação da Amostra				Umidade Higroscópica			
Amostra Total				Equivalente de areia	Capsula	nº	4
Peso Amostra Total Úmida	g	2.000,0			Cap.+ Solo + Água	g	216,29
Retido acima da # Nº 10	g	1.211,7		Capsula + Solo	g	199,06	
Passando # Nº 10 Úmida	g	788,3		Peso Capsula	g	15,22	
Passando # Nº 10 Seco	g	720,8		Peso da Água	g	17,23	
Amostra Total Seca	g	1.932,4		Peso Solo Seco	g	183,84	
Peso Amostra # Nº 10 Úmida	g	200,0		Umidade	%	9,4	
				Peso Amostra # Nº 10 Seca			g

Peneiramento de Material						
Peneira	Material Retido				RESUMO	
	Peso em (g.)	Porcentagem			Pedregulho % retida acima da # Nº 4	
		Amostra total	Acumulada	Que passa da amostra total		
2 pol	0,0	0,00	0,00	100,0	Areia Grossa # Nº 4 à # Nº 10	17
1 pol	0,0	0,00	0,00	100,0	Areia Média # Nº 10 à # Nº 40	25
3/8 pol	236,5	12,24	12,24	87,8	Areia Fina # Nº 40 à # Nº 200	12
Nº 4	648,7	33,57	45,81	54,2	Silte + Argila passando na # Nº 200	0
Nº 10	326,4	16,89	62,70	37,3	TOTAL %	100
Nº 40	121,3	66,33	33,67	12,6	% de Areia Grossa, Média e Fina	54
Nº 200	59,8	32,70	0,96	0,4	Faixa da AASHO	F. F



Fonte: O autor, 2015.

APÊNDICE C – LIMITES DE ATTERBERG

Argila vermelha

LIMITE DE LIQÜIDEZ																												
Numero de Golpes	nº	50	39	30	20	10																						
Cápsula	nº	11	15	12	13	14																						
Cápsula + Solo + Água	g	20,62	20,81	19,64	21,34	20,85																						
Cápsula + Solo	g	16,06	16,25	15,65	16,86	16,44																						
Peso da Água	g	4,56	4,56	3,99	4,48	4,41																						
Peso da Cápsula	g	5,04	5,55	6,52	6,93	7,15																						
Peso Solo Seco	g	11,02	10,70	9,13	9,93	9,29																						
Teor de Umidade	%	41,4	42,6	43,7	45,1	47,5																						
LIMITE DE PLASTICIDADE																												
Cápsula	nº	2	3	4	5	6																						
Cápsula + Solo + Água	g	9,68	10,45	10,64	10,76	9,86																						
Cápsula + Solo	g	9,16	9,44	9,51	9,36	8,88																						
Peso da Água	g	0,52	1,01	1,13	1,40	0,98																						
Peso da Cápsula	g	7,51	6,27	5,96	4,93	5,69																						
Peso Solo Seco	g	1,65	3,17	3,55	4,43	3,19																						
Teor de Umidade	%	31,5	31,9	31,8	31,6	30,7																						
Valores aceitáveis		Sim	Sim	Sim	Sim	Sim																						
LL =	44,2	LP =	31,5	IP =	13	RESUMO DOS RESULTADOS																						
						<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>ENSAIOS</th> <th># Nº</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3" style="text-align: center;">Porcentagem acumulada passando na peneira</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">100</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">40</td> <td style="text-align: center;">96</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">200</td> <td style="text-align: center;">80</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Limite de Líquidez</td> <td style="text-align: center;">LL</td> <td style="text-align: center;">44</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Índice de Plasticidade</td> <td style="text-align: center;">IP</td> <td style="text-align: center;">13</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Índice de Grupo</td> <td style="text-align: center;">IG</td> <td style="text-align: center;">10</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Classificação</td> <td style="text-align: center;">HRB</td> <td style="text-align: center;">A-7-5</td> </tr> </tbody> </table>	ENSAIOS	# Nº	%	Porcentagem acumulada passando na peneira	10	100	40	96	200	80	Limite de Líquidez	LL	44	Índice de Plasticidade	IP	13	Índice de Grupo	IG	10	Classificação	HRB	A-7-5
ENSAIOS	# Nº	%																										
Porcentagem acumulada passando na peneira	10	100																										
	40	96																										
	200	80																										
Limite de Líquidez	LL	44																										
Índice de Plasticidade	IP	13																										
Índice de Grupo	IG	10																										
Classificação	HRB	A-7-5																										

Fonte: O autor, 2015.

Brita graduada simples

LIMITE DE LIQÜIDEZ																																									
Numeros de Golpes	nº	0	0	0	0	0																																			
Cápsula	nº	0	0	0	0	0																																			
Cápsula + Solo + Água	g	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																																			
Cápsula + Solo	g	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																																			
Peso da Água	g	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																																			
Peso da Cápsula	g	5,55	5,79	5,20	6,79	4,93																																			
Peso Solo Seco	g	-5,55	-5,79	-5,20	-6,79	-4,93																																			
Teor de Umidade	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0																																			
LIMITE DE PLASTICIDADE																																									
Cápsula	nº	0	0	0	0	0																																			
Cápsula + Solo + Água	g	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																																			
Cápsula + Solo	g	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																																			
Peso da Água	g	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																																			
Peso da Cápsula	g	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND																																			
Peso Solo Seco	g	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND																																			
Teor de Umidade	%	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND																																			
Valores aceitáveis		#ND	#ND	#ND	#ND	#ND																																			
LL =	0,0	LP =	NP	IP =	NP	RESUMO DOS RESULTADOS																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center;">GRÁFICO LIMITE DE LIQÜIDEZ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">Umidade em Porcentagem (%)</td> <td style="text-align: center;">1,0</td> <td style="text-align: center;">0,9</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;"></td> <td style="text-align: center;">0,8</td> <td style="text-align: center;">0,7</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;"></td> <td style="text-align: center;">0,6</td> <td style="text-align: center;">0,5</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;"></td> <td style="text-align: center;">0,4</td> <td style="text-align: center;">0,3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;"></td> <td style="text-align: center;">0,2</td> <td style="text-align: center;">0,1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;"></td> <td style="text-align: center;">0,0</td> <td style="text-align: center;">0,0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;"></td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">20</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;"></td> <td style="text-align: center;">25</td> <td style="text-align: center;">30</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;"></td> <td style="text-align: center;">40</td> <td style="text-align: center;">60</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;"></td> <td style="text-align: center;">80</td> <td style="text-align: center;">100</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;"></td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Número de Golpes</td> </tr> </tbody> </table>							GRÁFICO LIMITE DE LIQÜIDEZ			Umidade em Porcentagem (%)	1,0	0,9		0,8	0,7		0,6	0,5		0,4	0,3		0,2	0,1		0,0	0,0		10	20		25	30		40	60		80	100		Número de Golpes
GRÁFICO LIMITE DE LIQÜIDEZ																																									
Umidade em Porcentagem (%)	1,0	0,9																																							
	0,8	0,7																																							
	0,6	0,5																																							
	0,4	0,3																																							
	0,2	0,1																																							
	0,0	0,0																																							
	10	20																																							
	25	30																																							
	40	60																																							
	80	100																																							
	Número de Golpes																																								
ENSAIOS	# Nº	%																																							
Porcentagem acumulada passando na peneira	10	28																																							
	40	15																																							
	200	11																																							
Limite de Líquidez	LL	0																																							
Índice de Plasticidade	IP	NP																																							
Índice de Grupo	IG	0																																							
Classificação	TRB	A-1-a																																							

Fonte: O autor, 2015.

70% argila vermelha 30% BGS

LIMITE DE LIQÜIDEZ																												
Numeros de Golpes	nº	50	39	30	20	10																						
Cápsula	nº	11	15	13	17	12																						
Cápsula + Solo + Água	g	20,13	21,13	19,86	20,47	21,00																						
Cápsula + Solo	g	16,54	17,50	16,92	17,36	17,93																						
Peso da Água	g	3,59	3,63	2,94	3,11	3,07																						
Peso da Cápsula	g	5,04	5,55	6,93	6,46	6,52																						
Peso Solo Seco	g	11,50	11,95	9,99	10,90	11,41																						
Teor de Umidade	%	31,2	30,4	29,4	28,5	26,9																						
LIMITE DE PLASTICIDADE																												
Cápsula	nº	6	4	3	10	9																						
Cápsula + Solo + Água	g	12,32	12,00	11,46	12,45	11,22																						
Cápsula + Solo	g	11,12	10,87	10,51	11,43	10,20																						
Peso da Água	g	1,20	1,13	0,95	1,02	1,02																						
Peso da Cápsula	g	5,69	5,96	6,27	6,79	5,40																						
Peso Solo Seco	g	5,43	4,91	4,24	4,64	4,80																						
Teor de Umidade	%	22,1	23,0	22,4	22,0	21,3																						
Valores aceitáveis		Sim	Sim	Sim	Sim	Sim																						
LL =	29,2	LP =	22,2	IP =	7	RESUMO DOS RESULTADOS																						
						<table border="1"> <thead> <tr> <th>ENSAIOS</th> <th># Nº</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Porcentagem acumulada passando na peneira</td> <td>10</td> <td>87</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>59</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Limite de Liquidez</td> <td>LL</td> <td>29</td> </tr> <tr> <td>Índice de Plasticidade</td> <td>IP</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>Índice de Grupo</td> <td>IG</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Classificação</td> <td>HRB</td> <td>A-4</td> </tr> </tbody> </table>	ENSAIOS	# Nº	%	Porcentagem acumulada passando na peneira	10	87	40	59	200	50	Limite de Liquidez	LL	29	Índice de Plasticidade	IP	7	Índice de Grupo	IG	3	Classificação	HRB	A-4
ENSAIOS	# Nº	%																										
Porcentagem acumulada passando na peneira	10	87																										
	40	59																										
	200	50																										
Limite de Liquidez	LL	29																										
Índice de Plasticidade	IP	7																										
Índice de Grupo	IG	3																										
Classificação	HRB	A-4																										

Fonte: O autor, 2015.

50% argila vermelha 50% BGS

LIMITE DE LIQÜIDEZ																												
Numero de Golpes	nº	50	39	30	20	10																						
Cápsula	nº	11	15	13	17	12																						
Cápsula + Solo + Água	g	21,58	20,64	20,73	19,86	21,14																						
Cápsula + Solo	g	18,33	17,89	18,31	17,63	18,90																						
Peso da Água	g	3,25	2,75	2,42	2,23	2,24																						
Peso da Cápsula	g	5,04	5,55	6,93	6,46	6,52																						
Peso Solo Seco	g	13,29	12,34	11,38	11,17	12,38																						
Teor de Umidade	%	24,5	22,3	21,3	20,0	18,1																						
LIMITE DE PLASTICIDADE																												
Cápsula	nº	6	4	3	10	9																						
Cápsula + Solo + Água	g	9,52	10,63	11,06	11,40	10,85																						
Cápsula + Solo	g	8,93	9,91	10,32	10,69	10,02																						
Peso da Água	g	0,59	0,72	0,74	0,71	0,83																						
Peso da Cápsula	g	5,69	5,96	6,27	6,79	5,40																						
Peso Solo Seco	g	3,24	3,95	4,05	3,90	4,62																						
Teor de Umidade	%	18,2	18,1	18,3	18,2	18,0																						
Valores aceitáveis		Sim	Sim	Sim	Sim	Sim																						
LL =	21,1	LP =	18,2	IP =	3	RESUMO DOS RESULTADOS																						
						<table border="1"> <thead> <tr> <th>ENSAIOS</th> <th># Nº</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Porcentagem acumulada passando na peneira</td> <td>10</td> <td>70</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>48</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>41</td> </tr> <tr> <td>Limite de Liquidez</td> <td>LL</td> <td>21</td> </tr> <tr> <td>Índice de Plasticidade</td> <td>IP</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Índice de Grupo</td> <td>IG</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Classificação</td> <td>HRB</td> <td>A-4</td> </tr> </tbody> </table>	ENSAIOS	# Nº	%	Porcentagem acumulada passando na peneira	10	70	40	48	200	41	Limite de Liquidez	LL	21	Índice de Plasticidade	IP	3	Índice de Grupo	IG	1	Classificação	HRB	A-4
ENSAIOS	# Nº	%																										
Porcentagem acumulada passando na peneira	10	70																										
	40	48																										
	200	41																										
Limite de Liquidez	LL	21																										
Índice de Plasticidade	IP	3																										
Índice de Grupo	IG	1																										
Classificação	HRB	A-4																										

Fonte: O autor, 2015.

30% argila vermelha 70% BGS

LIMITE DE LIQÜIDEZ								
Numero de Golpes	nº	50	39	30	20	10		
Cápsula	nº	11	15	13	17	12		
Cápsula + Solo + Água	g							
Cápsula + Solo	g							
Peso da Água	g	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Peso da Cápsula	g	5,04	5,55	6,93	6,46	6,52		
Peso Solo Seco	g	-5,04	-5,55	-6,93	-6,46	-6,52		
Teor de Umidade	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
LIMITE DE PLASTICIDADE								
Cápsula	nº	0	0	0	0	0		
Cápsula + Solo + Água	g							
Cápsula + Solo	g							
Peso da Água	g	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Peso da Cápsula	g	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND		
Peso Solo Seco	g	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND		
Teor de Umidade	%	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND		
Valores aceitáveis		#ND	#ND	#ND	#ND	#ND		
LL =	0,0	LP =	NP	IP =	NP	RESUMO DOS RESULTADOS		
						ENSAIOS	# Nº	%
						Porcentagem acumulada passando na peneira	10	37
							40	13
							200	0
						Limite de Líquidez	LL	0
						Índice de Plasticidade	IP	NP
Índice de Grupo	IG	0						
Classificação	TRB	A-1-a						

Fonte: O autor, 2015.

APÊNDICE D – ENSAIOS DE COMPRESSÃO SIMPLES (ISC)

Argila vermelha - ISC

Cilindro Nº : 9				Cilindro Nº : 11				Cilindro Nº : 8			
Penetração do 2º ponto				Penetração do 3º ponto				Penetração do 4º ponto			
penetração (mm)	Tempo min.	Leitura extensômetro	pressão kg/cm²	penetração (mm)	Tempo min.	Leitura extensômetro	pressão kg/cm²	penetração (mm)	Tempo min.	Leitura extensômetro	pressão kg/cm²
0,64	0,5	18	2,0	0,64	0,5	36	4,0	0,64	0,5	9	1,0
1,27	1,0	39	4,3	1,27	1,0	71	7,9	1,27	1,0	19	2,1
1,91	1,5	60	6,7	1,91	1,5	95	10,5	1,91	1,5	30	3,3
2,54	2,0	78	8,7	2,54	2,0	118	13,1	2,54	2,0	40	4,4
3,81	3,0	106	11,8	3,81	3,0	145	16,1	3,81	3,0	56	6,2
5,08	4,0	126	14,0	5,08	4,0	164	18,2	5,08	4,0	70	7,8
6,35	5,0	142	15,8	6,35	5,0	181	20,1	6,35	5,0	82	9,1
7,62	6,0	156	17,3	7,62	6,0	196	21,8	7,62	6,0	93	10,3
8,89	7,0	166	18,4	8,89	7,0	207	23,0	8,89	7,0	103	11,4
10,16	8,0	175	19,4	10,16	8,0	216	24,0	10,16	8,0	110	12,2
12,70	10,0	190	21,1	12,70	10,0	228	25,3	12,70	10,0	119	13,2

Expansão				Expansão				Expansão			
Data	Hora	Leitura (mm)	Diferença (mm)	Data	Hora	Leitura (mm)	Diferença (mm)	Data	Hora	Leitura (mm)	Diferença (mm)
24/08/15	10:00:00	2,00		24/08/15	10:22:00	2,00		24/08/15	10:25:00	2,00	
25/08/15	10:52:00	2,13	0,13	25/08/15	10:52:00	2,05	0,05	25/08/15	10:52:00	2,06	0,06
26/08/15	09:45:00	2,16	0,16	26/08/15	9:45:00	2,08	0,08	26/08/15	9:45:00	2,08	0,08
27/08/15	10:47:00	2,18	0,18	27/08/15	10:47:00	2,11	0,11	27/08/15	10:47:00	2,08	0,08
28/08/15	10:50:00	2,18	0,18	28/08/15	10:50:00	2,11	0,11	28/08/15	10:50:00	2,08	0,08

penetração em mm

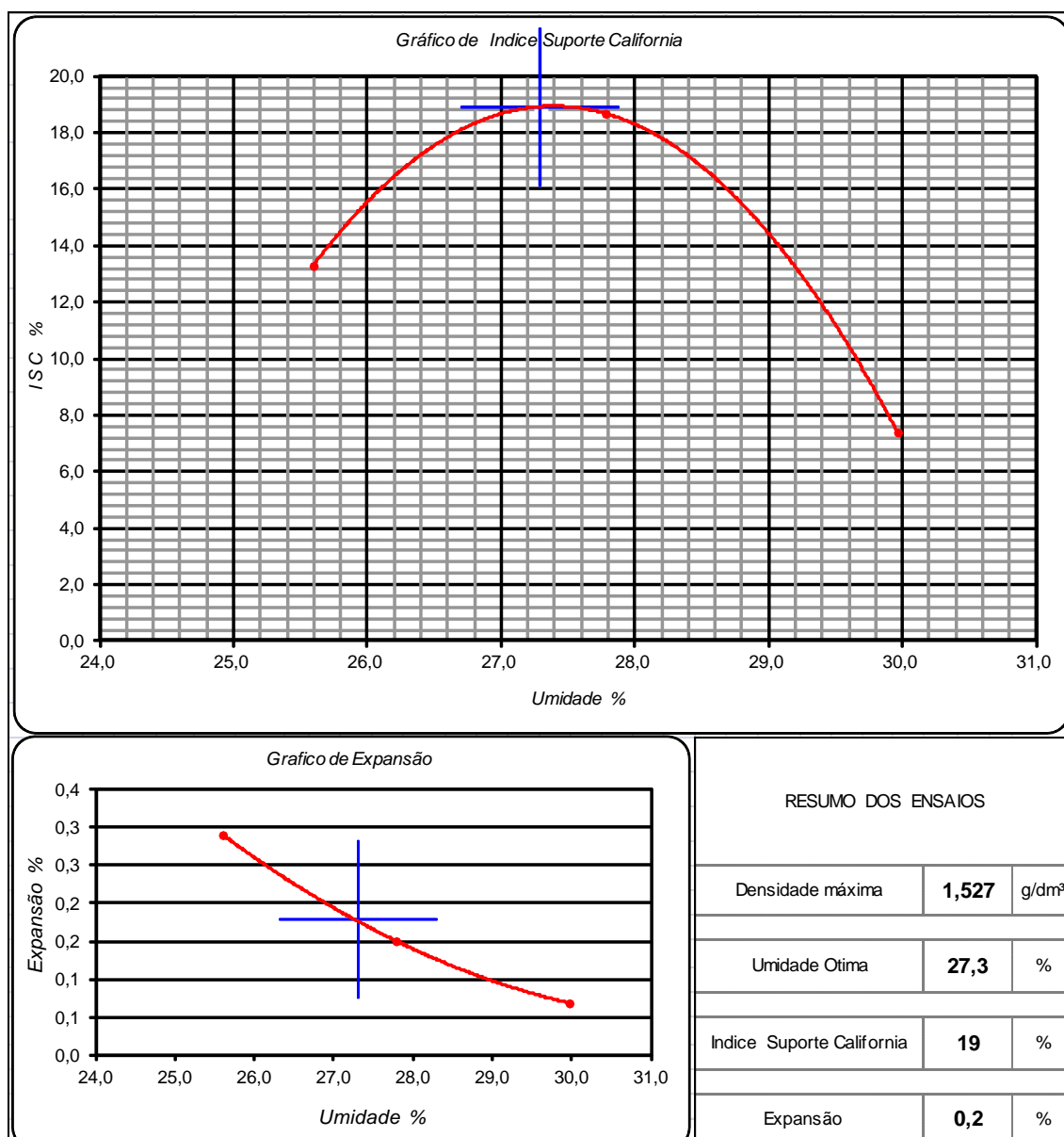
penetração em mm

penetração em mm

RESUMO DOS PUNTO DE COMPACTAÇÃO						Constante do Anel Dinamométrico		0,111			
2º Ponto				3º Ponto				4º Ponto			
ÍNDICE SUPORTE CALIFORNIA (%)	5,08	13,3	13	ÍNDICE SUPORTE CALIFORNIA (%)	5,08	17,3	19	ÍNDICE SUPORTE CALIFORNIA (%)	5,08	7,4	7
EXPANSÃO (%)	Altura do CP	62,0	0,3	EXPANSÃO (%)	Altura do CP	73	0,2	EXPANSÃO (%)	Altura do CP	115,9	0,1

Fonte: O autor, 2015.

Argila vermelha – Gráfico de ISC e Expansão



Fonte: O autor, 2015.

Brita graduada simples (BGS)

Cilindro Nº : 13				Cilindro Nº : 10				Cilindro Nº : 1			
Penetração do 2º ponto				Penetração do 3º ponto				Penetração do 4º ponto			
penetração (mm)	Tempo min.	Leitura extensômetro	pressão kg/cm²	penetração (mm)	Tempo min.	Leitura extensômetro	pressão kg/cm²	penetração (mm)	Tempo min.	Leitura extensômetro	pressão kg/cm²
0,64	0,5	70	6,8	0,64	0,5	100	9,7	0,64	0,5	70	6,8
1,27	1,0	150	14,6	1,27	1,0	210	20,4	1,27	1,0	160	15,5
1,91	1,5	200	19,4	1,91	1,5	395	38,3	1,91	1,5	270	26,2
2,54	2,0	320	31,0	2,54	2,0	500	48,5	2,54	2,0	360	34,9
3,81	3,0	480	46,6	3,81	3,0	675	65,5	3,81	3,0	530	51,4
5,08	4,0	640	62,1	5,08	4,0	945	91,7	5,08	4,0	750	72,8
6,35	5,0	836	81,1	6,35	5,0	1.145	111,1	6,35	5,0	895	86,8
7,62	6,0	947	91,9	7,62	6,0	1.340	130,0	7,62	6,0	1.125	109,1
8,89	7,0	1.191	115,5	8,89	7,0	1.550	150,4	8,89	7,0	1.345	130,5
10,16	8,0	1.308	126,9	10,16	8,0	1.760	170,7	10,16	8,0	1.500	145,5
12,70	10,0	1.580	153,3	12,70	10,0	1.990	193,0	12,70	10,0	1.690	163,9
Expansão				Expansão				Expansão			
Data	Hora	Leitura (mm)	Diferença (mm)	Data	Hora	Leitura (mm)	Diferença (mm)	Data	Hora	Leitura (mm)	Diferença (mm)
23/09/15	12:50:08	2,00		23/09/15	12:50:00	2,00		23/09/15	12:50:00	2,00	
24/09/15	12:51:00	2,00	0,00	24/09/15	12:51:00	2,00	0,00	24/09/15	12:51:00	2,00	0,00
25/09/15	12:53:00	2,00	0,00	25/09/15	12:53:00	2,00	0,00	25/09/15	12:53:00	2,00	0,00
26/09/15	12:53:00	2,00	0,00	26/09/15	12:53:00	2,00	0,00	26/09/15	12:53:00	2,00	0,00
27/09/15	12:55:00	2,00	0,00	27/09/15	12:55:00	2,00	0,00	27/09/15	12:55:00	2,00	0,00

penetração em mm

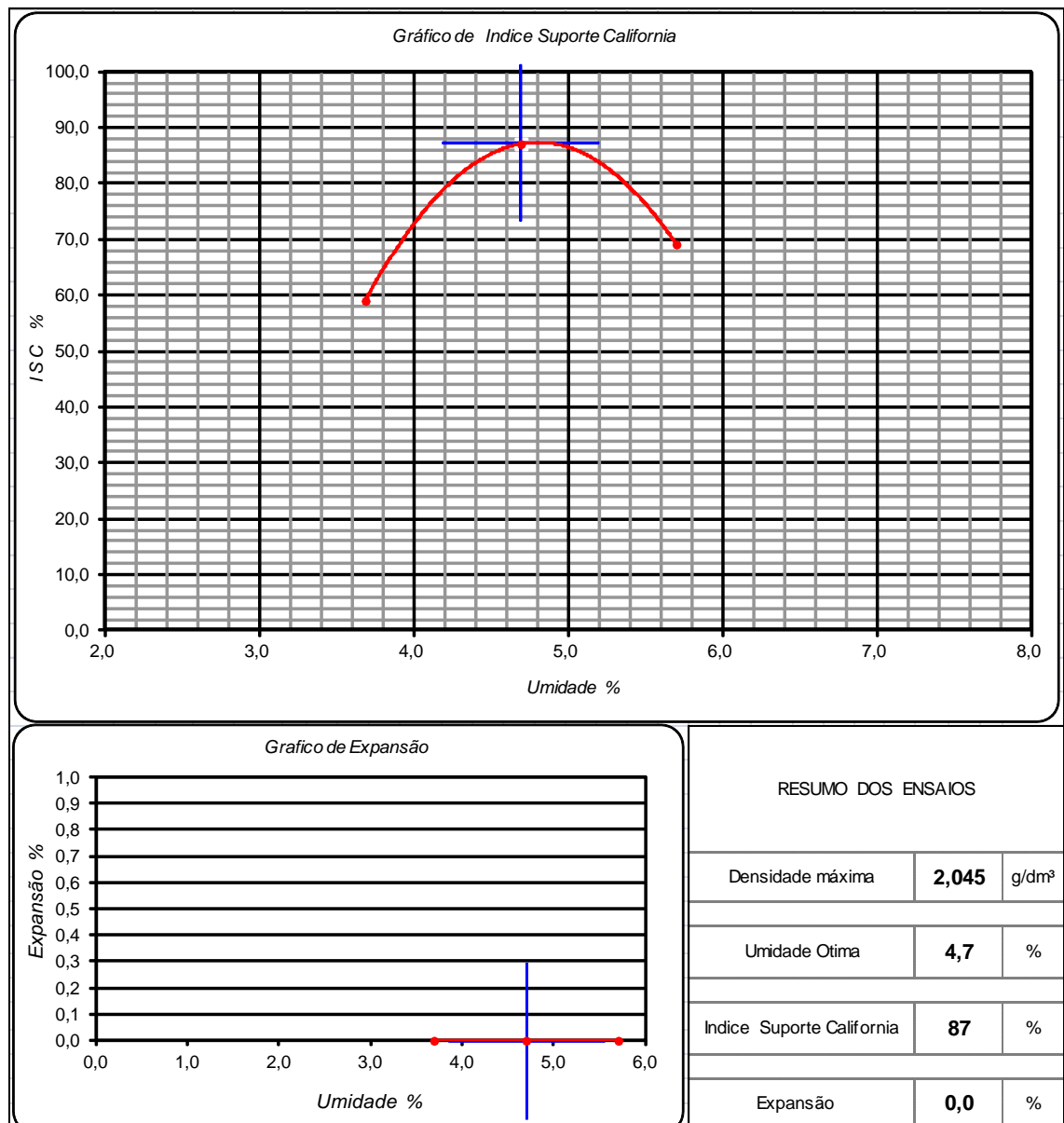
penetração em mm

penetração em mm

RESUMO DOS PUNTO DE COMPACTAÇÃO							Constante do Anel Dinamométrico		0,097		
2º Ponto				3º Ponto				4º Ponto			
ÍNDICE SUPORTE CALIFORNIA (%)	5,08	58,9	59	ÍNDICE SUPORTE CALIFORNIA (%)	5,08	87,0	87	ÍNDICE SUPORTE CALIFORNIA (%)	5,08	69,0	69
EXPANSÃO (%)	Altura do CP	123,0	0,0	EXPANSÃO (%)	Altura do CP	110	0,0	EXPANSÃO (%)	Altura do CP	94	0,0

Fonte: O autor, 2015.

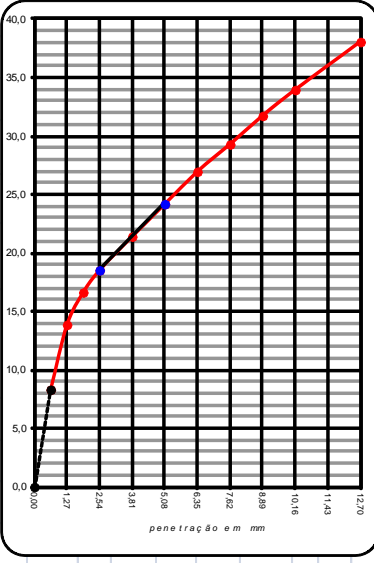
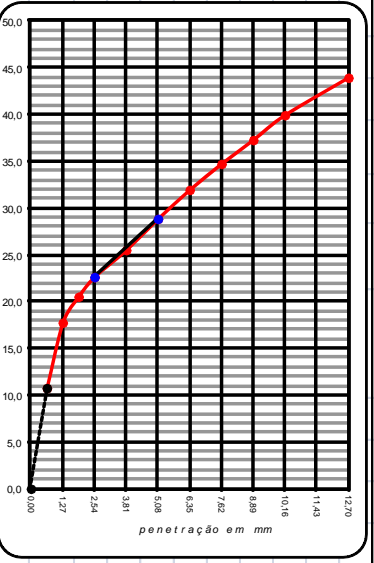
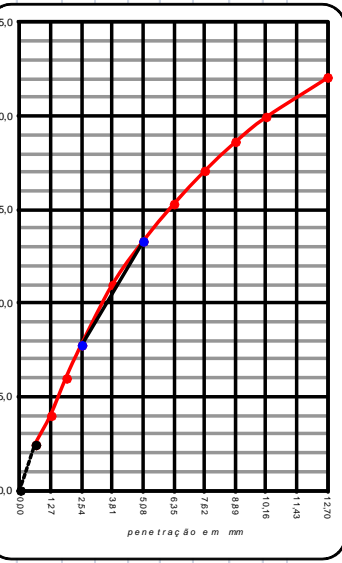
Brita graduada simples – Gráfico de ISC e expansão



Fonte: O autor, 2015.

70% argila 30% BGS

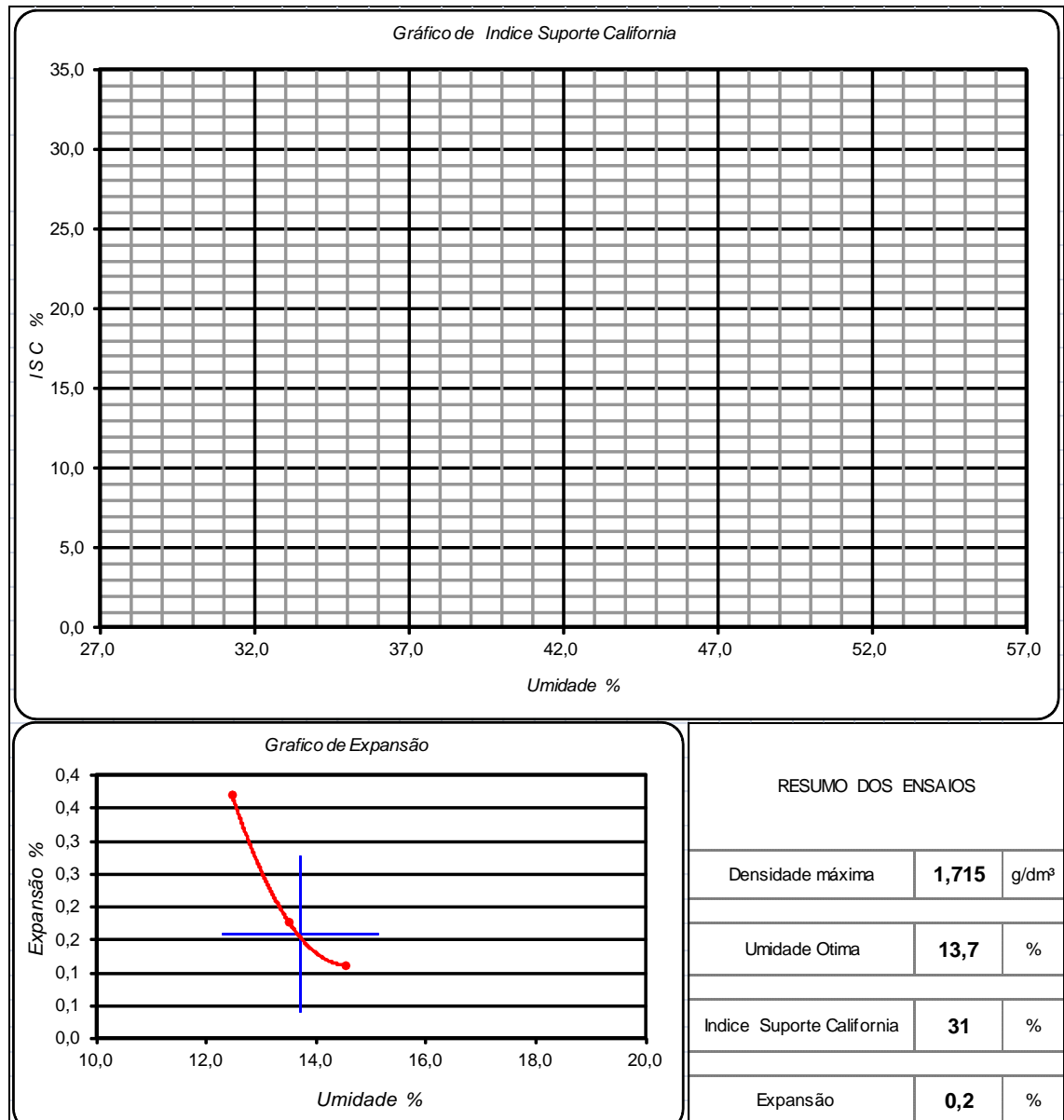
Cilindro Nº : 1				Cilindro Nº : 13				Cilindro Nº : 5			
Penetração do 2º ponto				Penetração do 3º ponto				Penetração do 4º ponto			
penetração (mm)	Tempo min.	Leitura extensômetro	pressão kg/cm²	penetração (mm)	Tempo min.	Leitura extensômetro	pressão kg/cm²	penetração (mm)	Tempo min.	Leitura extensômetro	pressão kg/cm²
0,64	0,5	75	8,3	0,64	0,5	97	10,8	0,64	0,5	22	2,4
1,27	1,0	125	13,9	1,27	1,0	160	17,8	1,27	1,0	36	4,0
1,91	1,5	150	16,7	1,91	1,5	185	20,5	1,91	1,5	54	6,0
2,54	2,0	167	18,5	2,54	2,0	204	22,6	2,54	2,0	70	7,8
3,81	3,0	193	21,4	3,81	3,0	230	25,5	3,81	3,0	99	11,0
5,08	4,0	218	24,2	5,08	4,0	260	28,9	5,08	4,0	120	13,3
6,35	5,0	243	27,0	6,35	5,0	288	32,0	6,35	5,0	138	15,3
7,62	6,0	264	29,3	7,62	6,0	313	34,7	7,62	6,0	154	17,1
8,89	7,0	286	31,7	8,89	7,0	336	37,3	8,89	7,0	168	18,6
10,16	8,0	306	34,0	10,16	8,0	360	40,0	10,16	8,0	180	20,0
12,70	10,0	343	38,1	12,70	10,0	396	44,0	12,70	10,0	199	22,1
Expansão				Expansão				Expansão			
Data	Hora	Leitura (mm)	Diferença (mm)	Data	Hora	Leitura (mm)	Diferença (mm)	Data	Hora	Leitura (mm)	Diferença (mm)
03/07/15	10:00:00	2,00		03/07/15	10:22:00	2,00		03/07/15	10:25:00	2,00	
04/07/15	10:52:00	2,20	0,20	04/07/15	10:52:00	2,12	0,12	04/07/15	10:52:00	2,06	0,06
05/07/15	09:45:00	2,33	0,33	05/07/15	9:45:00	2,26	0,26	05/07/15	9:45:00	2,18	0,18
06/07/15	10:47:00	2,40	0,40	06/07/15	10:47:00	2,28	0,28	06/07/15	10:47:00	2,21	0,21
07/07/15	10:50:00	2,42	0,42	07/07/15	10:50:00	2,29	0,29	07/07/15	10:50:00	2,21	0,21

RESUMO DOS PONTOS DE COMPACTAÇÃO						Constante do Anel Dinamométrico		0,111			
2º Ponto				3º Ponto				4º Ponto			
ÍNDICE SUPORTE CALIFORNIA (%)	5,08	23,0	26	ÍNDICE SUPORTE CALIFORNIA (%)	5,08	27,4	32	ÍNDICE SUPORTE CALIFORNIA (%)	5,08	12,6	13
EXPANSÃO (%)	Altura do CP	113,4	0,4	EXPANSÃO (%)	Altura do CP	163,8	0,2	EXPANSÃO (%)	Altura do CP	189,4	0,1

Fonte: O autor, 2015.

70% argila 30% BGS – Gráfico de ISC e expansão



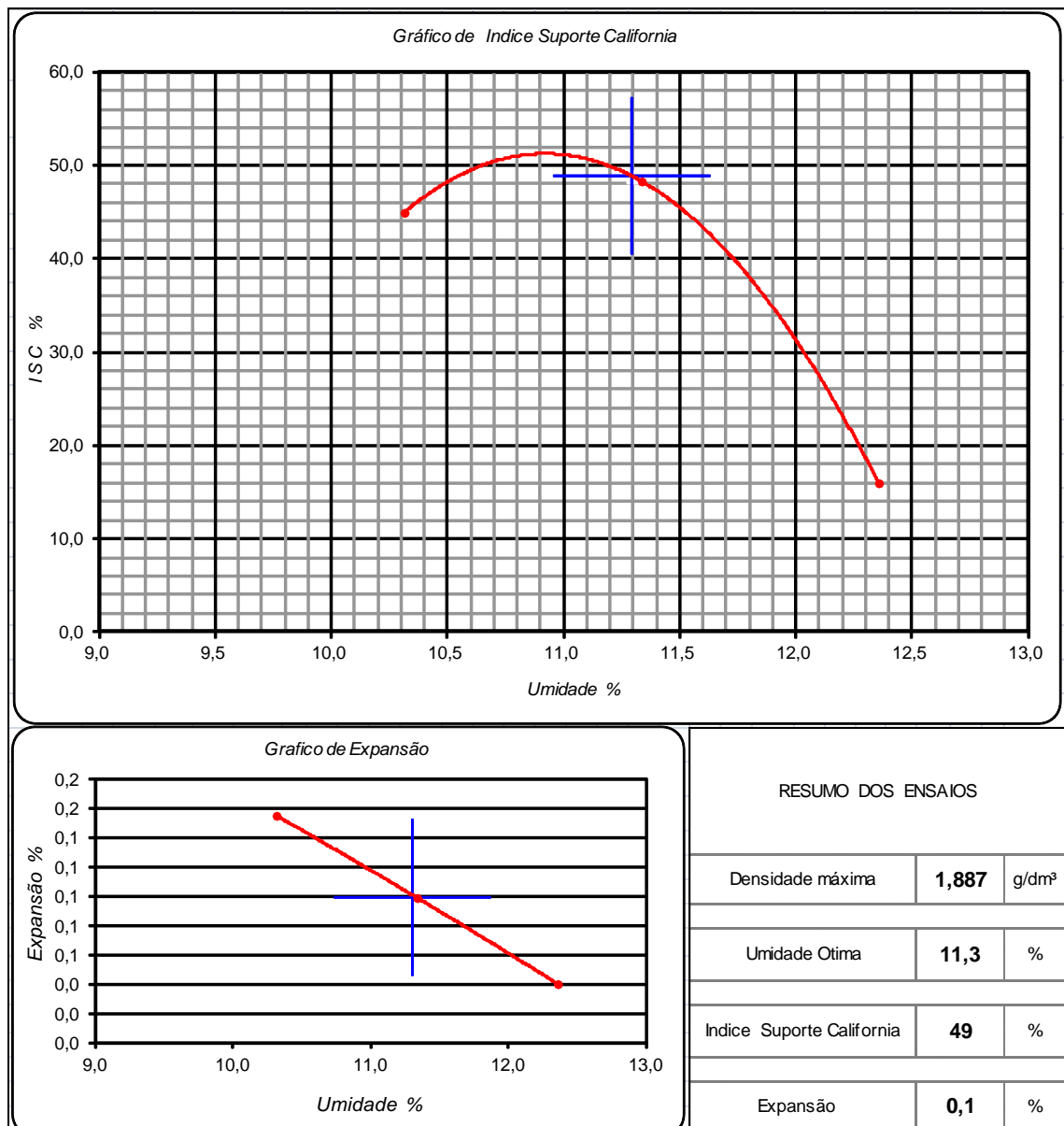
Fonte: O autor, 2015.

50% argila vermelha 50% BGS

Cilindro Nº : 12				Cilindro Nº : 4				Cilindro Nº : 11			
Penetração do 2º ponto				Penetração do 3º ponto				Penetração do 4º ponto			
Penetração (mm)	Tempo min.	Leitura extensômetro	pressão kg/cm²	penetração (mm)	Tempo min.	Leitura extensômetro	pressão kg/cm²	penetração (mm)	Tempo min.	Leitura extensômetro	pressão kg/cm²
0,64	0,5	55	6,1	0,64	0,5	159	17,6	0,64	0,5	26	2,9
1,27	1,0	138	15,3	1,27	1,0	224	24,9	1,27	1,0	50	5,6
1,91	1,5	208	23,1	1,91	1,5	267	29,6	1,91	1,5	71	7,9
2,54	2,0	265	29,4	2,54	2,0	305	33,9	2,54	2,0	90	10,0
3,81	3,0	365	40,5	3,81	3,0	385	42,7	3,81	3,0	122	13,5
5,08	4,0	426	47,3	5,08	4,0	440	48,8	5,08	4,0	151	16,8
6,35	5,0	478	53,1	6,35	5,0	492	54,6	6,35	5,0	174	19,3
7,62	6,0	520	57,7	7,62	6,0	533	59,2	7,62	6,0	194	21,5
8,89	7,0	556	61,7	8,89	7,0	568	63,0	8,89	7,0	211	23,4
10,16	8,0	584	64,8	10,16	8,0	600	66,6	10,16	8,0	223	24,8
12,70	10,0	636	70,6	12,70	10,0	652	72,4	12,70	10,0	241	26,8
Expansão				Expansão				Expansão			
Data	Hora	Leitura (mm)	Diferença (mm)	Data	Hora	Leitura (mm)	Diferença (mm)	Data	Hora	Leitura (mm)	Diferença (mm)
28/09/15	10:00:00	2,00		28/09/15	10:22:00	2,00		28/09/15	10:25:00	2,00	
29/09/15	10:52:00	2,13	0,13	29/09/15	10:52:00	2,06	0,06	29/09/15	10:52:00	2,02	0,02
30/09/15	09:45:00	2,16	0,16	30/09/15	9:45:00	2,09	0,09	30/09/15	9:45:00	2,02	0,02
01/10/15	10:47:00	2,16	0,16	01/10/15	10:47:00	2,11	0,11	01/10/15	10:47:00	2,04	0,04
02/10/15	10:50:00	2,18	0,18	02/10/15	10:50:00	2,11	0,11	02/10/15	10:50:00	2,05	0,05
RESUMO DOS PUNTO DE COMPACTAÇÃO							Constante do Anel Dinamométrico		0,111		
2º Ponto				3º Ponto				4º Ponto			
ÍNDICE SUPORTE CALIFORNIA (%)	5,08	44,9	45	ÍNDICE SUPORTE CALIFORNIA (%)	5,08	46,3	48	ÍNDICE SUPORTE CALIFORNIA (%)	5,08	15,9	16
EXPANSÃO (%)	Altura do CP	115,9	0,2	EXPANSÃO (%)	Altura do CP	110,8	0,1	EXPANSÃO (%)	Altura do CP	123,4	0,0

Fonte: O autor, 2015.

50% argila vermelha 50% BGS - Gráfico de ISC e expansão



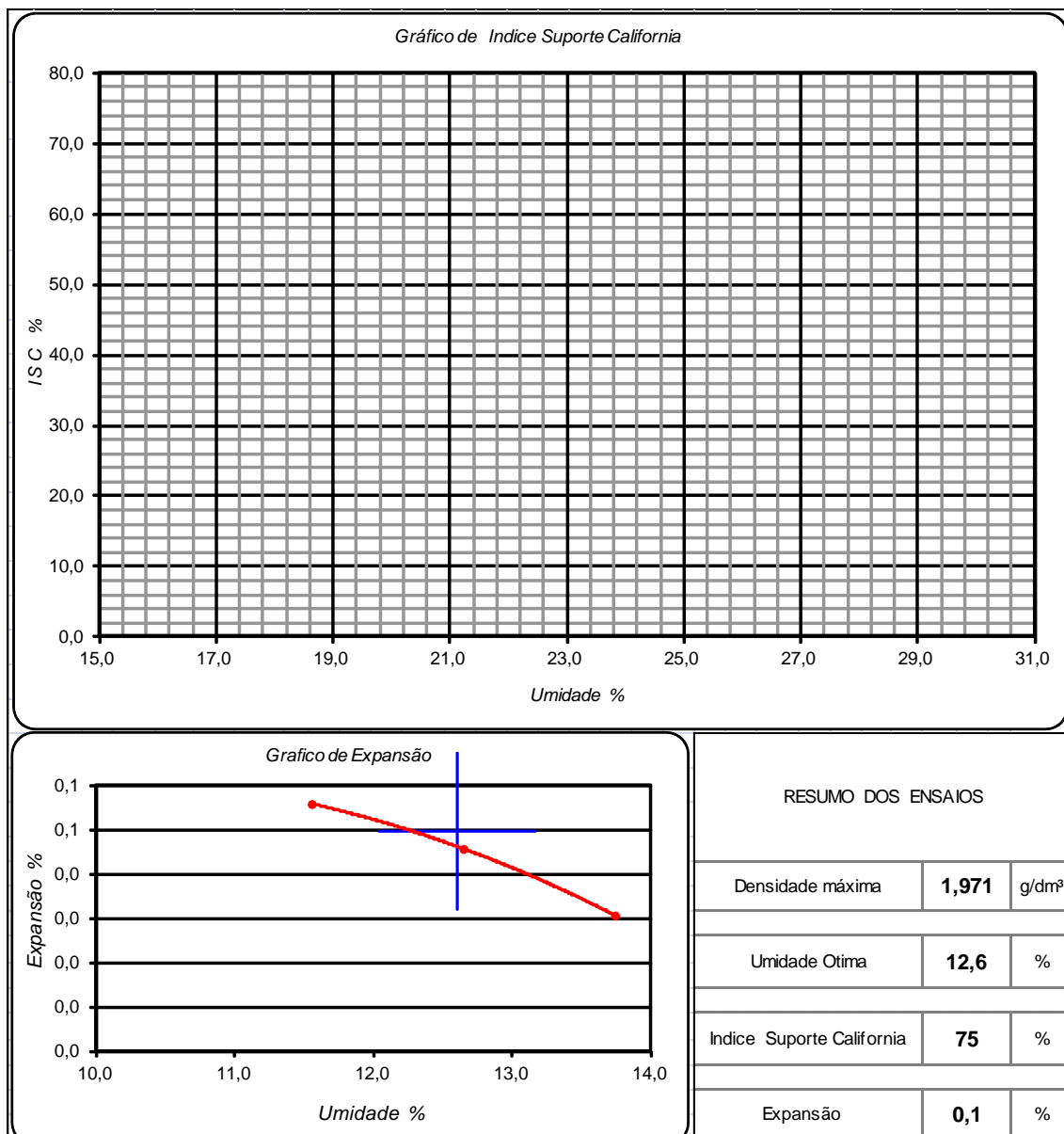
Fonte: O autor, 2015.

30% argila vermelha 70% BGS

Cilindro Nº : 11				Cilindro Nº : 12				Cilindro Nº : 9			
Penetração do 2º ponto				Penetração do 3º ponto				Penetração do 4º ponto			
penetração (mm)	Tempo min.	Leitura extensômetro	pressão kg/cm²	penetração (mm)	Tempo min.	Leitura extensômetro	pressão kg/cm²	penetração (mm)	Tempo min.	Leitura extensômetro	pressão kg/cm²
0,64	0,5	137	15,2	0,64	0,5	138	15,3	0,64	0,5	101	11,2
1,27	1,0	208	23,1	1,27	1,0	206	22,9	1,27	1,0	173	19,2
1,91	1,5	288	32,0	1,91	1,5	328	36,4	1,91	1,5	234	26,0
2,54	2,0	366	40,6	2,54	2,0	463	51,4	2,54	2,0	296	32,9
3,81	3,0	494	54,8	3,81	3,0	601	66,7	3,81	3,0	399	44,3
5,08	4,0	602	66,8	5,08	4,0	713	79,1	5,08	4,0	520	57,7
6,35	5,0	734	81,5	6,35	5,0	870	96,6	6,35	5,0	680	75,5
7,62	6,0	823	91,4	7,62	6,0	1.009	112,0	7,62	6,0	755	83,8
8,89	7,0	898	99,7	8,89	7,0	1.170	129,9	8,89	7,0	840	93,2
10,16	8,0	1.003	111,3	10,16	8,0	1.250	138,8	10,16	8,0	960	106,6
12,70	10,0	1.104	122,5	12,70	10,0	1.330	147,6	12,70	10,0	1.060	117,7
Expansão				Expansão				Expansão			
Data	Hora	Leitura (mm)	Diferença (mm)	Data	Hora	Leitura (mm)	Diferença (mm)	Data	Hora	Leitura (mm)	Diferença (mm)
29/09/15	10:00:00	2,00		29/09/15	10:22:00	2,00		29/09/15	10:25:00	2,00	
30/09/15	10:52:00	2,03	0,03	30/09/15	10:52:00	2,02	0,02	30/09/15	10:52:00	2,03	0,03
01/10/15	09:45:00	2,06	0,06	01/10/15	9:45:00	2,04	0,04	01/10/15	9:45:00	2,04	0,04
02/10/15	10:47:00	2,06	0,06	02/10/15	10:47:00	2,05	0,05	02/10/15	10:47:00	2,04	0,04
03/10/15	10:50:00	2,07	0,07	03/10/15	10:50:00	2,06	0,06	03/10/15	10:50:00	2,04	0,04
RESUMO DOS PUNTO DE COMPACTAÇÃO								Constante do Anel Dinamométrico		0,111	
2º Ponto				3º Ponto				4º Ponto			
ÍNDICE SUPORTE CALIFORNIA	5,08	63,4	63	ÍNDICE SUPORTE CALIFORNIA	5,08	75,1	75	ÍNDICE SUPORTE CALIFORNIA	5,08	54,8	55
EXPANSÃO (%)	Altura do CP	115,9	0,1	EXPANSÃO (%)	Altura do CP	115,9	0,1	EXPANSÃO (%)	Altura do CP	115,9	0,0

Fonte: O autor, 2015.

30% argila vermelha 70% BGS – Gráfico de ISC e expansão



Fonte: O autor, 2015.

ANEXO A – Classificação dos solos - HRB

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

Classificação Geral	Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira nº 200)							Materiais siltosos e argilosos (mais de 35% passando na peneira nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 / A-7-6
Peneiração: % que passa: Nº 10 Nº 40 Nº 200 (p)	50 máx. 30 máx. 15 máx.	50 máx. 25 máx.	51 mín. 10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração que passa nº 40 Limite de Liquidez - LL (%) Índice de Plasticidade IP (%)	6 máx.		NP	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín.	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín.
Índice de Grupo	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais que predominam	Pedra Britada pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia silosa ou argilosa				Solos Siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Fraco a pobre			

Processo de classificação: Com os dados de laboratório, iniciar a classificação da esquerda para a direita, por eliminação.

O primeiro grupo da esquerda que satisfazer os dados será o grupo procurado.

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

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

Onde:

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

a = p - 35 (se p > 75%, adota-se 75 e se p < 35%, adota-se 35) **a** varia de 0 a 40 e 0,2 . **a** varia de 0 a 8.

b = p - 15 (se p > 55%, adota-se 55 e se p < 15%, adota-se 15) **b** varia de 0 a 40 e 0,01 . **b . d** varia de 0 a 8.

c = LL - 40 (se LL > 60%, adota-se 60 e se LL < 40%, adota-se 40) **c** varia de 0 a 20 e 0,005 . **a . c** varia de 0 a 4.

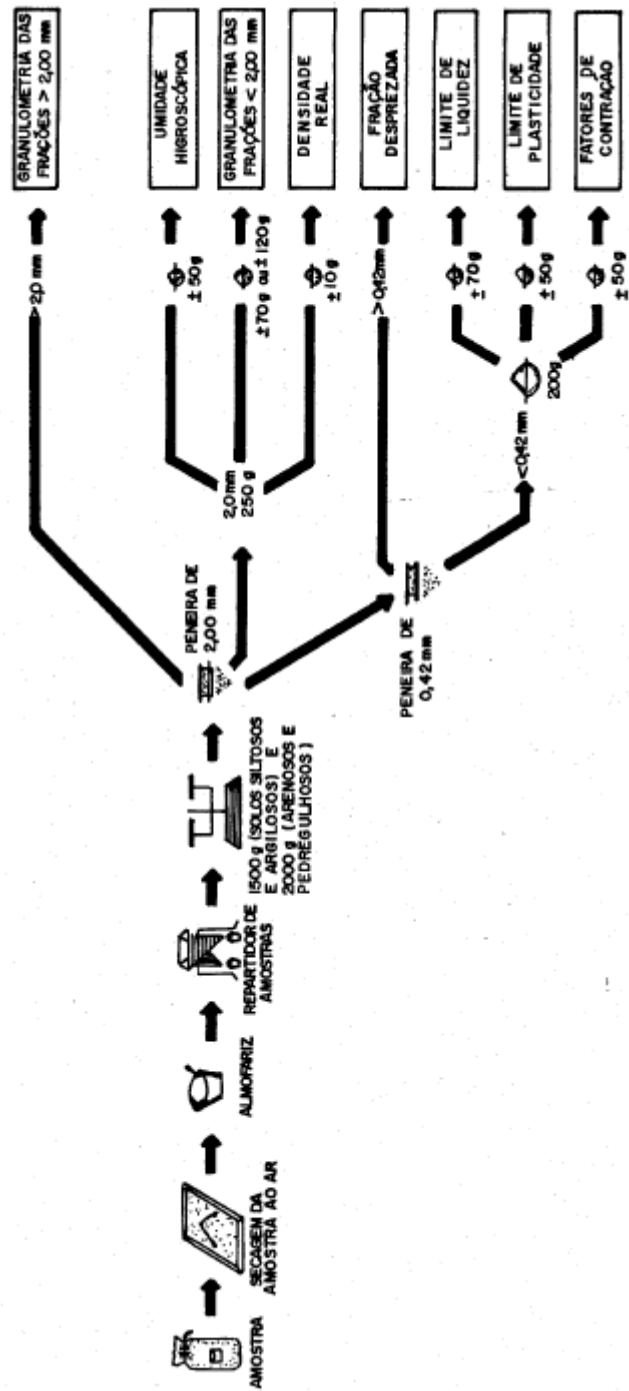
d = IP - 10 (se IP > 30, adota-se 30 e se IP < 10, adota-se 10) **d** varia de 0 a 20 e 0,01 . **b . d** varia de 0 a 8.

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

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

Fonte: MANUAL DE TÉCNICAS DE PAVIMENTAÇÃO, 2015.

ANEXO B - Preparação de amostra para ensaio de caracterização



Fonte: DNER 041/94