UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL – UNIJUI

MARIANA BAMBERG AMARAL

ESTUDO DE MISTURAS DE SOLO ARGILOSO LATERÍTICO DO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL E AREIA INDUSTRIAL PARA USO EM PAVIMENTOS ECONÔMICOS

Ijuí

2015

MARIANA BAMBERG AMARAL

ESTUDO DE MISTURAS DE SOLO ARGILOSO LATERÍTICO DO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL E AREIA INDUSTRIAL PARA USO EM PAVIMENTOS ECONÔMICOS

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador(a): Me. Carlos Alberto Simões Pires Wayhs

Ijuí

2015

MARIANA BAMBERG AMARAL

ESTUDO DE MISTURAS DE SOLO ARGILOSO LATERÍTICO DO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL E AREIA INDUSTRIAL PARA USO EM PAVIMENTOS ECONÔMICOS

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelo membro da banca examinadora.

Ijuí, 09 de novembro de 2015

Prof. Carlos Alberto Simões Pires Wayhs

Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Orientador

Prof. Lia Geovana Sala

Coordenadora do Curso de Engenharia Civil/UNIJUÍ

BANCA EXAMINADORA

Prof. José Antônio S. Echeverria

Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Carlos Alberto Simões Pires Wayhs

Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Orientador

Aos meus pais André e Sonaly e segundos pais
Rosalva e Altino, pelo amor, apoio e motivação.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer ao meu pai André por todas as vezes que lutou por mim, por nunca desistir, por ter me ensinado a ser forte e, a saber, escolher meu caminho, me ensinou muita coisa diretamente e indiretamente, obrigada pelo carinho, por todas as vezes que chorei estar do meu lado, por ser esse pai tão atencioso e carinhoso, por tomar muitas vezes as minhas dores e por inúmeras outras coisas.

A minha mãe Sonaly por ter você perto de mim e também por ter puxado esse teu coração enorme, esse teu jeito descontraído. Obrigada por todos os cuidados, por todas as vezes que me ouviu e me amparou, pelos conselhos, por ser essa mãe carinhosa, amorosa, minha amiga.

Especialmente, quero agradecer minha segunda mãe Rosalva, aquela que me amou incondicionalmente, que se doou e que eu sei que daria a vida por mim e eu por ela. Faltam palavras para descrever tudo que representa na minha vida, obrigada pelo amor, carinho e amizade de sempre!

Também, agradecer ao meu avô e segundo pai Altino, pelo apoio de sempre, por ter feito da minha infância uma aventura e ter se doado com tanto amor e carinho sempre.

Ainda, agradecer a minha mãedrasta Luciane por todas as vezes que tomou minhas dores como suas, pelo cuidado, pelo amor e amizade.

Aos meus irmãos Andressa e Samuel, pelo amor e companheirismo! E a toda minha família!

Ao meu mestre e orientador Carlos Wayhs por toda dedicação e disponibilidade, pelos ensinamentos e por ter me apresentado a pesquisa, onde fizeram com que muitas portas pudessem se abrir.

Ao laboratorista Luiz Donato, por todos os ensinamentos e por toda paciência de sempre!

A todos os meus professores, porque sem eles nada disso seria possível, obrigada pelo conhecimento passado e pela paciência.

A todos os meus amigos, pelas horas compartilhadas, pelas gargalhadas, pelas festas, pelas viagens, por terem me aguentado nos bons e maus momentos.

Quero agradecer aos meus colegas de trabalho do PET, onde vivi momentos inesquecíveis, aprendi e conquistei grandes amizades, que irão além da faculdade. Em especial a Anna e ao Leonardo por toda ajuda nesse trabalho.

Em especial, agradecer a Gabriela e Samili, que estiveram comigo desde o início, dividimos angústias, alegrias, noites mal dormidas, festas e uma amizade linda que vai além de tudo. Obrigada por permanecerem sempre comigo!

A vocês Gabriela, Ana Paula e Vanessa, que são de sempre e pra sempre, obrigada por estarem presentes mesmo distantes e por dividir os melhores momentos da minha ao meu lado.

Agradeço a Camila e Tonie, pela amizade de sempre, por me apoiar e compartilhar bons e maus momentos, obrigada por estarem do meu lado.

Quero agradecer aos meus colegas e amigos, pelas noites viradas, pelas festas compartilhadas, por ser muitas vezes segunda família, á vocês, Cristiano, Tatiane, Ricardo, Pedro, Janaína, André e Carine.

Emmanuelle e Geannina amizades que foram um presente pra mim, aquelas que batiam na minha porta fosse duas da tarde ou duas da manhã. Obrigada pela espontaneidade e por mesmo longe continuar presente.

Agradeço também, as minhas amigas e colegas de apartamento Gabriela e Marília, que aguentam meu mau humor e minhas alegrias, que dividem além do aluguel uma amizade sincera e bonita.

Finalmente, a todos aqueles que mesmo não citados anteriormente, ajudaram a tornar este sonho realidade.

Diante de mim havia duas estradas.
Escolhi a menos percorrida.
Isso fez toda a diferença.
Robert Frost

RESUMO

Amaral, M. B. **Estudo de Misturas de Solo Argiloso Laterítico do Noroeste do Rio Grande do Sul e Areia Industrial para Uso em Pavimentos Econômicos**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2015.

Fortes razões para o uso de materiais alternativos locais na execução de construção e manutenção de rodovias podem ser enumeradas como a necessidade de um país como o Brasil de vultosos investimentos em infraestrutura, a inserção de conceitos de sustentabilidade e responsabilidade social, e a escassez de recursos financeiros para atendimento das demandas, que certamente será ampliada nos próximos anos pela conjuntura econômica e política. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo descrever parte da pesquisa que pretende avaliar o uso de solo laterítico argiloso proveniente da cidade de Ijuí, em bases e sub-bases para execução de pavimentos mais econômicos misturados a areia industrial. Este solo utilizado localmente como subleito de rodovias pavimentadas e de leito estradal de não pavimentadas, pode ser encontrado facilmente na região, contribuindo para a sua fácil obtenção e complementarmente reduzindo drasticamente o passivo ambiental que a pavimentação de vias provoca. A pesquisa utiliza tanto a metodologia tradicional, já amplamente reconhecida como não muito adequada para os solos tropicais como este solo laterítico fino, bem como a metodologia MCT, criada especificamente para estes tipos de solos. Os resultados da pesquisa com outras misturas de agregado miúdo foram promissores e estimularam para a continuidade dos estudos. Desta vez, esta pesquisa que integra o projeto de estudo de solo argiloso laterítico regional para uso em pavimentos econômicos, pretende comprovar a possibilidade de empregar misturas de solo com areia industrial na constituição de bases e sub-bases, respectivamente, de rodovias vicinais e pavimentos urbanos sujeitos a baixo volume de tráfego.

Palavras-chave: Solos; Materiais Alternativos; Pavimentação; Argilas Lateríticas; Misturas ALA.

ABSTRACT

Amaral, M. B. **Study of lateritic argillaceous soil from the northwest of Rio Grande do Sul and industrial sand for use in economic pavements**. 2015. Final Paper. Civil Engineering Course, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2015

There are strong reasons for using local alternative materials in the execution of construction and maintenance of roads that can be listed as the need for a country like Brazil, as huge investments in infrastructure, the inclusion of concepts of sustainability and social responsibility, and scarcity financial resources to meet the demands that will surely be expanded in the coming years by the economic and political situation. In this context, this paper aims to describe part of the research that intend to evaluate the use of lateritic argillaceous soil from the city of Ijuí in bases and sub-bases for the execution of more economical pavements mixed with industrial sand. This soil used locally as subgrade of paved roads and unpaved estradal bed, can be found easily in the region, contributing to its easily obtaintion and complementary drastically reducing the environmental liability that the process of paving causes. The research uses both the traditional method, already widely recognized as not very suitable for tropical soils, like this fine lateritic soil, and the MCT methodology designed specifically for these types of soils. The survey results with other mixtures of fine aggregate were promising and encouraged the continuation of studies. This time, this search that integrates the study project of regional lateritic argillaceous for use in economic paviments, is intended to demonstrate the possibility of using soil mixtures with industrial sand in the formation of bases and sub-bases, respectively, feeder roads and urban pavements subject to low traffic volume.

Keywords: Soils; Alternative Materials; Paving; lateritic clays; ALA mixtures.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de seção transversal do pavimento 21
Figura 2: Pavimentos flexíveis e rígidos 22
Figura 3: Seção transversal de um pavimento econômico 23
Figura 4: Ocorrência de solos arenosos e argilosos, de comportamento laterítico.....24
Figura 5: Classificação dos agregados..... 27
Figura 6: Gráfico de plasticidade 30
Figura 7: Gráfico da Classificação de Solos MCT.....33
Figura 8: Solo campus 36
Figura 9: Areia industrial..... 37
Figura 10: Material quarteado.....40
Figura 11: Ensaio massa específica real dos grãos..... 40
Figura 12: Dispersor 41
Figura 13: Peneiras 42
Figura 14: Aparelho de Casagrande para Limite de Liquidez..... 44
Figura 15: Cilindros e soquetes.....45
Figura 16: Prensa de ISC do LEC UNIJUÍ 47
Figura 17: Equipamento para a realização do ensaio Mini-MCV..... 49
Figura 18: Ensaio de perda de massa por imersão.....50
Figura 19: Todas as amostras no ensaio de sedimentação..... 52
Figura 20: Material acumulado no fundo da proveta…….....52
Figura 21: Curva Granulométrica..... 53
Figura 22: Curvas de compactação do Solo Natural e Misturas ALAI..... 56
Figura 23: Gráfico de tendência x PEAS Máximo das Misturas e Solo..... 57
Figura 24: ISC’s na energia modificada..... 58
Figura 25: ISC’s na energia intermediária..... 58
Figura 26: Material acumulado no fundo da proveta…….....61
Figura 27: Classificação MCT..... 62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação SUCS 29
Tabela 2: Classificação dos solos (TRB).....31
Tabela 3: Limites de Atterberg.....53
Tabela 4: Índice de Grupo..... 54
Tabela 5: Características inerentes a cada energia..... 55
Tabela 6: Valores ISC e Expansão das Misturas e Solo ……..... 59
Tabela 7: Valores do MCT ……..... 62

LISTA DE SIGLAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ALA	Argila Laterítica – Areia
ALAI	Argila Laterítica – Areia Industrial
BC	Bica Corrida
BGS	Brita Graduada Simples
DAER	Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FURG	Universidade Federal do Rio Grande
H.R.B.	Highway Research Board
IG	Índice de Grupo
IP	Índice de Plasticidade
ISC	Índice de Suporte Califórnia
LA	Areia Laterítica
LA’	Solo Laterítico Arenoso
LEC	Laboratório de Engenharia Civil
LG’	Solo Laterítico Argiloso
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
MCT	Miniatura Compactação Tropical
MH	Macadame Hidráulico
MS	Macadame Seco

NA’	Solo Não Laterítico Areno Argiloso
NA	Solo Não Laterítico
NG’	Solo Não Laterítico Argiloso
NS’	Solo Não Laterítico Siltoso
PET	Programa de Educação Tutorial
SAFL	Solo Arenosos Finos Lateríticos
SB	Solo-Brita
SLAD	Solo Laterítico Agregado Descontinuo
SLC	Solo Laterítico Concrecionado
SS	Solo Saprolítico
SUCS	Sistema Unificado de Classificação de Solos
USCS	Unified Soil Classification System
UNIJUÍ	Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 16

1.1 CONTEXTO 17

1.2 PROBLEMA 17

1.2.1 Questões de Pesquisa 18

1.2.2 Objetivos de Pesquisa 18

1.2.3 Delimitação 19

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 20

2.1 ESTRUTURA DOS PAVIMENTOS 20

2.1.1 Pavimentos Econômicos 23

2.2 MATERIAIS UTILIZADOS EM PAVIMENTAÇÃO 25

2.2.1 Materiais Terrosos 25

2.2.2 Materiais Pétreos 25

2.2.3 Materiais Alternativos 27

2.3 CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS PARA APLICAÇÃO EM PAVIMENTOS 28

2.3.1 Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) 28

2.3.2 Classificação Rodoviária H.R.B. (AASHTO) 30

2.3.3 Classificação MCT 31

3 METODOLOGIA DE PESQUISA 35

3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA 35

3.2 DELINEAMENTO 35

3.3 MATERIAIS UTIIZADOS 36

3.3.1 Solo 36

3.3.2 Areia Industrial 37

3.3.3 Misturas 38

3.4 ENSAIOS LABORATORIAIS 38

3.4.1 Preparação das Amostras 38

3.4.2 Análise Granulométrica 39

3.4.3 Limites de Consistência ou de Atterberg 42

3.4.4 Compactação 44

3.4.5 Índice de Suporte Califórnia (ISC) 46

3.4.6 Ensaios da Metodologia MCT 47

3.4.6.1 Ensaio de Compactação Mini-MCV (M5) 48

3.4.6.2 Ensaio de Perda de Massa por Imersão (M8) 49

3.4.6.3 Classificação Geotécnica MCT (M9) 50

4 RESULTADOS 51

4.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA 51

4.2 LIMITES DE ATTERBERG 53

4.2.1 Classificação do Solo e das Misturas 54

4.2.1.1 Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) 54

4.2.1.2 Classificação Rodoviária H.R.B. (AASHTO) 54

4.3 COMPACTAÇÃO 55

4.4 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (ISC/CBR) 57

4.5 ENSAIO MCT 60

4.5.1 Ensaio de Compactação Mini-MCV (M5) 60

4.5.2 Ensaio Perda de Massa por Imersão (M8) 60

4.5.3 Classificação Geotécnica MCT (M9) 62

5 CONCLUSÃO 64

REFERÊNCIAS 65

1 INTRODUÇÃO

Segundo Felten (2005, p. 27), em análise da malha rodoviária do sul do estado do Rio Grande do Sul destaca-se a pequena extensão em estradas pavimentadas. Esta situação acontece em todo o estado e na nossa região, noroeste gaúcho. Isso decorre principalmente da falta de recursos públicos e da escassez de materiais tradicionais utilizados na pavimentação. Nesse sentido, reportagem publicada no Correio do Povo reforça esta carência:

> O transporte rodoviário é o principal modal da matriz logística do Rio Grande do Sul. Corresponde a 85,3% da movimentação no Estado, índice superior à média nacional, que depende 68,9% das rodovias. Dos 8 mil quilômetros de rodovias estaduais, apenas 4,7 mil são pavimentados e somente 126 duplicados, segundo dados do Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem (DAER). No momento, 1,1 mil quilômetros estão em obras — para pavimentação ou duplicação. Nas rodovias federais, a situação é semelhante. Dos 5,3 mil quilômetros, 307 estão duplicados e 345, em obras.
>
> Além de colocarem em risco a vida dos motoristas, estradas sem pavimentação ou não duplicadas provocam gastos com pneu, combustível e peças. Em média, o custo repassado aos produtos transportados representa 30% do valor da mercadoria. “A solução para isso seria investimento maciço em infraestrutura. Pode até ter pedágio, desde que tenhamos estradas em condições para transitar”, afirma o presidente do Sindicato das Empresas de Transporte de Cargas e Logística (Setcergs), Sérgio Neto. [...] “Depois da burocracia para abrir a empresa, o empreendedor tem que fazer um estudo para saber como tornar o negócio viável”, afirma Neto (PUGLIERO, 2014).

De acordo com Villibor et al. (1995), a ideia de utilizar argilas em bases e sub-bases de pavimentos econômicos é antiga e muito citada na bibliografia internacional, devido a elevada capacidade de suporte destas quando compactadas. Sua dificuldade de uso está em regiões onde o clima é frio e temperado, fazendo com que o teor de umidade se mantenha relativamente baixo.

Diante disso, o uso de materiais alternativos para bases e sub-bases de pavimentos, viabilizaria a construção rodoviária, especialmente a vicinal, fazendo com que os governos pudessem construir mais pavimentos em nossos estados. Dentro desses, a utilização de misturas de materiais com solos argilosos é uma maneira de diminuir custos significativamente na

construção de rodovias, especialmente as de baixo tráfego, já que o solo seria do próprio local da rodovia.

1.1 CONTEXTO

Segundos dados do DNIT (2014), cerca de 78,6% da malha total rodoviária brasileira não é pavimentada, e analisando as rodovias municipais o número é bem maior, chegando a 92,2%. Nesse sentido, Amaral et al. (2015) reforça a importância da redução deste quadro sendo uma das alternativas o tema deste trabalho:

> Num país como o Brasil que necessita grandes investimentos em infraestrutura, a inserção de conceitos de sustentabilidade e responsabilidade social, e a quantidade insuficiente de recursos financeiros para atender as demandas são fortes argumentos para o uso de materiais locais na execução de construção e manutenção de rodovias.

Diante disso, o tema deste trabalho foi escolhido a partir da evolução de projeto de pesquisa institucional da UNIJUÍ, vinculado ao Grupo de Pesquisa em Novos Materiais e Tecnologias para a Construção. Este projeto denominado “Estudo de Solo Argiloso Laterítico para Uso em Pavimentos Econômicos” é coordenado pelo orientador deste trabalho e integram a equipe cinco bolsistas PET (Programa de Educação Tutorial), sendo um deles a autora dessa dissertação.

A autora ingressou no programa no ano de 2013, auxiliando pesquisas na área de construção civil. No segundo semestre passou a fazer parte do grupo de pesquisa de solos, permanecendo até os dias atuais.

1.2 PROBLEMA

O modal de transportes mais importante é o rodoviário, sendo preciso oferecer uma maior atenção à construção e manutenção do mesmo. Os altos custos dos materiais usualmente empregados na pavimentação dificultam o investimento público na construção de rodovias, desta forma, pesquisas e estudos nesta área devem focar na diminuição destes custos, sendo uma das formas o uso de materiais locais, senão no estado natural, misturados com outros materiais (VILLIBOR et al, 1995).

Ainda, Villibor et al. (1995), cita em suas pesquisas o uso de solos argilosos e arenosos de várias regiões do país, com desempenho satisfatório em bases de pavimentos, desde que tenha caráter laterítico como o solo argiloso de Ijuí.

Dessa maneira, objetiva-se estudar a viabilização do solo laterítico argiloso da região noroeste do estado, misturado à areia industrial regional proveniente da cidade de Passo Fundo, para uso em bases e sub-bases de pavimentos econômicos.

1.2.1 Questões de Pesquisa

- Questão principal

A areia industrial pode ser utilizada como material adicional ao solo laterítico argiloso para melhorar o comportamento em bases e sub-bases de pavimentos econômicos?

- Questões secundárias

Qual percentual de solo laterítico argiloso misturado com areia industrial, garante as exigências técnicas normativas para utilização em bases e sub-bases de pavimentos econômicos?

1.2.2 Objetivos de Pesquisa

- Objetivo Geral

O objetivo geral da pesquisa é avaliar por meio de ensaios laboratoriais a utilização de misturas de solo laterítico argiloso proveniente da cidade de Ijuí, com areia industrial, tendo como resultado a viabilização ou não para uso em bases e sub-bases de pavimentos econômicos.

- Objetivos específicos
  - ✓ Verificar a proporção de areia industrial nas misturas com solo laterítico argiloso;
  - ✓ Estudar a viabilização das misturas através de ensaios laboratoriais, como caracterização do material, granulometria, ensaio de compactação, ISC e da metodologia MCT (Miniatura Compactação Tropical), das misturas de solo laterítico argiloso e areia industrial;

- ✓ Reconhecer a melhor proporção de mistura para uso em pavimentos econômicos.

1.2.3 Delimitação

A presente pesquisa pretende avaliar de acordo com a metodologia MCT (Miniatura Compactada Tropical) (Villibor e Nogami, 2009) três misturas de solo e areia industrial.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta revisão bibliográfica abrangerá alguns dos principais assuntos ligados ao presente trabalho, com o intuito de possibilitar ao leitor uma melhor compreensão e inserção ao tema desta dissertação. Desta forma serão apresentados os temas: estrutura dos pavimentos, materiais utilizados em pavimentação e classificação de solos.

2.1 ESTRUTURA DOS PAVIMENTOS

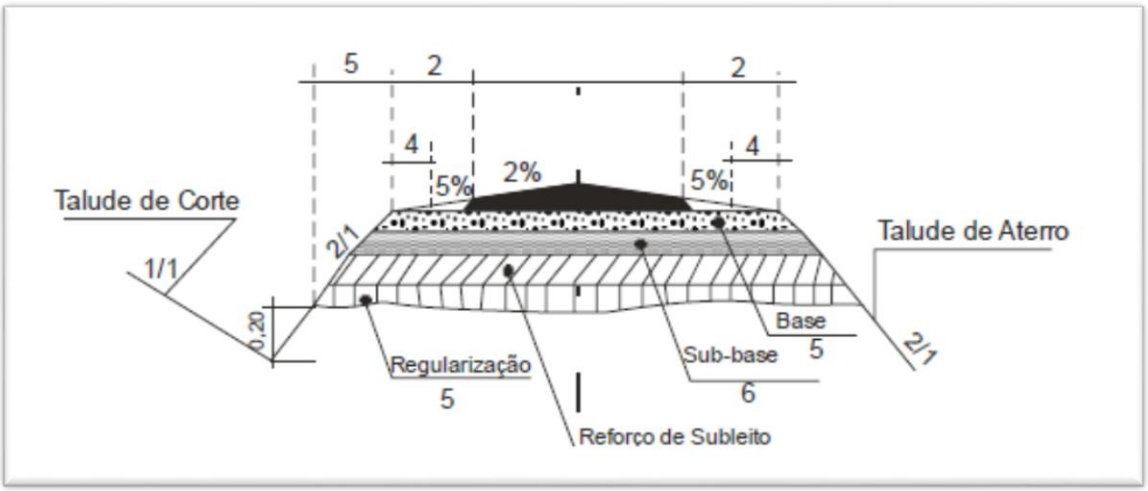
De acordo com Bernucci et al. (2006, p. 337), os pavimentos têm suas estruturas regularizadas em camadas. Cada uma delas tem uma espessura específica, onde o comportamento estrutural do pavimento depende, além da rigidez das mesmas e do subleito, da interação entre as distintas camadas do pavimento.

Essas camadas são divididas em subleito, reforço do subleito, sub-base, base e revestimento. Na Figura 1 é possível verificar a seção transversal do pavimento, com alguns dos itens referidos. De modo geral, as mesmas, conforme se aproximam da superfície tem melhores características, sendo assim, mais resistentes. A capa ou camada de rolamento é construída para suportar os efeitos destrutivos do tráfego e das intempéries, sendo a camada mais superficial. A base do ponto de vista estrutural é a mais importante delas. Abaixo da base pode ser feito uma sub-base e/ou um reforço do subleito, servindo de transição ao subleito (BALBO, 2007, p. 35-38).

Segundo DNIT (2006, p. 106), definem-se os diversos constituintes dos pavimentos:

- ✓ Pavimento – estrutura destinada a resistir aos esforços verticais provenientes do tráfego; aprimorar as condições do rolamento quanto à comodidade e conforto; e resistir aos esforços horizontais (desgaste), tornando-o mais durável. Essa estrutura é construída logo após a terraplanagem;
- ✓ Subleito – é o terreno de fundação do pavimento;

Figura 1: Esquema de seção transversal do pavimento



Fonte: Manual de pavimentação (2006, p. 106)

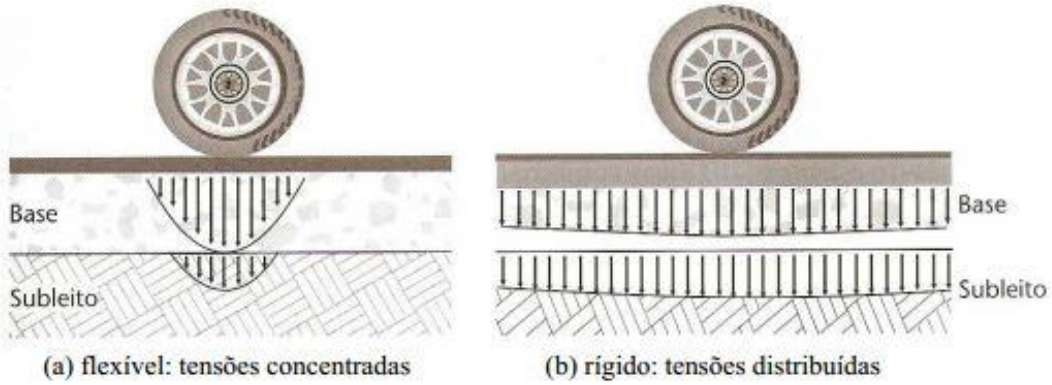
- ✓ Regularização do subleito – a regularização não forma exatamente uma camada do rolamento, pode ser uma operação reduzida, em sobreposição a camada anterior, variando sua espessura;
- ✓ Reforço do subleito – está localizada acima da regularização e constitui de materiais melhores que do subleito e inferiores que a camada consecutiva, posta por circunstâncias técnico-econômicas;
- ✓ Sub-base – camada que complementa a base, sendo necessária sua utilização quando não for possível construir diretamente a base sobre a regularização, devido a motivos econômicos e técnicos;
- ✓ Base – camada mais importante estruturalmente do pavimento, construída logo após o revestimento, onde sua função é dar suporte para os esforços provenientes do tráfego;
- ✓ Revestimento – camada mais superficial do pavimento, destinada ao conforto e segurança, sendo que a mesma deve ser o máximo possível impermeável, devido a ação direta do rolamento dos veículos.

Conforme Bernucci et al. (2006, p. 337 e 338), os pavimentos de forma geral são classificados em:

- ✓ Rígido: camada chamada de revestimento onde sua estrutura tem uma rigidez elevada comparada a outras. Compõe-se geralmente de placas de concreto de cimento Portland, armadas ou não, apoiada sobre uma sub-base de material granular ou material estabilizado com cimento, onde é depositada sobre o subleito ou reforço do subleito.
- ✓ Flexível: camadas que sofrem deformação elástica quando aplicada tensões em sua superfície. São compostas por uma camada superficial asfáltica, sustentadas sobre bases, sub-bases e reforço do subleito, formado de materiais granulares, misturas de solos ou solos.
- ✓ Semi-rígido: camada intermediária com maior rigidez que as demais. Revestimentos asfálticos que têm em sua base ou sub-base materiais cimentados, que também são solicitados à tração.

Conforme Balbo (2007, p. 47), uma carga aplicada em um pavimento flexível faz com que as tensões tenham um campo de atuação menor, se concentrando assim, em apenas um ponto de aplicação da carga, conforme mostra Figura 2 letra a, já em um pavimento rígido as tensões tem um campo de atuação mais disperso, onde se distribuem sobre o pavimento em grande parte de sua dimensão (Figura 2 letra b), proporcionando assim, menores intensidades de esforços verticais sobre o subleito.

Figura 2: Pavimentos flexíveis e rígidos

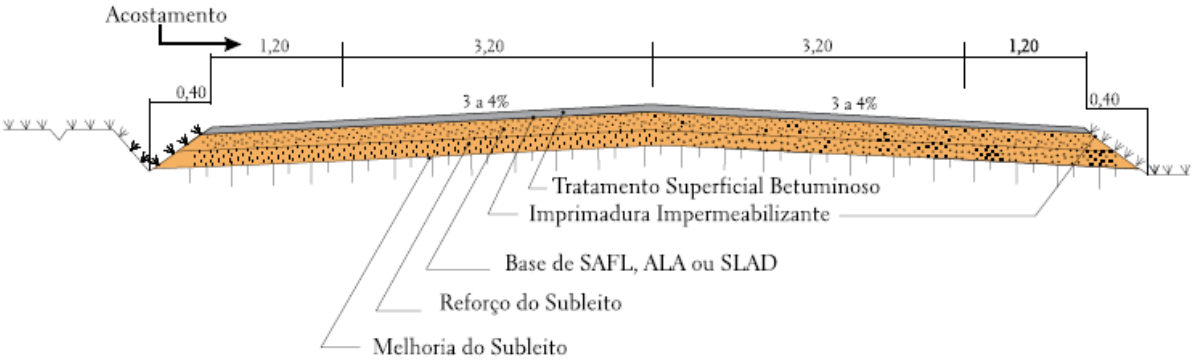


Fonte: Balbo (2007, p. 47)

2.1.1 Pavimentos Econômicos

Segundo Villibor e Nogami (2009, p. 201), o pavimento econômico utiliza bases com materiais naturais ou misturadas com certa porcentagem de agregado, tornando o custo de execução menor em relação a materiais empregados tradicionalmente. Na Figura 3, pode-se visualizar uma seção transversal típica de um pavimento econômico:

Figura 3: Seção transversal de um pavimento econômico



Fonte: Villibor e Nogami (2009, p. 201)

Conforme Villibor e Nogami (1995), o solo-agregado para que possa ser utilizado em bases, sub-bases ou reforço do subleito, deve ter algumas propriedades. Estas, exigidas, variam de acordo com o uso específico do solo-agregado, dentre elas são citadas a granulometria, limite de liquidez e índice de plasticidade, resistência dos grãos e equivalente areia.

Os autores acima citados, ainda afirmam que os tipos de bases de baixo custo utilizadas em pavimentos econômicos são (VILLIBOR E NOGAMI, 2009, p. 203):

- Bases de SAFL com materiais de ocorrências naturais.
- Bases de Solo Laterítico-Agregado, a saber:

✓ De granulação fina, designado ALA, cujo material é constítuido de mistura de argila laterítica com areia.

✓ De granulação grossa, designado SLAD, cujo material é constítuido de mistura de solo laterítico com baixa porcentagem de agregado (brita, pedregulho ou laterita).

A ocorrência de solos finos arenosos [Areia laterítica (LA) e Solo laterítico arenoso (LA')] e argilosos [Solo laterítico argiloso (LG')], de comportamento laterítico perfaz cerca de 65% do território brasileiro (Figura 4). Nesses locais se encontram jazidas de solos, que por fim servem como execução de bases SAFL. Existem dois tipos de misturas que podem ser obtidas para bases de pavimentos: em casos de solos argilosos lateríticos (LG'), devem ser ajustados com acréscimo de areia quartzosa e/ou areia lavada de rio; no caso de areia laterítica (LA), deve ser acrescido de solo argiloso laterítico (VILLIBOR E NOGAMI, 2009, p. 206-207).

Figura 4: Ocorrência de solos arenosos e argilosos, de comportamento laterítico

Fonte: Villibor e Nogami (2009, p. 206)

2.2 MATERIAIS UTILIZADOS EM PAVIMENTAÇÃO

Segundo Bernucci et al. (2006, p. 339), para escolher materiais empregados nas camadas dos pavimentos, como por exemplo, para bases, sub-bases e reforço do subleito, é verificado por meio de métodos de seleção e caracterização de propriedades. A seleção é a escolha dos materiais disponíveis, averiguado quanto a sua característica de natureza para que sejam utilizados na estrutura dos pavimentos. Os materiais compactados devem ser de grande resistência, pouco deformáveis e com uma permeabilidade compatível com seu desempenho na estrutura.

Ainda conforme Bernucci et al. (2006, p.339), basicamente os materiais são agregados, solos e, em alguns casos, aditivos como cimento, cal, emulsão asfáltica, entre outros. Através da tecnologia tradicional, onde se verifica na distribuição da granulometria e na resistência, forma e durabilidade dos grãos, é que se faz a escolha e a caracterização dos agregados. Os materiais incorporados nas obras de pavimentação são divididos em dois grandes grupos, os terrosos e os pétreos.

2.2.1 Materiais Terrosos

De acordo com DNIT (2006, p. 17), caracterizados basicamente por solos, definidos geologicamente, como material resultante da decomposição das rochas pela ação de agentes de intemperismo. Atende-se como solo qualquer material que possa ser escavado com picareta, pá, escavadeiras, entre outros, sem o uso de explosivos.

2.2.2 Materiais Pétreos

Ainda conforme DNIT (2006, p. 78), os materiais utilizados na pavimentação conhecidos como agregados podem ser tanto de origem artificial quanto natural. Na artificial, podem ser materiais modificados fisicamente ou quimicamente, como por exemplo, a escória e a argila expandida. E em sua forma natural, se encontram pedregulhos, os seixos rolados, entre outros.

Ainda conforme DNIT (2006, p. 78), os agregados usados em pavimentação podem ser classificados de acordo com o diagrama da Figura 5 e segundo a seguir dissertado:

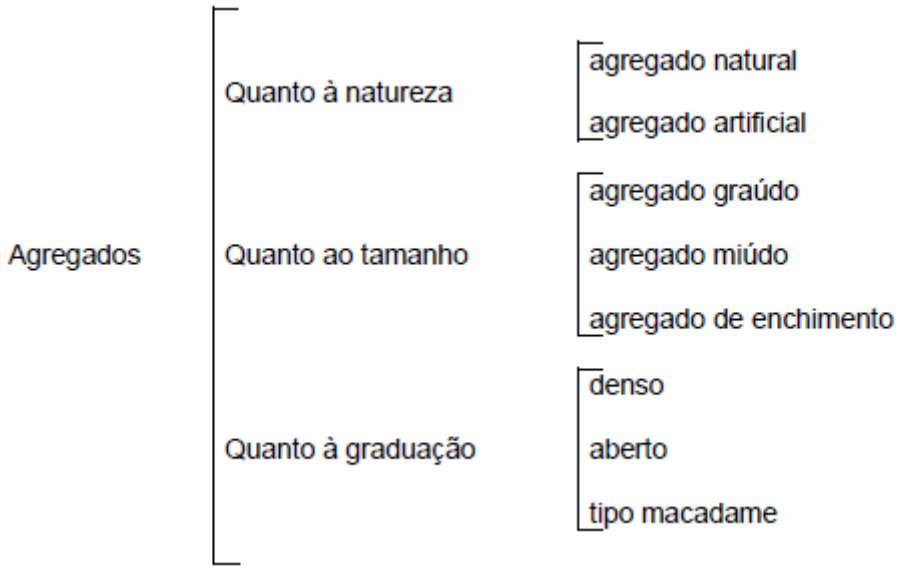
- ✓ A sua natureza: divididos em agregados naturais e artificiais. O primeiro se origina de grãos que são provenientes da alteração das rochas, através do intemperismo e/ou britagem das mesmas, como, areias, seixos, britas, pedregulhos, entre outros. O segundo, os grãos passam por transformações físicas e químicas se tornando produtos e subprodutos de processo industrial, como, argila calcinada, argila expandida, escória de alto forno.
- ✓ Tamanho individual dos grãos:

> Agregado graúdo é o material retido na peneira nº 10 (2,00 mm): britas, cascalhos, seixos, etc. Agregado miúdo é o material que passa na peneira nº 10 (2,00 mm) e fica retido na peneira nº 200 (0,075 mm): pó-de-pedra, areia, etc. Agregado de enchimento ou material de enchimento (filler) é o que passa pelo menos 65% na peneira nº 200 (0,075 mm): cal extinta, cimento Portland, pó de chaminé, etc. (DNIT, 2006, p.79).

- ✓ Distribuição ou graduação dos grãos: pode ser densa, aberta ou tipo macadame. A primeira, têm curva granulométrica do material bem graduada e contínua, apresenta quantidade de material fino suficiente para que possa preencher os vazios que ali existem. Já a aberta, também apresenta curva granulométrica do material bem graduada e contínua, mas o material fino é insuficiente para preencher os vazios entre as partículas maiores. Finalmente, o tipo macadame, possui partículas de um único tamanho e um agregado de granulometria uniforme, onde o diâmetro máximo é próximo ao dobro do diâmetro mínimo (DNIT, 2006, p.79).

Conforme Balbo (2007, p. 155), os principais materiais ou misturas para serem utilizadas nas camadas abaixo do revestimento são BC (Bica Corrida), BGS (Brita Graduada Simples), MH (Macadame Hidráulico), MS (Macadame Seco), SAFL, SLC (Solo Laterítico Concrecionado), SS (Solo Saprolítico), SB (Solo-Brita) e dos revestimentos rochosos poliédricos (paralelepípedos).

Figura 5: Classificação dos agregados



Fonte: DNIT (2006, p. 78)

2.2.3 Materiais Alternativos

Conforme Oliveira (2000, p. 2), a utilização de materiais alternativos pode tornar possível a pavimentação de muitas rodovias. Muitos deles são encontrados no mesmo local da construção ou na região, tem um custo-benefício significativo e integram muitas áreas rurais hoje carentes de desenvolvimento.

Ainda conforme Oliveira (2000, p. 2-8) destacam-se alguns materiais para rodovias de baixo volume de tráfego:

- ✓ Plintossolo: conhecido regionalmente como “barrinho” é um solo de textura areno-argilosa com concentração de óxido de ferro, alumínio e manganês, e foi utilizado com sucesso como camada de bases e sub-bases de um pavimento;
- ✓ Saibros de granito/gnaisse: solos residuais do horizonte C e de alterações de rochas. Rochas de texturas grossas e ricas em quartzo e feldspato de potássio;

- ✓ Basaltos alterados: macadame seco do basalto alterado, de bom desempenho e comportamento estrutural, resultantes de um processo de alteração de rochas vulcânicas, com grande fendilhamento;
- ✓ Lateritas: materiais concrecionados, composto essencialmente de óxido de ferro e alumínio, silicatos, magnésio, entre outros. Ocorrem principalmente na região das Missões (noroeste do estado do Rio Grande do Sul);
- ✓ Solos arenosos finos lateríticos: solo com comportamento geotécnico laterítico, classificado segundo a classificação MCT conforme Villibor e Nogami.

2.3 CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS PARA APLICAÇÃO EM PAVIMENTOS

As classificações de solos tradicionais mais utilizadas são a classificação do SUCS (Sistema Unificado De Classificação De Solos), proposto por Arthur Casagrande em 1942, adota-se a curva granulométrica e os limites de atterberg; e a AASHTO (American Association Of State Highway And Transportation Officials), desenvolvida nos Estados Unidos, baseia-se nos mesmos critérios, proposto com a finalidade de classificar solos para fins rodoviários (LODI, p. 36-39).

2.3.1 Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS)

De acordo com DNIT (2006, p. 58), o USCS (Unified Soil Classification System) ou SUCS (Sistema Unificado de Classificação de Solos) identifica solos segundo suas qualidades de plasticidade e textura, separando-os em grupos conforme o seu comportamento quando empregados em aterros, aeroportos, estradas e fundações.

As divisões básicas são: solos de granulação graúda (mais de 50% em peso retido na peneira nº 200) e serão G ou S, solos de granulação fina (mais de 50% em peso passando na peneira nº 200) e serão M, C ou O como pode ser visto na Tabela 1. O critério granulométrico utilizado difere do correspondente do HRB da AASHTO (DNIT, 2006, p.58).

Segundo Das (2007, p. 39), outros símbolos utilizados com seus respectivos significados são: W: bem graduados; P: mal graduados; L: baixa plasticidade (limite de liquidez abaixo de 50%); H: alta plasticidade (limite de liquidez acima de 50%).

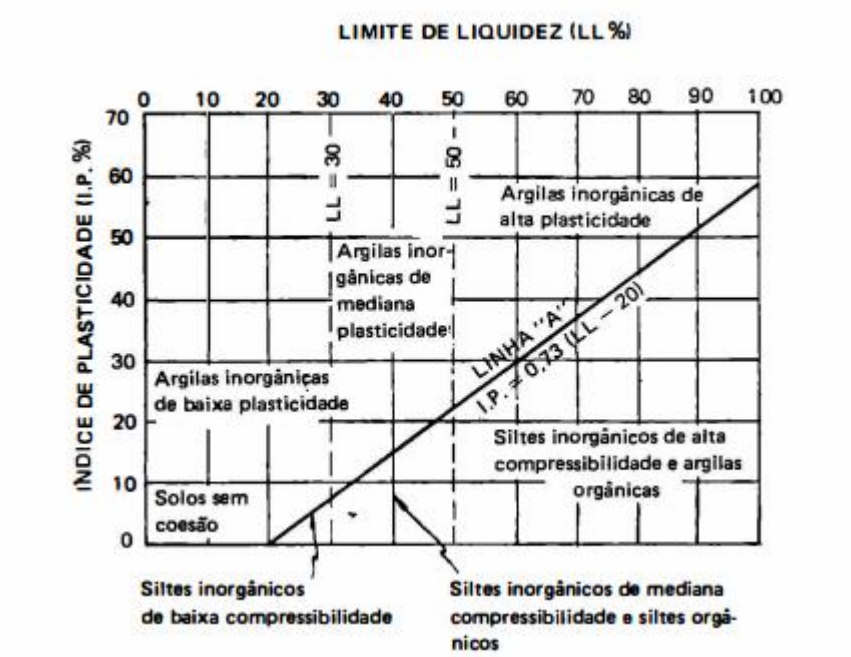
Tabela 1: Classificação SUCS

% P #200 < 50	G > S : G		% P #200 < 5	GW	CNU > 4 e 1 < CC < 3
				GP	CNU < 4 ou 1 > CC > 3
			% P #200 > 12	GC / GM	GC / GM
			5 < #200 < 12	GW-GC, GP-GM, etc.	
	S > G : S		% P #200 < 5	SW	CNU > 6 e 1 < CC < 3
				SP	CNU < 6 ou 1 > CC > 3
			% P #200 > 12	SC / SM	SC / SM
			5 < #200 < 12	SW-SC, SP-SC, etc.	
% P #200 > 50	C	CL	IP, 58, CH, OH, CL, OL, MH, ML, 7, 4, 20, 50, 100, LL		
		CH			
	M	ML			
		MH			
	O	OL			
		OH			

Fonte: Pinto (2006)

Segundo Pinto (2006, p. 56), analisando os índices e o comportamento do solo, Arthur Casagrande percebeu que o IP do solo comparado com o LL no gráfico, como apresentado na Figura 6, observando a Linha A da mesma, se verifica que os solos com comportamento argiloso estão localizados um ponto acima da linha inclinada, já abaixo dessa mesma linha, são os solos orgânicos e solos siltosos.

Figura 6: Gráfico de plasticidade



Fonte: Caputo (1988, p. 57)

2.3.2 Classificação Rodoviária H.R.B. (AASHTO)

A classificação rodoviária foi idealizada pelo engenheiro Arthur Casagrande e é aprovado pelo H.R.B. (Highway Research Board) da AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials).

De acordo com Pinto (2006, p. 57), essa classificação também leva em conta a quantidade de material que passa na peneira nº 200, mas diferente da Classificação Unificada, são considerados solos de granulação grosseira os que têm menos de 35% passando nessa peneira. Estes são os solos dos grupos A-1, A-2 e A-3. Os solos com mais de 35% passando na peneira nº 200 compõem os grupos A-4, A-5, A-6 e A-7.

Conforme DNIT (2006, p. 56), os solos são classificados devido a sua granulometria, limites de consistência e índice de grupo, e estão divididos em grupos e subgrupos. Determina-se o grupo do solo, analisando a Tabela 2 da esquerda para a direita por processo de eliminação. O primeiro grupo a partir da esquerda que os valores de ensaio ajustarem-se, será a classificação correta.

Tabela 2: Classificação dos solos (TRB)

CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES 35% (ou menos) passando na peneira Nº 200							MATERIAIS SILTO - ARGILOSOS			
CLASSIFICAÇÃO EM GRUPOS	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 A - 7 - 5 A - 7 - 6
	A - 1 - A	A - 1 - B		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				
Granulometria - % passando na peneira											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	30 máx.	51 min.								
Nº 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características da fração passando na peneira Nº 40:											
Limite de Liquidez				40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.
Índice de Plasticidade	6 máx.	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.*
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 max.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais constituintes	Fragmentos de pedras, pedregulho fino e areia			Pedregulho ou areias siltosos ou argilosos				Solos siltosos		Solos argilosos	
Comportamento como subleito	Excelente a bom							Sofrível a mau			

* O IP do grupo A - 7 - 5 é igual ou menor do que o LL menos 30.

Fonte: DNIT (2006, p. 56)

2.3.3 Classificação MCT

Segundo Villibor e Nogami (2009, p. 40), caracteriza-se pela utilização de corpos de prova (cp) cilíndricos, com diâmetro de 50 mm e altura aproximadamente desse mesmo valor. Por este motivo são nomeados de “Miniatura” (M), ainda por serem obtidos em laboratório por compactação (C) e a sistemática foi desenvolvida para solos tropicais (T), finalizando e justificando assim a sigla MCT.

> Essa sistemática inicialmente desenvolvida foi simplificada com a introdução do ensaio de compactação desenvolvido por Parsons (1976), envolvendo a determinação do

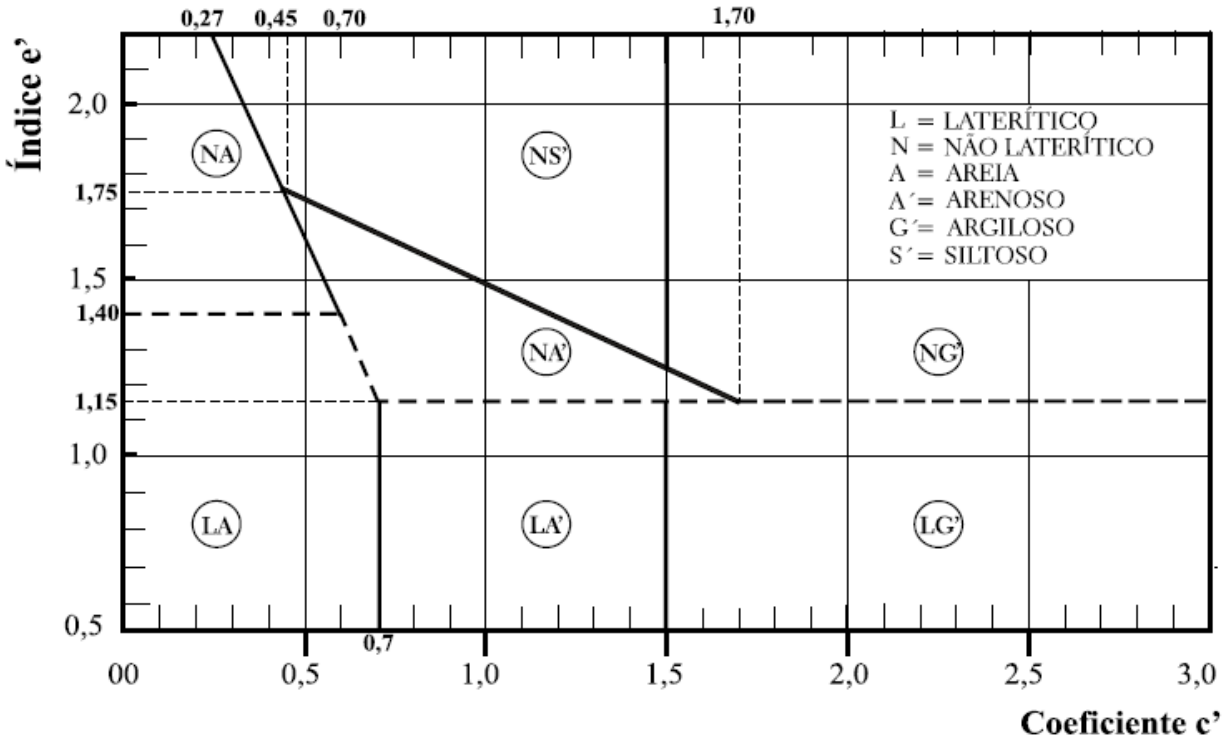
> parâmetro MCV, que adaptado a corpos-de-provas miniaturas foi designado ensaio mini-MCV. Este ensaio permite determinar, dentre outras, uma propriedade empírica do solo (mini-MCV), que está associada a sua aptidão à compactação: indicação do teor de umidade e energia de compactação mais adequados, identificação dos solos problemáticos à compactação. Para fins de classificação dos solos lateríticos ou saprolíticos, foi introduzido por aqueles pesquisadores um novo ensaio para avaliar o comportamento de corpos-de-prova obtidos no ensaio mini-MCV, após imersão em água e sob condições padronizadas, resultando como subproduto, uma nova sistemática classificatória de solos para fins rodoviários, denominada MCT - Miniatura Compactado Tropical (DNIT, 2006, p. 66).

Segundo Villibor e Nogami (2009, p. 51), o ensaio mini-MCV consiste em aplicar certo número de golpes, com um teor de umidade, até que não haja acréscimo em sua densidade e, ainda, durante isto é medido a altura do corpo de prova durante a compactação. Cada teor de umidade corresponde a uma curva de deformabilidade, o coeficiente angular, dado por cada uma delas, é denominado coeficiente c'. O coeficiente d' é a inclinação, da parte retilínea do ramo seco da curva de compactação, que corresponde a 12 golpes do ensaio de mini-MCV. Estes dois coeficientes, serão de grande importância para identificar solos tropicais e para o uso na Classificação Geotécnica MCT.

Com os valores c' e d' encontrados através do Mini-MCV (ensaio M5), mais o valor encontrado do Pi, Perda de massa por imersão (ensaio M8), obtém-se através da fórmula da equação 1, o índice e' que é um dos itens responsáveis pela classificação de solos MCT situado na parte ordenada do gráfico (Figura 7). Com o valor de c' localizado na abscissa do gráfico, pode-se descobrir o comportamento do solo, se é laterítico, não laterítico, areia, arenoso, argiloso ou siltoso (VILLIBOR E NOGAMI, 2009, p. 54).

$$e' = \sqrt[3]{\left(\frac{Pi}{100}\right) + \left(\frac{20}{d'}\right)} \qquad (1)$$

Figura 7: Gráfico da Classificação de Solos MCT



Fonte: Villibor e Nogami (2009, p. 54)

De acordo com Villibor e Nogami (1995, p. 92 à 94), a classificação geotécnica MCT é dividida em grupos, onde são nomeados os tipos de solos a serem classificados, como citado a seguir:

- Grupo NA: os solos são areias, siltes e a mistura dos dois, e estão no limite da aplicabilidade da metodologia MCT;
- Grupo NA': são misturas de areia quartzosas e tem seus finos passando na peneira de 0,075mm. Comportamento não laterítico. Em alguns casos, se obedece as condições tradicionais e se os finos forem bem graduados, pode-se utilizá-los em uso de bases de pavimentos;
- Grupo NS': São, sobretudo, solos saprolíticos silto-arenosos. Estes solos quando compactados na sua umidade ótima da energia normal e imersos em água durante quatro dias, tem baixa capacidade de suporte;

- Grupo NG’: Solos saprolíticos argilosos, que quando compactados na umidade ótima apresentam características muito plásticas e expansivas;
- Grupo LA: Areais com poucos finos e comportamento laterítico. Quando compactados possuem uma alta capacidade de suporte e módulo de resiliência também alto, mesmo com essas características não é recomendado utilizá-lo em bases de pavimentos econômicos nas regiões tropicais, por serem muito permeáveis;
- Grupo LA’: Solos arenosos, que quando devidamente compactados, possuem elevada capacidade de suporte e também de módulo de resiliência, além de ser pouco permeável. Podendo assim, utilizá-lo em bases e sub-bases de pavimentos econômicos;
- Grupo LG’: São constituídos de argilas e argilas arenosas. Quando possuem maiores porcentagens de finos de areia, pode ser comparado aos solos do grupo LA’. Geralmente quando compactados apresentam baixa capacidade de suporte e módulo de resiliência.

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

Nesta seção apresentam-se a estratégia e o delineamento da pesquisa, os materiais utilizados nas misturas e os ensaios laboratoriais realizados.

3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

Do ponto de vista da sua natureza, a pesquisa pode ser considerada aplicada pelo fato dos conhecimentos adquiridos serem destinados a problemas específicos, envolvendo verdades e interesses locais. E quanto a forma de abordagem do problema é vista de forma quantitativa. Analisando quanto a objetivos a pesquisa se classifica em exploratória e explicativa, de modo que apresenta levantamento bibliográfico e requereu método experimental visando identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos para aprofundar o conhecimento.

3.2 DELINEAMENTO

Após a conclusão da fundamentação teórica, foram coletados os materiais a serem utilizados nas misturas, solo e areia industrial, para na sequência, após a definição da proporção das misturas, realizar os ensaios de caracterização, compactação e suporte realizados no Laboratório da Engenharia Civil da UNIJUÍ (LEC) tanto dos materiais naturais quanto das misturas. Após a preparação e caracterização dos materiais e misturas, foram realizados os ensaios da metodologia MCT visando avaliar o desempenho das propriedades físico-mecânicas das misturas para aplicação em bases e sub-bases de pavimentos econômicos.

A partir dos resultados obtidos, realizou-se a análise dos dados e finalmente passou-se a redação final deste Trabalho de Conclusão de Curso, visando concluir da viabilidade ou não do uso das misturas de solo e areia industrial em bases e sub-bases de pavimentos econômicos.

3.3 MATERIAIS UTIIZADOS

3.3.1 Solo

A argila vermelha a ser utilizada nos ensaios é proveniente de Ijuí e foi retirada nas proximidades do prédio do curso de Medicina Veterinária no campus Ijuí da UNIJUÍ. A profundidade da retirada da amostra foi em torno de dois metros da superfície, pertencente ao horizonte B do latossolo. Na Figura 8, pode-se observar o aspecto do talude onde foram retiradas as amostras.

Figura 8: Solo Campus

Fonte: autoria própria (2015)

3.3.2 Areia Industrial

Segundo Cortes (2008) a areia industrial (Figura 9) é produto da trituração de rochas, o que origina grãos com formas de partículas que dependem da composição da rocha-mãe e tendem a produzir partículas angulares. Alguns comparam a areia industrial ao pó-de-pedra, mas ela tem grãos mais finos que o mesmo, apresentando assim, características diferentes.

Esta areia é proveniente da cidade de Passo Fundo, localizada a 167,4 km de distância de Ijuí, apesar da distância, é um material economicamente viável para a utilização em pavimentos econômicos, sendo cobrado R$55,00 o metro cúbico da areia, para trazer até a empresa de Ijuí.

Figura 9: Areia Industrial

Fonte: autoria própria (2015)

3.3.3 Misturas

A mistura de solo laterítico argiloso com areia industrial, denominadas a partir desta seção como ALAI (argila laterítica com areia industrial), foi definida nas proporções em porcentagem conforme preconizado por Villibor e Nogami (2009), apresentadas a seguir antecedida de sua denominação:

- ✓ ALAI 20 - Mistura de 80% de solo natural e 20% de areia industrial;
- ✓ ALAI 30 - Mistura de 70% de solo natural e 30% de areia industrial;
- ✓ ALAI 40 - Mistura de 60% de solo natural e 40% de areia industrial.

3.4 ENSAIOS LABORATORIAIS

3.4.1 Preparação das Amostras

Os ensaios realizados de caracterização (análise granulométrica, determinação dos limites de liquidez e plasticidade, massa específica dos grãos que passam na peneira 4,8 mm) e os de compactação foram realizados de acordo com as especificações da NBR 6457 (1986). A seguir apresentam-se as principais recomendações da norma citada de preparação para ensaios de caracterização e de compactação:

- Ensaio de caracterização:

- ✓ Secar a amostra ao ar, até próximo da umidade higroscópica;
- ✓ Destorroar os grãos de solo com o auxílio de um almofariz e uma mão de gral recoberta por borracha, evitando assim, quebrar os grãos, até a amostra ficar homogênea;
- ✓ Quartear a amostra até que reduza a quantidade de materiais, obtendo uma quantidade de amostra suficiente para os ensaios requeridos.

- Ensaio de compactação:

- ✓ Preparação com secagem prévia do material até a umidade higroscópica; ainda preparar com 5% abaixo e 5% acima da umidade ótima presumível.

- ✓ Destorroar os grãos de solo com o auxílio de um almofariz e uma mão de gral recoberta por borracha, evitando assim, quebrar os grãos, até a amostra ficar homogênea;
- ✓ Fazendo com que a amostra passe integralmente na peneira 4,8 mm.

Ainda conforme a NBR 6457, para ensaios de granulometria, passa-se o material na peneira de 76 mm, desprezando o que ficar retido na mesma, tomar certa quantidade e iniciar os ensaios. Já para ensaios de determinação dos limites de liquidez e plasticidade, passa-se o material na peneira 0,42 mm, obtendo cerca de 200 gramas do mesmo a ser ensaiado. Também, para ensaios de massa específica dos grãos, passar na peneira de 4,8 mm o material, e obter cerca de 500 gramas do mesmo (ABNT, 1986).

3.4.2 Análise Granulométrica

A determinação da granulometria para o solo, a areia industrial e as misturas foram feitas por sedimentação com defloculante e peneiramento grosso e fino.

Os ensaios foram realizados conforme a NBR 7181 (1984 versão corrigida 1988), sendo necessário consultar também as normas NBR 5734, NBR 6457 e NBR 6508.

Conforme a NBR 7181 (1984), para realizar o ensaio de sedimentação do material, é necessário separar uma amostra do mesmo e quartear (Figura 10) até obter a quantidade prescrita em norma para se inicializar o ensaio. De o material restante retirar duas amostras para que possa realizar o ensaio de massa específica (Figura 11). Após separar a amostra, deixa-se em repouso durante 12 horas no mínimo, em uma solução de hexametafosfato de sódio com a concentração de 45,7 g de sal por 1000 cm³ de solução. O material repousado é passado para o copo de dispersão (Figura 12) durante 15 minutos e então, transferido para uma proveta com água destilada, na qual será mergulhado de tempo em tempo o densímetro e anotado juntamente a sua temperatura (ABNT, 1984 versão corrigida 1988).

Figura 10: Material quarteado

Fonte: autoria própria (2015)

Figura 11: Ensaio massa específica real dos grãos

Fonte: autoria própria (2015)

Figura 12: Dispersor

Fonte: autoria própria (2015)

Ainda conforme NBR 7181 (1984), depois de ter passado 24 horas de anotações, verte-se o material na peneira de 0,075 mm efetuando a lavagem do mesmo. Quando o material retido na peneira 0,075 mm estiver devidamente seco, passa-se a amostra nas peneiras de 1,2, 0,6, 0,42, 0,25, 0,15, 0,075 mm (Figura 13) (ABNT, 1984 versão corrigida 1988).

Figura 13: Peneiras

Fonte: autoria própria (2015)

3.4.3 Limites de Consistência ou de Atterberg

De acordo com Pinto (2006, p. 12), apenas o ensaio de granulometria não caracteriza bem o comportamento dos solos. A fração de finos do solo é de grande importância, pois quanto menor as partículas, maior a sua superfície específica. Além disso, dependendo das características minerais do solo, o mesmo pode ter um comportamento diferente, dependente da fração de material que se tem.

Todos esses fatores influenciam no comportamento dos solos. Ao procurar uma maneira de analisar a influência das partículas argilosas, decidiu-se acrescentar água a mistura e ver o seu comportamento. Os limites baseiam-se na constatação de que um solo argiloso ocorre com aspectos bem distintos conforme seu teor de umidade. Quando muito úmido, se comporta como um líquido; e quando perde parte da sua água, se torna plástico (PINTO, 2006, p. 13).

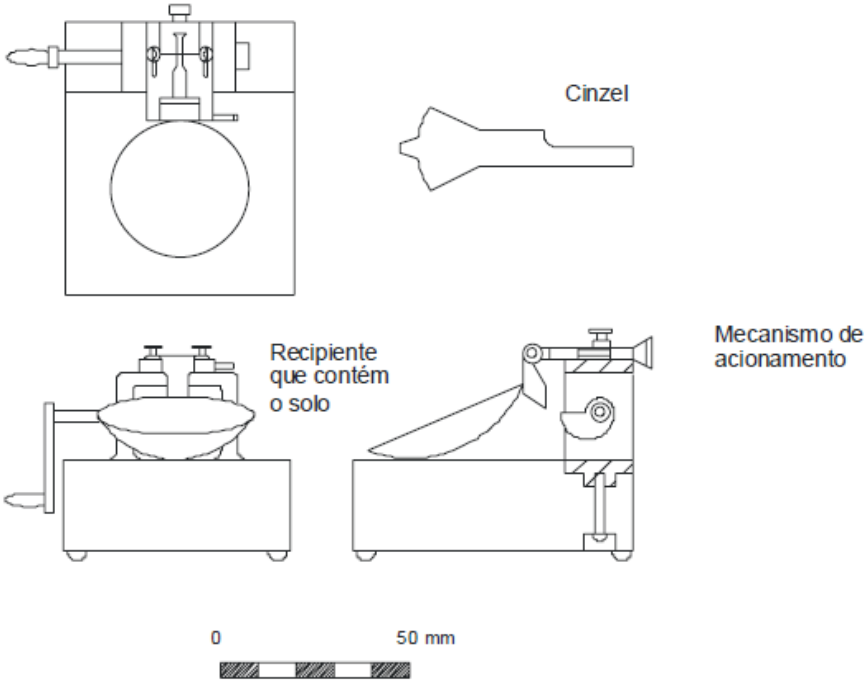
Ainda conforme Pinto (2006, p. 13), a diferença entre o Limite de Liquidez (LL) e o Limite de Plasticidade (LP), que indica a faixa de valores que o solo se apresenta plástico, é definido como Índice de Plasticidade (IP) do solo.

De acordo com Ortigão (2007, p. 25), primeiramente a amostra de solo é preparada, como já citado anteriormente pela NBR 6457, após determina-se sua umidade e coloca a amostra em um recipiente.

Segundo NBR 6459 (1984), para encontrar o limite de liquidez, deve-se misturar o solo em uma cápsula de porcelana, acrescentando aos poucos água destilada ao material e com a ajuda de uma espátula homogeneizar o mesmo. Após a mistura estar devidamente homogeneizada é depositado no aparelho de Casagrande (Figura 14) e feito um sulco na pasta com um cinzel, onde serão realizados golpes até que a ranhura feita no meio se feche em uma extensão de pelo menos um centímetro. Repete-se assim, mais quatro vezes acrescentando água destilada, de maneira que obtenha menores números de golpes, conforme aumenta o teor de umidade (ABNT, 1984).

De acordo com a NBR 7180 (1984 versão corrigida 1988), o limite de plasticidade é preparada a amostra conforme dito anteriormente no ensaio de limite de liquidez, acrescentando o material em uma cápsula de porcelana, adicionando água destilada ao material e homogeneizando o mesmo com uma espátula. São retiradas pequenas porções da mistura, fazendo-a rolar com palma da mão em uma placa de vidro fosco, até que se obtenha um cilindro com espessura de 3mm e apesente fissuras. Repete-se o ensaio seis vezes, com o mesmo teor de umidade (ABNT, 1984 versão corrigida 1988).

Figura 14: Aparelho de Casagrande para Limite de Liquidez



Fonte: Ortigão (2007, p. 25)

3.4.4 Compactação

De acordo com Balbo (2007, p. 165), a compactação dos solos é realizada para atingir as características desejáveis em termos de resistência e de módulo de resiliência. O valor da massa específica dos grãos é determinado na fase de projeto, que se conecta a um valor de umidade presente no material homogeneizado. O valor da umidade de compactação está vinculado a energia de compactação exercida sobre esse material. Assim refere-se ao padrão de energia empregado como normal ou modificada.

Ainda conforme Balbo (2007, p.165), a energia aplicada faz com que o solo ou agregado se torne adensado conferindo-lhe resistência. No caso de solos, deve-se verificar a umidade do mesmo antes de sua compactação, pois tal valor deve coincidir com a umidade ótima encontrada nos ensaios de compactação ou chegar perto desse resultado. Dessa maneira, caso o solo não se encontre com a sua umidade ótima, deverá ser aerado ou umedecido até que esteja com ela normalizada.

Os ensaios de compactação que determinam a relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca de solos quando compactados foram realizados de acordo com a NBR 7182 (1986 versão corrigida 1988). Na Figura 15 observam-se os cilindros metálicos e soquetes grandes e pequenos. As energias de compactação especificadas e utilizadas na norma são: normal, intermediária e modificada.

Figura 15: Cilindros e soquetes

Fonte: autoria própria (2015)

A partir dos resultados obtidos é possível traçar o gráfico de compactação, onde as abscissas são os teores de umidade e as ordenadas as massas específicas aparentes secas. O gráfico deve ser caracterizado por uma curva tendo um formato de parábola.

3.4.5 Índice de Suporte Califórnia (ISC)

Segundo NBR 9895 (1987), o Índice de Suporte Califórnia tem a capacidade de suporte do solo comparada a resistência à penetração de uma haste de diâmetro de 5 cm em uma camada padrão de brita graduada. Tem o objetivo de estimar a resistência de um solo compactado para uso em bases, sub-bases e subleitos e pode ser utilizada as energias normal, intermediária e modificada, respectivamente aplicando 12, 26 e 55 golpes por camada.

O ensaio é realizado de acordo com a norma citada a partir da moldagem de um corpo-de-prova conforme já especificado no item de compactação, retirando-se o disco espaçador e invertendo o molde, fixando-o no respectivo prato-base perfurado. São inseridos no espaço deixado pelo disco espaçador, o prato perfurado com a haste de expansão e sobre ela dois discos anelares. Após isso, os moldes são levados para imersão em água por quatro dias com um extensômetro para a medição da expansão. Quando passado os quatro dias, retirar o corpo-de-prova e deixar escorrer a água por aproximadamente 15 minutos, e então, é levado para o ensaio de penetração em uma prensa conforme observa-se na Figura 16 (ABNT, 1987).

Figura 16: Prensa de ISC do LEC UNIJUÍ

Fonte: autoria própria (2015)

3.4.6 Ensaios da Metodologia MCT

A metodologia MCT consiste em estudos geotécnicos dos solos tropicais, que permite a escolha de materiais tropicais para uso em bases de pavimentos a partir de técnicas construtivas adequadas. Por meio desse ensaio, é possível prever se o comportamento será adequado ou não de pavimentação, nas condições climáticas brasileiras (VILLIBOR; NOGAMI, 2009, p. 39).

Villibor e Nogami (2009, p. 39), também citam a série de ensaios da nova Sistemática ou Metodologia, que engloba os ensaios da Classificação MCT, que são os ensaios M5 e M8 da sistemática classificação M9. O elenco de Ensaios da Sistemática MCT apresentam-se a seguir:

- ✓ M1 - Ensaio de Compactação Mini-Proctor;
- ✓ M2 – Ensaio Mini-CBR e Expansão;
- ✓ M3 – Ensaio de Contração;
- ✓ M4 – Ensaios de Infiltrabilidade e Permeabilidade;
- ✓ M5 – Ensaio de Compactação Mini-MCV;
- ✓ M6 – Ensaio de Penetração da Imprimadura Betuminosa;
- ✓ M7 – Ensaio de Mini-CBR de Campo – Procedimento Dinâmico;
- ✓ M8 – Ensaio de Perda de Massa por Imersão;
- ✓ M9 – Classificação Geotécnica MCT.

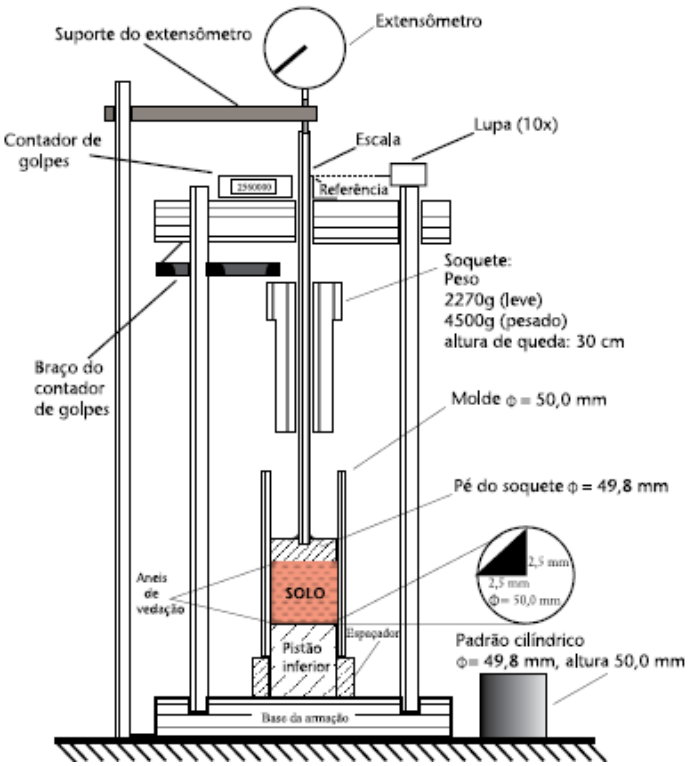
Na sequência descreverá-sevos principais ensaios da metodologia MCT.

3.4.6.1 Ensaio de Compactação Mini-MCV (M5)

Segundo Villibor e Nogami (2009, p. 266), o ensaio de compactação Mini-MCV (M5) tem por finalidade minimizar o método de compactação de Parson, consiste em variar o teor de umidade e a energia de compactação, o mesmo objetiva classificar de forma geotécnica os solos tropicais. A sigla MCV, abreviatura de “Moisture Condition Value”. A Figura 17 mostra as dimensões do compactador.

Conforme o andamento da compactação dos corpos de prova, são anotadas as reduções das alturas, onde são lançadas na curva de Deformabilidade da Série de Parsons em ordenadas (eixo y), já para as abscissas (eixo x), são preenchidas com os valores de n em escala log ou 10xlog n (escala dos Mini-MCV).

Figura 17: Equipamento para a realização do ensaio Mini-MCV



Fonte: Villibor e Nogami (2009, p. 251)

3.4.6.2 Ensaio de Perda de Massa por Imersão (M8)

Segundo Villibor e Nogami (1995, p. 81), através do ensaio Mini-MCV (M5), com os resultados da curva de compactação no ponto que corresponde a 12 golpes do soquete leve e a deformabilidade correspondente às condições padronizadas, pode-se classificar os solos tropicais, quanto ao seu comportamento laterítico ou não laterítico.

Os corpos de prova ensaiados, são extraídos cerca de 10mm do material e são transferidos para uma cuba completada com água (Figura 18). Observa-se o comportamento dos corpos de prova nas primeiras horas. Passando 20 horas do início do ensaio, seca-se a cuba e também as cápsulas que contém o material desagregado, obtendo-se assim os valores do Pi (VILLIBOR E NOGAMI, 1995, p. 81).

Figura 18: Ensaio de perda de massa por imersão

Fonte: Villibor e Nogami (2009, p.53)

3.4.6.3 Classificação Geotécnica MCT (M9)

Segundo Villibor e Nogami (2009, p. 53), a classificação geotécnica MCT, veio com o intuito de classificar solos tropicais. O motivo de não usar as classificações tradicionais para usos rodoviários, através dos ensaios de granulometria e limites de Atterberg, são que esses solos tropicais ficam classificados como um comportamento de sofrível a mal, onde muitas vezes os mesmos podem sim ser utilizados tanto em estradas vicinais como em alguns casos para rodovias de um tráfego um pouco mais intenso.

Através dos ensaios de Mini-MCV (M5) e Perda de Massa por Imersão (M8), pode ser realizada a Classificação MCT (M9), com os coeficientes encontrados no (M5), c' e d', e no (M8), o valor de Pi, encontra-se o coeficiente e', podendo assim, classificar o solo.

4 RESULTADOS

Neste item, serão apresentados os resultados obtidos nos ensaios executados, conforme mencionado na metodologia. Também, dos resultados de ensaios do solo natural foram retirados de publicações do projeto de pesquisa institucional da UNIJUÍ intitulado “Estudo de Solo Argiloso Laterítico para Uso em Pavimentos Econômicos”, vinculado ao Grupo de Pesquisa em Novos Materiais e Tecnologias para a Construção, e do trabalho de conclusão de curso da egressa Cândida Bernardi. Também serão realizadas algumas análises e considerações.

4.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

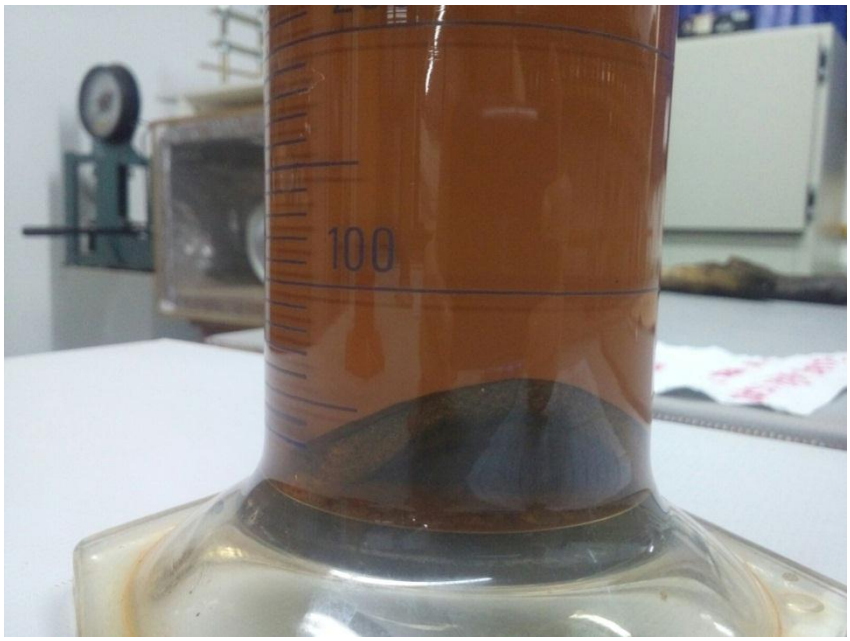
Na Figura 19 apresenta-se foto do ensaio de sedimentação sendo realizada com todas as amostras, e na Figura 20, foto tirada após as 24 horas do mesmo, quando o material está todo acumulado no fundo da proveta.

Analisando o gráfico da granulometria da Figura 21, percebe-se que solo natural é extremamente fino, sendo que aproximadamente 95% do seu material passa pela peneira 0,075 mm. Devido às misturas apresentarem maior quantidade de solo em suas proporções, percebe-se que as curvas têm a mesma tendência, apenas tendo uma queda no traçado das curvas, conforme aumenta o grau de areia industrial presente. Já a areia industrial, tem um comportamento bem distinto das demais, tendo grande parte do seu material retido na peneira de 0,075 mm, cerca de 80 %.

Figura 19: Todas as amostras no ensaio de sedimentação

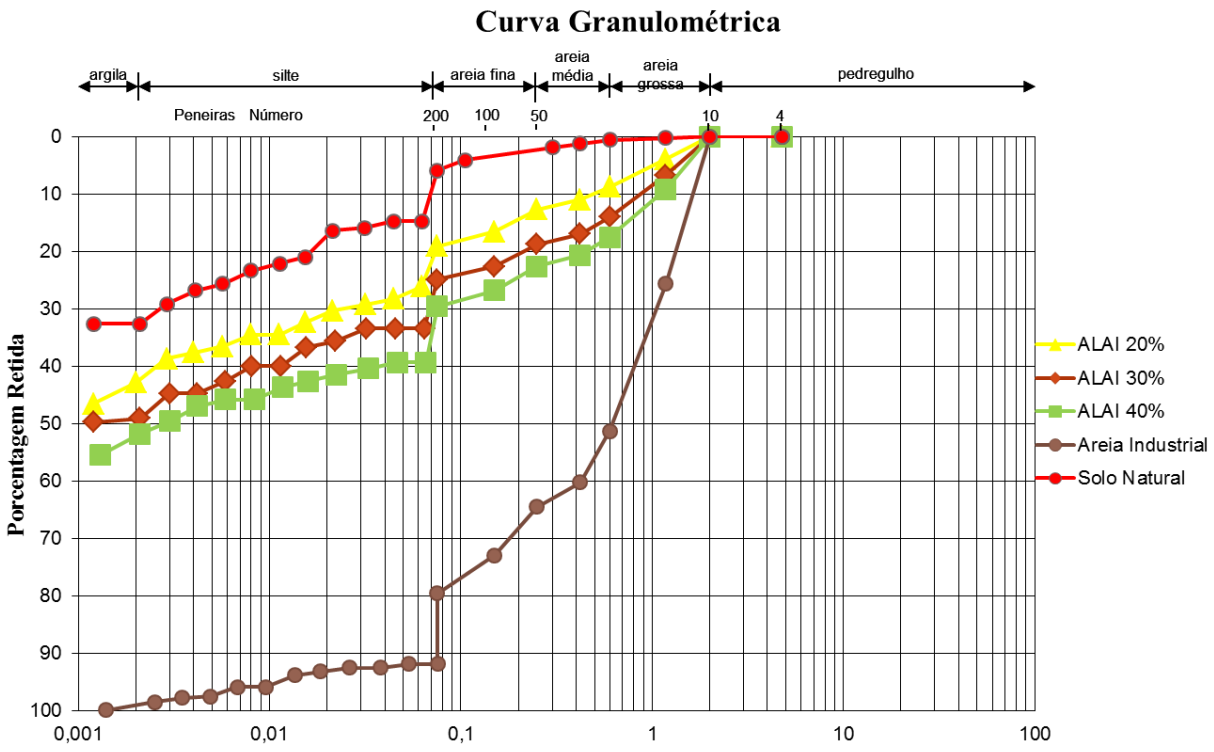
Fonte: autoria própria (2015)

Figura 20: Material acumulado no fundo da proveta



Fonte: autoria própria (2015)

Figura 21: Curva Granulométrica



Fonte: autoria própria (2015)

4.2 LIMITES DE ATTERBERG

Foram realizados ensaios para obtenção dos limites de liquidez e de plasticidade, obtendo os resultados presentes na Tabela 3:

Tabela 3: Limites de Atterberg

Misturas	LL %	LP %	IP
Solo Natural	65	39	26
ALAI 20%	43	30	13
ALAI 30%	41	23	18
ALAI 40%	39	21	18

Fonte: autoria própria (2015)

4.2.1 Classificação do Solo e das Misturas

4.2.1.1 Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS)

De acordo com a classificação SUCS, o solo utilizado na pesquisa é solo MH, devido a sua granulação fina passar mais de 50% em peso na peneira 0,075mm e ter um limite de liquidez acima de 50%, caracterizando-o como de alta plasticidade. Já as misturas ALAI, a de 30 e 40%, se classificam como solo CL, por ter uma granulação fina igualmente ao solo e mas seu limite de liquidez ser abaixo de 50%, apresentando características de baixa plasticidade. Finalmente a mistura ALAI 20%, classificou-a como um solo ML.

4.2.1.2 Classificação Rodoviária H.R.B. (AASHTO)

Segundo DNIT (2006, p. 37), para a classificação HRB/AASHTO do solo e das misturas ALAI, deve-se calcular o índice de grupo (IG) através da Equação 2 descrita a seguir e seus valores são apresentados na Tabela 4:

$$IG = 0{,}2 \cdot a + 0{,}005 \cdot a \cdot c + 0{,}01 \cdot b \cdot d \qquad (2)$$

a = % pp#200 – 35 (a varia de 0 a 40);

b = % pp#200 – 15 (b varia de 0 a 40);

c = LL – 40 (c varia de 0 a 20);

d = IP – 10 (d varia de 0 a 20).

Tabela 4: Índice de Grupo

Misturas	IG
Solo Natural	18
ALAI 40%	10,3
ALAI 30%	11,4
ALAI 20%	9,8

Fonte: autoria própria (2015)

Com os resultados obtidos dos ensaios realizados de granulometria e dos limites de consistência e utilizando o gráfico já apresentado no item 2.3.2, classificou-se o solo da região de

Ijuí como um A – 7 – 5 (18) (solo argiloso), a mistura ALAI 40% como um A – 6 (10,3), a ALAI 30% como um A – 7 – 6 (11,4) e a ALAI 20% como um A – 7 – 5 (9,8), todas qualificadas como solos argilosos.

4.3 COMPACTAÇÃO

Conforme visto no capítulo 3.4.4, o ensaio de compactação das misturas e do solo natural, foi devidamente realizado segundo a NBR 7182 (1986), sendo executado nas três energias de compactação, energia normal, intermediária e modificada. Na Tabela 5 apresentam-se os pesos específicos aparentes máximos e a umidade ótima em porcentagem, para o solo natural e as três misturas ALAI.

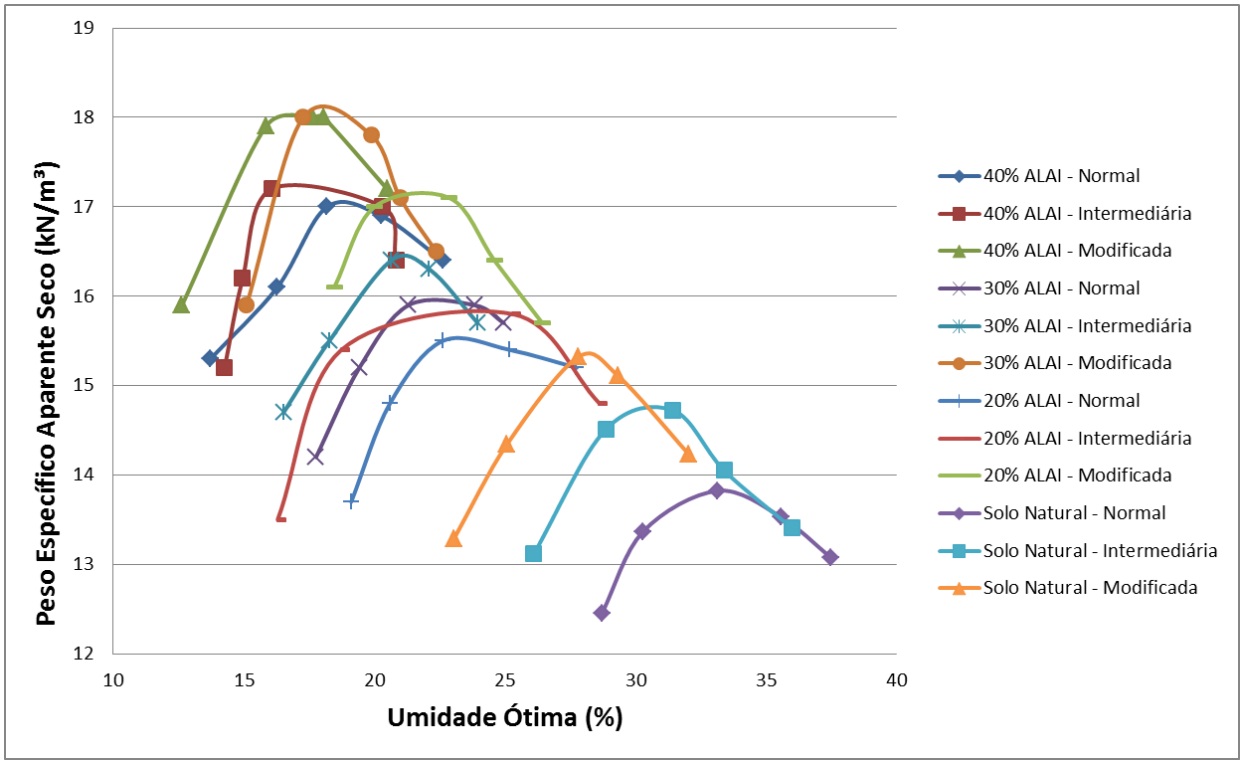
Tabela 5: Características inerentes a cada energia

Mistura	Energia De Compactação	Umidade Ótima (%)	Peso Específico Aparente Seco (kN/m²)
ALAI 40%	*Normal*	18,2	17
	Intermediária	16,08	17,2
	Modificada	17,67	18
ALAI 30%	*Normal*	21,32	15,9
	Intermediária	20,66	16,4
	Modificada	19,9	17,8
ALAI 20%	*Normal*	22,63	15,5
	Intermediária	25,32	15,8
	Modificada	22,89	17,1
Solo Natural	*Normal*	33,15	13,82
	Intermediária	31,44	14,72
	Modificada	27,83	15,32

Fonte: autoria própria (2015)

Na Figura 22 estão representadas todas as curvas de compactação nas energias normal, intermediária e modificada, tanto do solo natural como das misturas ALAI. Percebe-se que a umidade ótima diminui e o peso específico aparente seco máximo aumenta com o aumento da energia de compactação bem como com o aumento do teor de areia industrial, comportamento que era esperado.

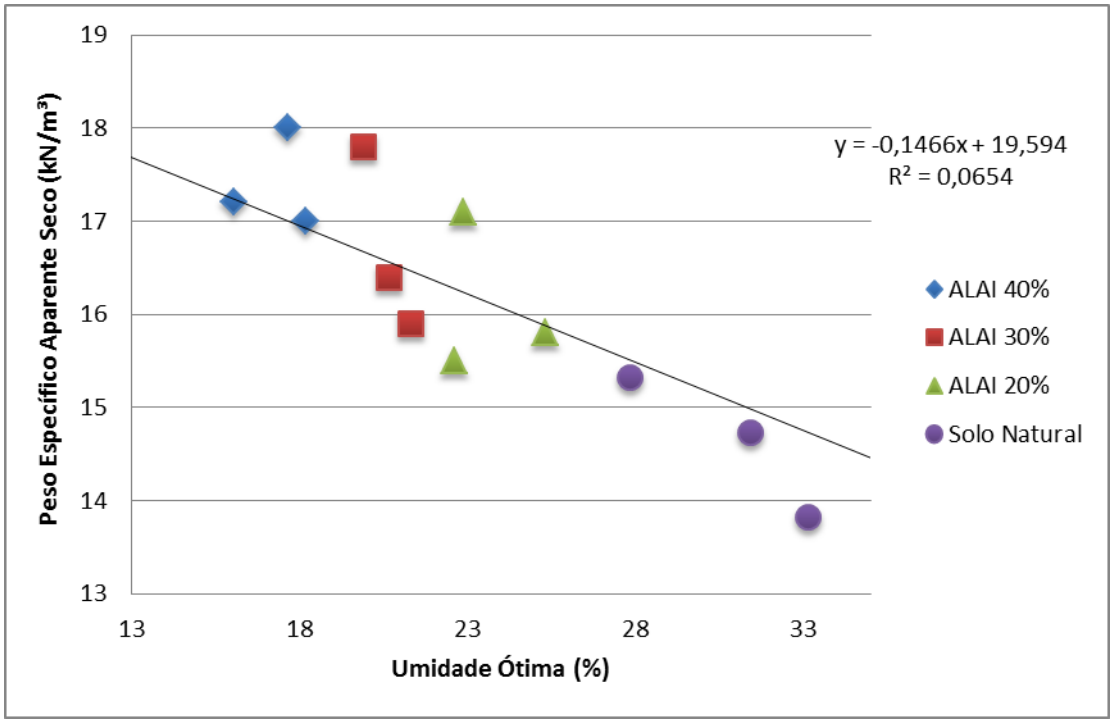
Figura 22: Curvas de compactação do Solo Natural e Misturas ALAI



Fonte: autoria própria (2015)

Na Figura 23 apresenta-se um gráfico dos pontos de peso específico aparente seco máximo versus umidade ótima, obtidos para as misturas ALAI e solo natural. Percebe-se visivelmente o aumento do peso específico aparente seco máximo e a diminuição da umidade ótima, conforme aumenta a energia de compactação bem como com o aumento do teor de areia industrial.

Figura 23: Gráfico de tendência x PEAS Máximo das Misturas e Solo



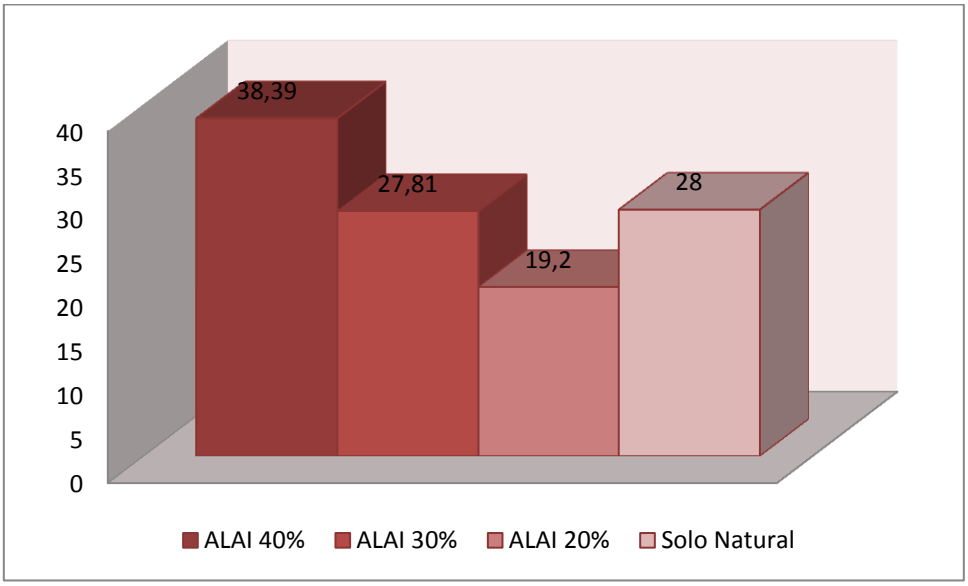
Fonte: autoria própria (2015)

4.4 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (ISC/CBR)

Seguindo a NBR 9895 (1987), realizou-se o ensaio do Índice de Suporte Califórnia (ISC), conhecido também como CBR. O mesmo foi executado para as três misturas ALAI e também para o solo natural, nas energias de compactação intermediária e modificada.

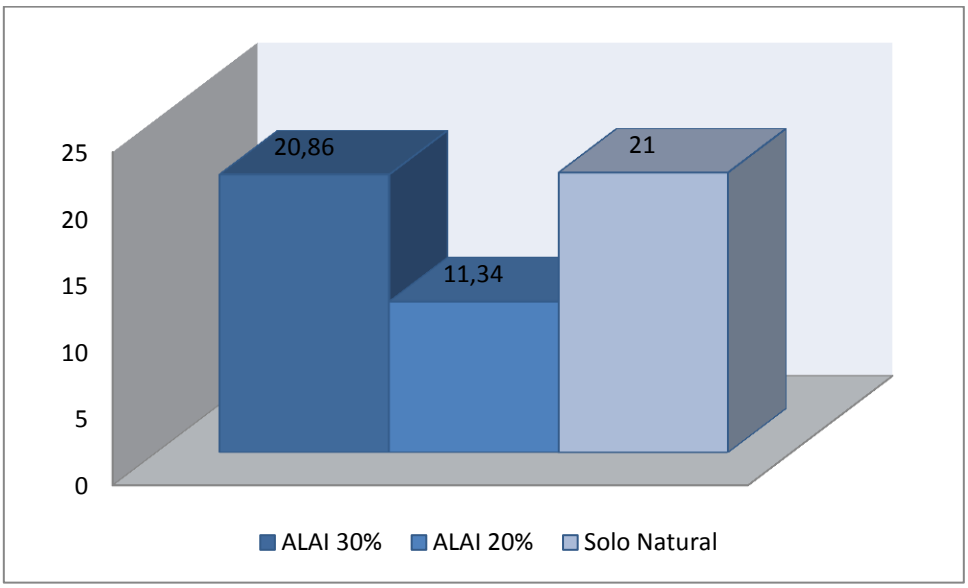
Os moldes de ISC são preparados com os valores encontrados nos ensaios de compactação, mais especificamente a umidade ótima de todas as amostras, onde depois de compactados são imersos quatro dias e então rompidos, analisando assim, a resistência dos mesmos. Na Figura 24 observam-se os ISC's das misturas ALAI comparando-os com o do solo natural na energia modificada, onde apenas a mistura ALAI 40% apresentou um resultado maior em relação ao solo, lembrando que o ensaio não caracteriza bem os solos finos. Também foi realizado o mesmo ensaio com as mesmas amostras, para uma energia a energia de compactação intermediária, onde pode-se verificar os resultados na Figura 25.

Figura 24: ISC's na energia modificada



Fonte: autoria própria (2015)

Figura 25: ISC's na energia intermediária



Fonte: autoria própria (2015)

Na Tabela 6 apresentam-se os valores dos ISC's e suas respectivas expansões:

Tabela 6: Valores ISC e Expansão das Misturas e Solo

Mistura de Areia Industrial com Solo Natural		
Compactação Modificada	ICS (%)	Expansão (%)
40%	38,39	0,51
30%	27,81	0,35
20%	19,2	0,2
Solo Natural	28	0,54
Compactação Intermediária	ICS (%)	Expansão (%)
40%	-	-
30%	20,86	0,43
20%	11,34	0,98
Solo Natural	21	0,2

Fonte: autoria própria (2015)

De acordo com DNIT (2006, p. 142), para utilizar materiais de subleito precisa-se apresentar um CBR ≥2% e uma expansão ≤2%; materiais de reforço do subleito devem apresentar valores de CBR maior que o do subleito e uma expansão ≤1%; para sub-bases de pavimentos, os valores de CBR necessitam ser ≥20%, tendo uma expansão ≤1% e resultados de IG=0; já para bases o CBR tem que apresentar valores iguais ou acima de 60 a 80% dependendo do volume de tráfego e ter uma expansão ≤0,5%.

Assim, todas as misturas podem ser utilizadas como subleito e sub-bases de pavimentos econômicos, não podendo apenas serem utilizadas como bases.

4.5 ENSAIO MCT

Os ensaios da classificação geotécnica MCT foram realizados na UNIJUI (Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul) mais especificamente no LEC (Laboratório de Engenharia Civil).

4.5.1 Ensaio de Compactação Mini-MCV (M5)

De acordo com o que preconiza Villibor e Nogami (2009, p. 267), o ensaio iniciou-se separando 200 gramas da amostra mais úmida para que fosse compactado o primeiro corpo-de-prova. Após isso foi moldado mais quatro amostras com uma diferença de 2% de umidade (acima e abaixo da umidade ótima de compactação na energia normal) em cada porção da mistura e do solo, aplicando certo número de golpes até que sua densidade não apresente uma diferença significativa.

Ainda conforme Villibor e Nogami (2009, p. 267), com esse ensaio obtêm o coeficiente c' é dado pela inclinação da parte retilínea de cada uma das curvas de deformabilidade e o coeficiente d', é a inclinação da parte retilínea no ramo seco da curva de compactação que corresponde a 12 golpes.

4.5.2 Ensaio Perda de Massa por Imersão (M8)

Logo após ser realizado o ensaio de compactação Mini-MCV (M5), é extraído 10mm da parte inferior de cada corpo-de-prova, deixando-os salientes. Espera-se uma hora até que possa prosseguir o ensaio, cuidando para que a amostra não perca umidade. Passado esse tempo, mergulha-se o cilindro com o corpo-de-prova e deixa-o totalmente submerso e na posição horizontal (Figura 26), por no mínimo 12 horas. Retiram-se as cápsulas com o material depositado no seu interior, colocando-as na estufa e após obtendo o valor da sua massa seca desprendida (Md) (VILLIBOR E NOGAMI, 2009, p. 275).

Figura 26: Corpo-de-prova submerso

Fonte: autoria própria (2015)

Segundo Villibor e Nogami (2009, p. 275) calcula-se a perda de massa por imerção (Pi) através da Equação 3 a seguir:

$$\mathbf{Pi} = \frac{\mathbf{Md \times Fc}}{\mathbf{Me}} \times \mathbf{100\ [\%]} \tag{3}$$

Onde:

Me = Massa Seca da parte extrudada do corpo de prova [g].

Md = Massa Seca desprendida [g].
Fc = 0,5 somente quando a parte desprendida é um monobloco.
Fc = 1,0 para os outros casos.

4.5.3 Classificação Geotécnica MCT (M9)

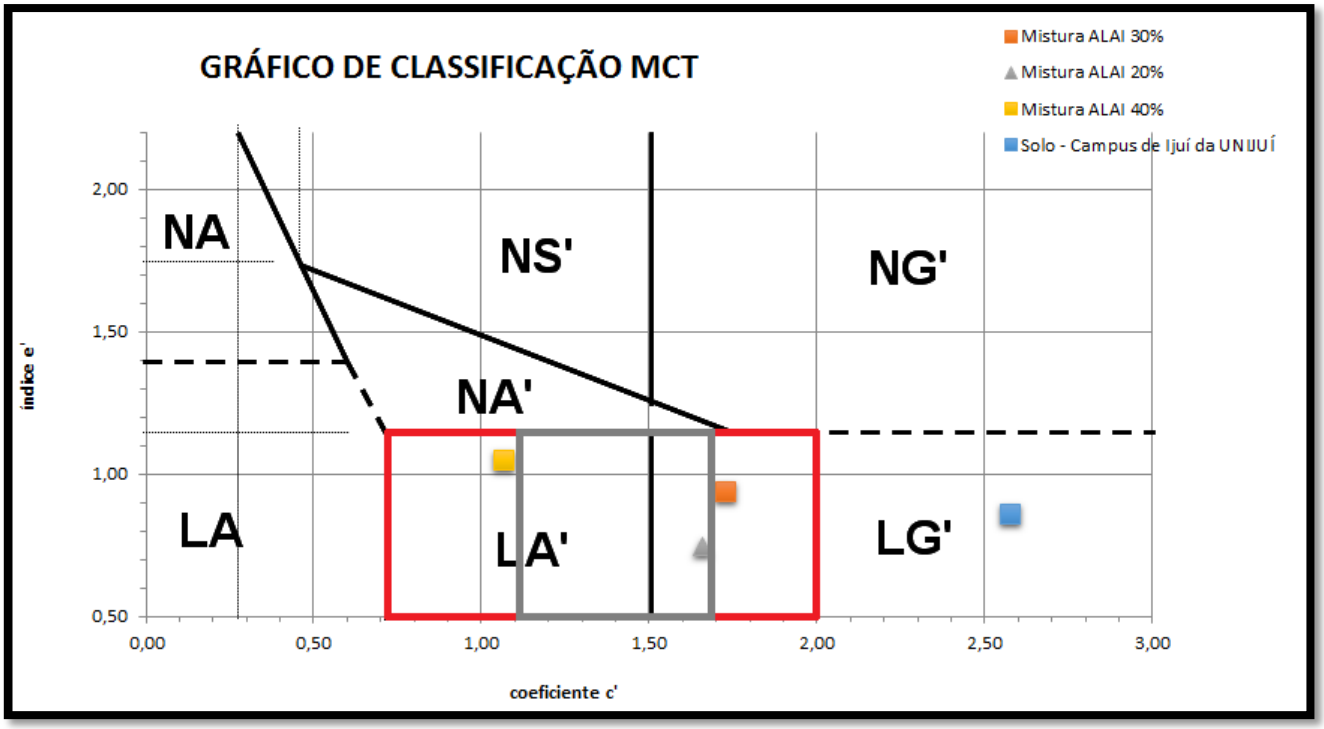
A partir dos valores do c', d', e' e Pi constantes da Tabela 7 plota-se no Gráfico da Classificação MCT da Figura 27. O valor e' obtêm-se a partir do cálculo da Equação 1 descrita no item 2.3.3.

Tabela 7: Valores do MCT

Misturas	d'	c'	Pi	e'
ALAI 40%	46,6	1,07	72	1,05
ALAI 30%	70,6	1,73	54	0,94
ALAI 20%	53,1	1,66	4	0,75

Fonte: autoria própria (2015)

Figura 27: Classificação MCT



Fonte: autoria própria (2015)

Observa-se na Figura 27 a existência de dois retângulos específicos, onde o de perímetro em vermelho representa a área satisfatória da classificação e o de perímetro na cor cinza, representa a área recomendada, conforme proposto por Villibor e Nogami (2009) em sua metodologia. Desta forma, pode-se ver que todas as misturas ALAI estão localizadas na interface da região recomendada e na região satisfatória.

5 CONCLUSÃO

Neste capítulo, apresentam-se as principais conclusões e sugestões para futuras pesquisas.

Findo os ensaios laboratoriais e após algumas análises, pode-se concluir:

1. Pela classificação SUCS, o solo da região de Ijuí é um MH e as misturas ALAI 30 e 40% classificaram-se como CL e segundo a classificação HRB/AASHTO, o solo da região de Ijuí classificou-se como um A – 7 – 5 (18), e as misturas ALAI 20% como um A – 7 – 5 (9,8), a ALAI 30% como um A – 7 – 6 (11,4) e a ALAI 40% como um A – 6 (10,3).
2. Os resultados apresentados na Classificação Geotécnica MCT, classificou o solo e as misturas ALAI de 20 e 30% como LG', solo laterítico argiloso e a mistura ALAI 40%, classificou como um LA', solo laterítico arenoso.
3. Dos resultados dos ensaios de compactação e para obtenção do Índice de Suporte Califórnia (ISC), todas as misturas atendem as especificações tradicionais do DNIT (2006) para uso em subleito e sub-bases e não atendem para uso em bases.
4. Todas as misturas ALAI estão localizadas na interface da região recomendada com a região satisfatória indicando que pode alguma das misturas atender os requisitos propostos por Villibor e Nogami (2009) para uso em bases e sub-bases de pavimentos econômicos, especialmente a ALAI 40 %. Para isso, espera-se ainda executar os ensaios M2, M3, M4 e M6 e verificar se alguma mistura atende as especificações, que por questões já explanadas no final do capítulo 4 não puderam ser realizados. Assim, espera-se cumprir com o objetivo de definir a mistura ideal entre as estudadas.

Para que haja continuidade na pesquisa, sugere-se que sejam realizados estudos mais aprofundados repetindo os ensaios de ISC que apresentaram alguns resultados e os ensaios adicionais da metodologia MCT com as mesmas misturas ou com misturas de diferentes teores.

REFERÊNCIAS

AMARAL, Mariana Bamberg et al. Misturas de solo laterítico e agregados miúdos para uso em pavimentos econômicos. In: VIII SEMINÁRIO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA DO RIO GRANDE DO SUL, 8., 2015, São Leopoldo – RS. **Anais...** São Leopoldo: 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457:** amostras de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986. 9p.

_____. **NBR 6459:** solo – determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984. 6p.

_____. **NBR 7180:** solo – determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984. 3p.

_____. **NBR 7181:** solo – análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1988. 13p.

_____. **NBR 7182:** solo – ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986. 10p.

_____. **NBR 9895:** solo – índice de suporte califórnia. Rio de Janeiro, 1987. 14p.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projetos e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 558 p., il.

BERNARDI, Cândida. **Estudo de misturas de solo argiloso laterítico com agregados finos para uso em pavimentos econômicos.** 68 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil). Universidade regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2013.

BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRAS; ABEDA, 2006. 504 f. il.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**: fundamentos. Rio de Janeiro, 1988. 234 f. il.

CORTES, D. D.; Kim, H. K.; et al, Rheological and mechanical properties of mortars prepared with natural and manufactured sands. **Cementand Concrete Research**, v. 38, p. 1142-1147, 2008.

DAS, Braja M. **Fundamentos de engenharia geotécnica.** Tradução de All Tasks; revisão técnica Leister de Almeida Barros. São Paulo: Thomson Learning, 2007. 561 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de pavimentação.** 3. ed. Rio de Janeiro, 2006. 247p.

FELTEN, Débora. **Estudo sobre solos arenosos finos lateríticos da planície costeira sul do RS para emprego em pavimentação econômica.** 146 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Oceânica). - Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2005.

OLIVEIRA J. A (2000), **Materiais alternativos de pavimentação a necessidade de praticá-los.** Departamento Autônomo de Estradas de Rodagens – UNP – Laboratório Central.

ORTIGÃO, J.A.R. **Introdução à mecânica dos solos dos estados críticos**. Rio de Janeiro, 2007. 386 f. il.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso básico de mecânica dos solos:** em 16 aulas. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 247p.

PUGLIERO. Fernanda. Estradas ruins multiplicam gastos com transporte rodoviário. **Correio do Povo**, Porto Alegre, 12 agosto, 2014. Disponível em: < http://www2.correiodopovo.com.br/Noticias/?Noticia=532935 >. Acesso em: 10 mai. 2015.

VILLIBOR, Douglas Fadul; NOGAMI, Job Shuji. **Pavimentos econômicos:** tecnologia do uso dos solos finos lateríticos. São Paulo: Arte & Ciência, 2009. 292 p. il.

VILLIBOR, Douglas Fadul; NOGAMI, Job Shuji. **Pavimentos de baixo custo com solos lateríticos**. São Paulo: Vilibor, 1995. 213 p. il.

VILLIBOR, Douglas Fadul et al. Pavimentação urbana de baixo custo com base de argila laterítica. In: 29º REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 29., 1995, Cuiabá-MT. **Anais...** Cuiabá: 1995.