

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**WANDERSON GERALDO GONÇALVES DIAS**

**BASE DE SOLO-CIMENTO PARA PAVIMENTOS FLEXÍVEIS**

**ANÁPOLIS / GO**

**2015**

**WANDERSON GERALDO GONÇALVES DIAS**

**BASE DE SOLO-CIMENTO PARA PAVIMENTOS FLEXÍVEIS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADORA: MESTRA JULLIANA SIMAS RIBEIRO**

**ANÁPOLIS / GO: 2015**

**WANDERSON GERALDO GONÇALVES DIAS**

**BASE DE SOLO-CIMENTO PARA PAVIMENTOS FLEXÍVEIS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

**APROVADO POR:**

---

**JULLIANA SIMAS RIBEIRO, Mestra (UNIEVANGÉLICA)  
(ORIENTADORA)**

---

**RHOGERIO CORREIA DE SOUZA ARAÚJO, Mestre (UNIEVANGÉLICA)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**ANA LÚCIA CARRIJO ADORNO, Doutora (UNIEVANGÉLICA)  
(EXAMINADORA INTERNA)**

**DATA: ANÁPOLIS/GO, 29 DE MAIO DE 2015.**

*Dedico este trabalho ao meu Pai,  
Geraldo Gonçalves Machado e a minha  
Mãe, Luzineide Aparecida Dias, que me  
apoiaram durante todo o curso e minha  
vida.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus.

Ao meu pai e minha mãe que sempre me incentivaram.

A toda minha família.

À professora Julliana Simas, pela orientação, apoio, amizade, e sua prontidão em me ajudar durante todo o curso.

A professora Ana Lúcia pela atenção prestada durante esse trabalho.

Ao Jose Carlos, pelo apoio e sugestões deste trabalho.

Ao Jairo Penha, ótimo laboratorista, que me ajudou bastante na parte técnica deste trabalho.

E a toda equipe Engespro Engenharia Ltda., que contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

Com o avanço tecnológico no ramo automobilístico, de transportes pesados, e o aumento na escassez de matéria prima, faz-se necessário uma busca por produtos ou metodologias que melhore a capacidade de resistência, e adéque os materiais dispostos próximos à obra para garantir as características físicas e mecânicas solicitadas para seus diferentes fins, para tornar a obra mais viável pelo ponto de vista técnico, ambiental, e econômico, uma vez que se tem um material próximo à obra se economiza tanto com o transporte quanto a compactação de material de bota fora, quanto ao tratamento desse material não, há necessidade de trazer material de fora e nem transportá-lo para áreas de bota fora, pois pode ser usado em locais próximos de onde ele foi retirado. Existem diferentes tipos de produtos e metodologias para esse fim, porem neste trabalho foi abordado à metodologia do solo-cimento. A adição da mistura de 3% cimento, de 10% areia e 87% de solo implica em um aumento considerável na resistência na estrutura do pavimento, fazendo assim que esse pavimento resista a crescente demanda automobilística, e de transportes pesados, e tenha um aumento na sua vida útil. Essa metodologia mostra uma economia a curto e longo prazo, pois se economiza no transporte de materiais de fora, transporte e compactação de bota fora (em curto prazo), e um menor gasto com manutenções, devido a maior resistência e vida útil da estrutura (em longo prazo). Neste trabalho foi apresentado um comparativo entre ensaios de Capacidade de Suporte (CBR) e expansão, os quais demonstraram acréscimos de valores de resistência à compressão bem como redução da expansão, o que provavelmente se deve à adição de cimento e areia, mostrando assim, sua eficácia perante aos valores dos ensaios do mesmo material sem a adição de tal mistura.

**Palavras-Chave: Base; Solo-Cimento; Pavimentação, Capacidade de Suporte (CBR).**

## **ABSTRACT**

With technological advances in the automotive industry, heavy transport, and the increased scarcity of raw materials, a search for products or methodologies that improve the resilience it is necessary, and fits the materials arranged near work to ensure the features physical and mechanical requested for their different purposes, the most feasible to make work for the technical point of view, environmental, and economical, since it is a close saves the work material so as to transport the boot material compaction out by treating this material there is no need to bring stuff out and not carry it to boot areas outside because this treated material can be used in places near where he was taken. There are different types of products and methodologies for this purpose, however this work was approached to soil-cement methodology. The addition of the mixture 3% 10% cement and 87% sand soil implies a considerable increase in resistance of the floor structure, thus that this pavement resists the increasing demand automotive, and heavy transport, and has an increase in its life. This methodology shows a short and long term cost savings, because it saves in material transport out, transport and compaction boot off (short term), and a lower cost of maintenance due to increased resistance and useful life of the structure (in long term). This work presents a comparison between CBR tests and expansion, which showed increases of compressive strength values, as well as reducing the expansion, which is probably due to the addition of cement and sand, thus showing its effectiveness against the values assays of the same material without the addition of such a mixture.

**Keywords: Base; Soil-Cement; Paving, Carrying Capacity (CBR).**

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
<b>Figura 1</b> - Disposição de sacos de cimento na pista .....	22
<b>Figura 2</b> - Usina dosadora de solo-cimento .....	22
<b>Figura 3</b> - Ensaio de densidade <i>in-situ</i> .....	23
<b>Figura 4</b> - Mapa de localização .....	26
<b>Figura 5</b> - Características Operacionais .....	27
<b>Figura 6</b> - Características Operacionais 02 .....	28
<b>Figura 7</b> - Projeto tipo terraplanagem .....	28
<b>Figura 8</b> - Projeto tipo pavimentação. ....	29
<b>Figura 9</b> - Projeto linear de pavimentação .....	30
<b>Figura 10</b> - Características físicas e mecânicas jazida J1 in natura .....	36
<b>Figura 11</b> - Características físicas e mecânicas jazida J1 com mistura .....	37
<b>Figura 12</b> - Colocação da areia para a mistura. ....	45
<b>Figura 13</b> - Disposição de sacos de cimento. ....	45
<b>Figura 14</b> - Trator de grade homogeneizando o material. ....	46
<b>Figura 15</b> - Motoniveladora homogeneizando o material. ....	46
<b>Figura 16</b> - Usina de solo-cimento. ....	47
<b>Figura 17</b> - Ensaio de granulometria. ....	47
<b>Figura 18</b> - Ensaio de limite de liquidez. ....	48
<b>Figura 19</b> - Ensaio de limite de plasticidade. ....	48
<b>Figura 20</b> - Amostras imersas .....	49
<b>Figura 21</b> - Ensaio CBR. ....	49
<b>Figura 22</b> - Carga e transporte de material da jazida de cascalho. ....	50
<b>Figura 23</b> - Homogeneização e controle da umidade. ....	51
<b>Figura 24</b> - Compactação através de Rolos Compactores. ....	51
<b>Figura 25</b> - Nivelamento da Base. ....	52
<b>Figura 26</b> - Ensaio de densidade e umidade " <i>in situ</i> " 01. ....	52
<b>Figura 27</b> - Ensaio de densidade e umidade " <i>in situ</i> " 02. ....	53
<b>Figura 28</b> - Teste de Carga. ....	53
<b>Figura 29</b> - Ensaio de Deflexão por Viga Benkelman .....	54
<b>Figura 30</b> - Imprimação .....	54
<b>Figura 31</b> - Verificação da taxa de CM-30 por metro quadrado. ....	55



<b>Figura 32</b> - Pavimentação Faixa "B". .....	55
<b>Figura 33</b> - Comparativo do I.S.C. ....	57
<b>Figura 34</b> - Comparativo de expansão.....	57
<b>Figura 35</b> - Ensaio de Compactação Base Convencional .....	64
<b>Figura 36</b> - Ensaio de Indicie de Suporte Califórnia e expansão Base Convencional .....	65
<b>Figura 37</b> - Ensaio de Compactação de Base de Solo-cimento .....	66
<b>Figura 38</b> - Ensaio de Indicie de Suporte Califórnia Base Solo-Cimento e Expansão.....	67

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro</b>	<b>Página</b>
<b>Quadro 1</b> - Espessura mínima do revestimento betuminoso .....	38
<b>Quadro 2</b> - CBR Sub-leito.....	40

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela</b>	<b>Página</b>
<b>Tabela 1</b> - Teor de cimento para o ensaio de compactação do solo-cimento segundo a classe do solo .....	21
<b>Tabela 2</b> - Resumo da contagem volumetrica classificatoria .....	31
<b>Tabela 3</b> - Composição da frota.....	32
<b>Tabela 4</b> - Taxas médias de crescimento do PIB para diversos períodos.....	32
<b>Tabela 5</b> - Calculo de fator de veiculo UASCE.....	34
<b>Tabela 6</b> - Calculo fator de veiculo AASTHO .....	34
<b>Tabela 7</b> - Calculo do numero "N" .....	35
<b>Tabela 8</b> - Valor estrutural para revestimento betuminoso.....	42
<b>Tabela 9</b> - Resumo do dimensionamento.....	44
<b>Tabela 10</b> - Resumo Comparativo .....	56

## LISTA DE ABREVIÇÕES E SIGLAS

<b>ABCP</b>	Associação Brasileira de Cimento Portland.
<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
<b>DER</b>	Departamento Estradas e Rodagens.
<b>DNER</b>	Departamento Nacional de Estradas e Rodagens.
<b>DNIT</b>	Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte.
<b>NBR</b>	Norma Brasileira.
<b>PCA</b>	<i>Portland Cement Association.</i>
<b>PIB</b>	Produto Interno Bruto.
<b>ISC</b>	Indicie de Suporte Califórnia.
<b>CBR</b>	Capacidade de Suporte.
<b>GC</b>	Grau de Compactação.
<b>TSS</b>	Tratamento Superficial Simples.
<b>CBUQ</b>	Concreto Asfáltico Usinado a Quente.
<b>Ni</b>	Número equivalente de operações do eixo-padrão de 8,2 t acumulado até o ano "i".
$\sum VMD_{ci}$	Soma do volume do tráfego comercial (ônibus + veículos de carga) no trecho até o ano "i".
<i>i</i>	Fim do período de cálculo do projeto (Ano).
<b>FP</b>	Fator de Pista (FP = 0,5).
<b>FR</b>	Fator Climático Regional (FR = 1,0).
<b>FV</b>	Fator de Veículos.
<b>USACE</b>	<i>Headquarters United States Army Corps of Engineers.</i>
<b>AASHTO</b>	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
<b>VE</b>	Valor Estrutural do revestimento betuminoso.
<b>HCG</b>	Espessura da Camada Granular.
<b>HR</b>	Espessura das Camadas de Base e Sub-base.
<b>Ht1</b>	Espessura Equivalente Correspondente ao CBR do Subleito (10%).
<b>Ht2</b>	Espessura Equivalente Correspondente ao CBR da Sub-base (20%).

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.2 OBJETIVOS .....	16
<b>1.2.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>16</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>16</b>
1.3 METODOLOGIA.....	16
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	17
<b>2 UTILIZAÇÃO DE SOLO-CIMENTO COMO BASES DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS.....</b>	<b>18</b>
2.1 HISTÓRICO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE SOLO-CIMENTO PARA BASES .....	18
2.2 UTILIZAÇÃO DE BASES COM SOLO-CIMENTO NO BRASIL .....	19
2.3 CARACTERÍSTICAS DE BASES SOLO-CIMENTO .....	20
<b>2.3.1 Definições.....</b>	<b>20</b>
<b>2.3.2 Conceitos .....</b>	<b>20</b>
<b>2.3.3 Dosagem para mistura de solo-cimento pelo método usado pela ABNT.....</b>	<b>20</b>
2.4 PROCESSO EXECUTIVO .....	21
<b>2.4.1 Ensaios in-situ .....</b>	<b>23</b>
2.4.1.1 Imediatamente antes da compactação.....	23
2.4.1.2 Após a compactação .....	23
<b>3 NORMAS TÉCNICAS E PARA DIMENSIONAMENTO E EXECUÇÃO DE BASES SOLO-CIMENTO .....</b>	<b>24</b>
<b>4 ESTUDO DE CASO: ADEQUAÇÃO E DUPLICAÇÃO DA BR-153/GO.....</b>	<b>26</b>
4.1 DESCRIÇÃO GERAL .....	26
4.2 LOCALIZAÇÃO DA OBRA .....	26
4.3 CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS .....	27
4.4 PROJETO TIPO TERRAPLANAGEM.....	28
4.5 PROJETO TIPO PAVIMENTAÇÃO .....	29
4.6 HIPÓTESES PARA O DIMENSIONAMENTO .....	30
<b>4.6.1 Estudos de Tráfego .....</b>	<b>31</b>
4.6.1.1 Contagem Volumétrica Classificatória .....	31
4.6.1.2 Taxas de Crescimento do Tráfego .....	32
<b>4.6.2 Determinação do Número do Parâmetro de Tráfego “N” .....</b>	<b>33</b>
4.7 ESTUDOS GEOTÉCNICOS .....	35

4.8 METODOLOGIA.....	38
<b>4.8.1 Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis.....</b>	<b>38</b>
4.8.1.1 Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso.....	38
4.8.1.2 Espessura Mínima de Camadas Granulares.....	38
4.8.1.3 Base.....	39
4.8.1.4 Sub-base.....	39
<b>4.8.2 Método da Resiliência Salomão Pinto &amp; Ernesto.....</b>	<b>40</b>
4.8.2.1 Espessura total do Pavimento.....	40
4.8.2.2 Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso.....	40
4.8.2.3 Utilização de um Valor Estrutural do revestimento Betuminoso (VE).....	41
4.8.2.4 Determinação da espessura da camada granular (HCG).....	42
4.8.2.5 Determinação da espessura das camadas de base e sub-base (HR).....	42
4.9 RESUMO DO DIMENSIONAMENTO E DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA DO PAVIMENTO.....	43
<b>5 ACOMPANHAMENTO E EXECUÇÃO DAS OBRAS.....</b>	<b>45</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>58</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>60</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>64</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos percebe-se uma grande evolução do Produto Interno Bruto (PIB) no Brasil, com isso houve um aumento na produção automobilística, industrial, e agrícola, tendo uma crescente demanda na área de transportes para o escoamento desses produtos. Existem várias maneiras de transportes, tais como ferroviário, hidroviário, marítimo, aéreo, e rodoviário. No Brasil, o método de transporte mais utilizado é o rodoviário, com isso se aumentou o tráfego de veículos leves, médios e pesados, necessitando de uma melhoria de qualidade estrutural das malhas rodoviárias. Existem vários métodos para o aumento dessas resistências estruturais.

A estrutura do pavimento é composta geralmente por camadas, iniciando pela terraplanagem, que seria a regularização do terreno natural e elevação de sua cota, depois o subleito, sub-base, base e a capa que pode ser rígida ou flexível. Os pavimentos rodoviários são geralmente subdivididos em três categorias: flexíveis, semirrígidos e rígidos. Este trabalho foi realizado com o objetivo estudar um dos tipos de melhoria de resistência estruturais do pavimento que seria a base de solo-cimento para pavimentos flexíveis. Como o próprio nome sugere este composto é formado principalmente por solo, uma pequena porcentagem de areia, cimento Portland.

Para Sanbounsuge (2013) o solo é um material complexo, variável e com extensa aplicação na engenharia rodoviária, devido a sua ocorrência em abundância. Porém, dependendo de sua origem pedológica e condições de tráfego pode não ser apropriada para camadas de base e sub-base de pavimentos. Dentro dessas limitações, devem ser estudadas alternativas que melhorem as características do solo. A estabilização com aglomerantes hidráulicos pode ser uma solução interessante, tanto do ponto de vista técnico, como econômico.

Segundo Monte (2012) solo-cimento é um material que pode ser usado tanto em camadas do leito do pavimento como em camadas de base e sub-base. Consiste numa mistura de cimento, solo e água, cujo principal objetivo é o de melhorar as características estruturais do pavimento.

## 1.1 JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TEMA

Para Uelse (1974) a importância da infraestrutura no processo de desenvolvimento e crescimento econômico de qualquer país é uma verdade incontestável. Como um dos componentes essenciais desta infraestrutura, aparece o setor de transportes.

O principal modo de transporte no Brasil é o rodoviário, respondendo por mais de 58% do volume de movimentação nacional de cargas, e 48% do transporte interestadual de passageiros (Ministério do Planejamento, 2012).

Com essa grande concentração no transporte rodoviário tem-se por consequência uma crescente necessidade de qualidade e desenvolvimento das malhas rodoviárias. Atualmente as matérias primas estão ficando cada vez mais raras, ou mesmo distantes do local de sua aplicação. Convém ressaltar que o emprego de materiais existentes próximos à execução da obra, mesmo os que seriam descartados para aterros ou bota-foras, gera economia, principalmente em relação aos gastos com transporte. A exploração de materiais de melhor qualidade, sob determinados critérios, e trazidos de locais distantes da obra pode gerar impactos ambientais e alto custo com o transporte. Desta forma, a melhoria dos solos locais por processos diversos, chamados de estabilização de solos, é uma solução que deve ser utilizada na construção de pavimentos e alternativa a ser considerada para o aproveitamento de solos locais e redução de custos. A utilização do cimento para estabilizar o solo é de longa data, uma das boas maneiras de conferir a certos materiais as características necessárias ao seu emprego no pavimento (OLIVEIRA, 2011).

Para Balbo (2007 *apud* Malaconi, 2013) as misturas de solo-cimento são empregadas em camadas de base e sub-base de pavimento. Seu emprego geralmente é mais difundido em regiões onde não são disponíveis, pela distância e os custos razoáveis, material britado (Rocha ou cascalhos) ou agregados naturais ou artificiais.

Segundo Macedo (2004) o uso de solo-cimento e solo melhorado com cimento tem-se mostrado uma solução técnica e economicamente viável em diversas regiões do país, iniciando-se a construção das estradas de solo-cimento, no Brasil, em 1939.



## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral contribuir com os estudos da utilização de solo-cimento em estruturas de pavimentos flexíveis.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

São objetivos específicos deste trabalho;

- a) apresentar histórico do uso do solo-cimento;
- b) apresentar as normas atuais vigentes sobre o assunto;
- c) mostrar parte do dimensionamento da rodovia do estudo de caso, especificamente a determinação das espessuras das camadas que a compõe;
- d) realizar um estudo de caso, com o acompanhando da execução de uma obra rodoviária realizada no perímetro urbano de Anápolis-GO, especificamente na Rodovia BR-153/GO;
- e) realizar um comparativo entre base convencional e base solo-cimento;

## 1.3 METODOLOGIA

O método para a realização do trabalho será o descritivo, apoiando-se em livros, artigos, normas da ABNT, teses e materiais provindos da internet, e projetos rodoviários, para a caracterização do solo-cimento aplicado em estruturas de pavimentos flexíveis.

O trabalho também conta com ensaios geotécnicos realizados conforme as normas da ABNT.

## 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta monografia encontra-se dividida em seis capítulos principais. O primeiro capítulo consta uma introdução que procura contextualizar a necessidade do uso da base de solo-cimento perante o desenvolvimento do país, também apresenta a justificativa e a importância do tema, os objetivos abordados neste trabalho e também a metodologia utilizada.

O segundo capítulo apresenta a revisão bibliográfica do tema usado no trabalho, mostrando sua história, sugestão de dosagem, definições e conceitos, métodos de execução e controle de qualidade.

O capítulo três contém as normas técnicas atuais vigentes referentes ao dimensionamento e o processo executivo.

O quarto capítulo apresenta um estudo de caso de um trecho de duplicação de rodovia que foi utilizado à base de solo-cimento, mostrando o passo a passo, desde a realização do projeto, parte do dimensionamento, mais especificamente como foi determinada as espessuras das camadas que compõem a rodovia.

O capítulo cinco mostra todo o processo executivo, desde os levantamentos nas jazidas até a finalização com a pavimentação e também todos os ensaios realizados, e apresenta uma comparação entre uma base convencional e uma base solo-cimento.

Por fim, no capítulo 6, são apresentadas as conclusões finais e os resultados obtidos entre as comparações realizadas.

## 2 UTILIZAÇÃO DE SOLO-CIMENTO COMO BASES DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

### 2.1 HISTÓRICO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE SOLO-CIMENTO PARA BASES

Como relatado por Bolis e Renzo (1949 *apud* Sanbonsuge, 2013) o emprego de aglomerantes hidráulicos com o intuito de melhoria das características de materiais naturais empregados para pavimentação não é de uso recente. A utilização de pozolanas e cal como materiais estabilizantes já são conhecidos desde a época áurea de Roma,

Segundo Macedo (2004) as primeiras notícias de tentativas contemporâneas de obtenção da mistura de solos com cimento Portland, considerado como um material de construção, econômico, durável e de propriedades tecnológicas bem definidas vem de Sarasota, Flórida (EUA), quando um Engenheiro de nome Bert Reno, de grande imaginação e criatividade, experimentou pavimentar uma rua da cidade, a Oak Street, empregando um composto de conchas marinhas, areia de praia e cimento Portland. Isso se deu em 1915.

De acordo com Macedo (2004), entre 1917 e 1920 foram expedidas patentes comerciais para uso em pavimentos de misturas de terra e cimento Portland, com as denominações de *Soilamies* e *Soilcrete*, respectivamente.

Para Lima (2006 *apud* Oliveira, 2004), a partir de 1935 a Portland Cement Association (PCA), o *Bureau of Public Roads* (BPR) e o Departamento de Estradas e Rodagens do Sul da Califórnia construíram uma pista experimental com 2,5 Km, próximo a Johnsonville, Carolina do Sul. Assim, foi possível confirmar a validade dos ensaios desenvolvidos no laboratório da PCA. Depois deste experimento, muitos estados começaram a adotar o solo-cimento como material de construção de pavimentos rodoviários.

Em Portugal, esta técnica teve grande desenvolvimento nas décadas de 50 e 60 do século passado, pela mão do Eng.º Manuel Pimental dos Santos, no Laboratório de Ensaios do Solo de Moçambique. Durante estas décadas foram construídos milhares de quilómetros de estradas com base em solo-cimento, em Moçambique e Angola e vários estudos foram publicados, nomeadamente Curso de Solo-cimento, Progressos no projeto e construção de estradas em solo-cimento e Ensaios normais de solo-cimento (SANTOS, 1951, *apud* OLIVEIRA, 2004).

## 2.2 UTILIZAÇÃO DE BASES COM SOLO-CIMENTO NO BRASIL

Segundo Associação de Brasileira de Cimento Portland (2009) os pavimentos com base ou sub-base de solo-cimento são empregados no Brasil desde 1939, quando foi construída a estrada Caxambu-Areias, empreendimento no qual a ABCP juntou-se ao Departamento Nacional de Estradas e Rodagens (DNER). Desde então, foram executados no país mais de 25.000 km com essa solução, um marco mundial.

Mistura homogênea compactada, curada e endurecida de solo, cimento e água, pode empregar solos do próprio leito da futura base, misturados no local com equipamento pulvimisturador, ou usar solos selecionados, de jazida, misturados em usina central ou no próprio campo. O baixo custo inicial e a alta durabilidade são dois pontos fortes dessa alternativa. É indicado como base e sub-base de pavimentos flexíveis e de peças pré-moldadas de concreto e também sub-base de pavimentos de concreto. No campo rodoviário, serve também como contenção de encostas.

Ressaltado por Pitta (1995 *apud* Oliveira, 2013) e também por iniciativa da ABCP, e autorizada pela Diretoria da Aeronáutica Civil na construção da pista de circulação do aeroporto Santos Dumont, no Rio de Janeiro. Em 1941, houve a construção de trecho em estrada de Osasco no estado de São Paulo, e logo após, um trecho de estrada em Alcântara-RJ.

O total de solo-cimento executado até o ano de 1942 era de 148.452 m<sup>2</sup>. As dificuldades surgidas durante a 2<sup>a</sup> guerra mundial e a posterior escassez de cimento Portland fizeram com que não se desenvolvesse o uso do solo-cimento, apesar dos ótimos resultados obtidos nas primeiras pavimentações realizadas. Apenas a partir de 1954 começaram as construções em maior escala, dos pavimentos de solo-cimento.

Segundo Pitta (1997 *apud* Macedo, 2004), em 1973, um levantamento razoavelmente preciso indicava a existência de 96.000.000 m<sup>2</sup> de solo-cimento em estradas, ruas e aeroportos brasileiros, enquanto que no final de 1980, projetava-se um total de 110.000.000 m<sup>2</sup> para o mesmo tipo de aplicação, dos quais o Estado de São Paulo possuía 45%; a região Sudeste (inclusive SP), 51%; a região Sul, 26%; a região Centro-Oeste, 14% e a região Nordeste, 9%.

## 2.3 CARACTERÍSTICAS DE BASES SOLO-CIMENTO

### 2.3.1 Definições

Para Marangon (1992 *apud* Macedo, 2004) a estabilização de um solo pode ser definida como sendo a alteração de qualquer de suas propriedades, de forma a melhorar o seu comportamento sob o ponto de vista da Engenharia. Consiste em um tratamento artificial, por um processo físico, químico ou físico-químico, tornando o solo estável para os limites de sua utilização, e ainda fazendo com que esta estabilização permaneça sob a ação de cargas exteriores e também sob ações climáticas variáveis.

### 2.3.2 Conceitos

Solo-cimento, material proveniente de mistura de solo, cimento e água em proporções previamente determinadas por processo próprio de dosagem em laboratório, de forma a apresentar determinadas características de resistência e durabilidade (DNIT, 2010).

Segundo o Departamento de Estradas e Rodagens DER (2005), solo-cimento pode ser, executado na pista ou em usina.

### 2.3.3 Dosagem para mistura de solo-cimento pelo método usado pela ABNT

Como citado por Oliveira (2011), a norma de dosagem de mistura solo-cimento recebeu inicialmente o número de registro NB 01336, e se baseia nos métodos de dosagem da *Portland Cement Association* (PCA) e na comprovação dos resultados de um grande número de obras executadas com grande variedade de solos. Atualmente a norma é a NBR 12253 (ABNT).

A NBR 12253 ABNT (1992) limita o uso dos solos a serem empregados nas bases ou sub-bases de solo-cimento, sendo possível a utilização dos tipos A1, A2, A3 e A4 que contenham 100% de material passando na peneira de abertura 76 mm, e no máximo 45% de material retido na peneira de abertura 4,8 mm.

O teor mínimo de cimento recomendado pela norma é de 5%, em massa, abrindo-se o precedente para uso até de 3,0%, em massa, para solos do tipo A1-a, A1-b ou A-2-4, contanto que seja atingida a resistência de 2,1 MPa e que a mistura seja processada em usina. A seleção do teor de cimento para o ensaio de compactação é sugerida de acordo com a Tabela 1, conforme a classificação do solo.

**Tabela 1** - Teor de cimento para o ensaio de compactação do solo-cimento segundo a classe do solo

Classificação do solo segundo a ASTM D 3282	Teor de Cimento sugerido em massa (%)
A-1-a	5
A-1-b	6
A2	7
A3	9
A4	10

Fonte: ABNT, 1992.

Segundo Marcondes (1992 *apud* Macedo, 2004) para a obtenção dos valores de umidade ótima e de massa específica aparente seca máxima, são moldados corpos de prova, ensaiando-os á compressão simples, com teores de cimento sugeridos por gráficos. Devem ser moldados corpos de prova com um ou mais teores de cimento, de forma que se determine aquele que forneça resultados de resistência à compressão simples de, no mínimo, 2,1 MPa, aos 7 dias. Admite-se a interpolação como forma de se determinar o teor de cimento que corresponda ao valor mínimo da resistência à compressão média especificada. A extrapolação de dados não é permitida.

## 2.4 PROCESSO EXECUTIVO

Conforme relata Sanbobsunge (2013) o processo de adição de cimento ao solo pode ser feito de duas formas: misturado em pista ou produzido em usina. A produção em usina conduz a misturas de maior homogeneidade e qualidade, resultante do controle na adição do cimento nos processos de misturação. A produção em pista pode ser realizada de duas formas;

- a) disposição de sacos de cimento em pista, como mostra a Figura 1, com quantidade calculada volumetricamente. A homogeneização do material é realizada com grades de discos ou motoniveladora.

**Figura 1** - Disposição de sacos de cimento na pista



Fonte: Próprio autor, 2015.

- b) mistura de solo-cimento processada por usina conforme a Figura 2, com equipamento destinado a misturação e homogeneização. Esta técnica apresenta melhor qualidade quando comparada a anterior.

**Figura 2** - Usina dosadora de solo-cimento



Fonte: Próprio autor, 2015.

### 2.4.1 Ensaios in-situ

Tanto para a mistura fabricada, transportada da usina e espalhada na pista, quanto para a mistura executada na pista, são verificadas aleatoriamente os seguintes ensaios:

#### 2.4.1.1 Imediatamente antes da compactação

- a) determinações do teor da umidade da mistura (DNER-ME 052/94, DNER-ME 088/94), para verificação do atendimento do teor de umidade de projeto;
- b) ensaios de compactação e moldagem de corpos-de-prova cilíndricos, para determinação da resistência a compressão simples, após 7 dias de cura (DNER-ME 201/94 e DNER-ME 202/94), com material coletado na pista.

#### 2.4.1.2 Após a compactação

- a) determinação da massa específica aparente (densidade) “in situ” na pista compactada para o cálculo do Grau de Compactação (GC) - (DNER-ME 092/94 ou DNER-ME 036/94), como mostra a Figura 3, que deve ser  $\geq 100\%$  (DNIT, 2010).

**Figura 3** - Esnsaio de densidade *in-situ*



Fonte: Próprio autor 2015.



### **3 NORMAS TÉCNICAS E PARA DIMENSIONAMENTO E EXECUÇÃO DE BASES SOLO-CIMENTO**

Segundo Monte (2012) normalmente cada país tem as suas normas, especificações e outros documentos que ajudam o projetista na escolha da melhor solução de pavimento a adotar. As Normas Portuguesas referentes têm por base padrões internacionais, especialmente normas espanholas e francesas associadas à experiência nacional. Estas normas e especificações reportam-se essencialmente ao solo, ao cimento (tipo e dosagem) e à água, havendo ainda referências a materiais nocivos e a aditivos.

Com base nessas e outras normas internacionais, no Brasil as normas regulamentadoras são as seguintes:

- ABNT NBR 11798:2012, Materiais para base de solo-cimento — Requisitos. Publicada no dia 20 de agosto, a norma estabelece os requisitos para materiais utilizados na execução de camadas de base de pavimentos de solo-cimento.
- ABNT NBR 12253:2012, Solo-cimento — Dosagem para emprego como camada de pavimento. Publicada no dia 20 de agosto, a norma estabelece requisitos para determinação da quantidade de cimento Portland utilizados como camada de pavimento solo-cimento.
- ABNT NBR 12025:2012, Solo-cimento — Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos — Método de ensaio. Publicada no dia 17 de agosto, esta norma estabelece o método de ensaio de resistência à compressão simples de corpos de prova cilíndricos de solo-cimento.
- ABNT NBR 16096:2012, Solo-cimento — Determinação do grau de pulverização — Método de ensaio. Publicada no dia 17 de agosto, a norma estabelece o método para determinação do grau de pulverização do solo para execução de base de solo-cimento.
- ABNT NBR 12023:2012, Solo-cimento — Ensaio de compactação. Publicado no dia 16 de agosto, a norma estabelece os métodos para determinar a relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca de misturas de solo e cimento, sem reuso do material, quando as mesmas são compactadas com energia normal.
- ABNT – NBR 12253 (1992). “Solo-Cimento – Dosagem para Emprego como Camada de Pavimento”. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

- ABNT NBR 12024:2012, Solo-cimento — Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos — Procedimento. A norma, publicada no dia 16 de agosto, estabelece dois métodos aplicáveis para moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos de solo-cimento.
- DER/PR ES 11/05, Pavimentação: Solo-cimento e solo tratado com cimento Especificações de Serviços Rodoviários.
- NORMA DNIT 143/2010 – ES, Pavimentação – Base de solo-cimento-Especificação de serviço.
- DNER-ME 162/94 Solos – Ensaio de compactação utilizando amostras trabalhadas
- DNER-ME 049/94 Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas.
- DNER-ME 080/94 Solos – Análise granulométrica por peneiramento
- DNER-ME 082/94 Solos – Determinação do Limite de Plasticidade
- NORMA DNIT 160/2012– ES, Pavimentação – Base de solo-cimento - Especificação de serviço.

## 4 ESTUDO DE CASO: ADEQUAÇÃO E DUPLICAÇÃO DA BR-153/GO

### 4.1 DESCRIÇÃO GERAL

O estudo de caso refere-se à realização das Obras de Adequação de Capacidade de Rodovia com Duplicação, Construção de Vias Marginais e Obras de Arte Especiais no Contorno Viário de Anápolis.

### 4.2 LOCALIZAÇÃO DA OBRA

A obra esta localizada na BR -153 /GO, Rodovia: BR-153/GO, Trecho: Divisa TO/GO – Entr. BR-452(B) (Div. GO/MG) (Itumbiara), Subtrecho: Entr. GO-431 (P/ Pirenópolis) – Entr. BR-060 (A), Segmento: km 419,1 – km 444,1, Extensão: 25,0 km, Lote: Único, conforme a Figura 4.

**Figura 4 - Mapa de localização**



Fonte: Google Maps, alterado pelo autor 2015.

### 4.3 CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS

A BR-153/GO trata-se de uma rodovia interestadual, com suas características operacionais descritas nos Figuras 5 e 6.

**Figura 5 - Características Operacionais**

<b>Características Operacionais</b>		
Região:	Ondulada	
Velocidade Diretriz:	110,00 km/h	
Classe da Rodovia:	I-A	
Latitude :	16° 11' e 16o 21' S	
Longitude :	49° 02' e 49o 56' W	
Principais Elementos		
Descrição	Localização	Características
<b>Pista Dupla</b>		2 faixas de tráfego(cada pista)
<b>Retorno em nível</b>		
	Est. 215 = km	Duplo
	Est. 262 = km	Duplo
	Est. 400 = km	Duplo
	Est. 540 = km	Duplo
<b>Obras de Arte- Especiais</b>		
Viaduto Interlândia	Est.145 = km 420,3	2x18,70x13,40
Viaduto acesso ao Colégio	Est. 456 = km 426,52	2x40,43x13,40
Viaduto ao bairro dos Pirineus	Est. 827= km 433,94	2x13,20x13,40
Viaduto acesso ao Bairro de Lourdes	Est.1242,5 = km 442,25	2x40,43x13,40
Passarela Posto São João	Est. 738 = km 432,16	Ext. 203,65
Passarela Viaduto Ayrton Senna	Est. 1184= km 441,08	Ext. 175,25
Passarela Av. 10 =Pirineus	Est. 828,5= km 433,97	Ext. 225,10
BTCC	Viaduto Fernando Costa	Ext. 26 m
BSTM	Est.115	Ext. 23 m
BSTM	Est. 277	Ext. 61 m
BSTM	Est. 329	Ext. 55 m
BSTM	Est. 1293	Ext. 18 m
BSCC	Est. 329	Ext. 22,5 m
BSCC	Est. 277	Ext. 27 m
BSCC	Est. 496+12	Ext. 23,5 m
Características do Traçado em Planta (Pista Principal)		
Extensão do Trecho	25,00 km	
Início do trecho	Est. 57 = km 418,54	
Final do trecho	Est. 1325 = km 443,9	
Desenvolvimento em tangente	PD=5.516,98m / PE=6.222,52m	
Desenvolvimento em curva	PD=1.849,90m/ PE= 3.047,92m	
Números de Curvas	PD= 8 / PE=14	
Números de Curvas com Raio entre 600 e 800 m	2	
Raio Mínimo	760 m	
Desenvolvimento Total com Raio Mínimo	484,219	
Tangente Máxima	PD=2.123,291 / PE=1.994,817	
Tangente Mínima	PD=48,944 / PE=30,478	
Taxa Máxima de Superelevação	PD=3,00% / PE=4,60%	
Superlargura	PD=14,5% / PE=14,5%	

Fonte: DNIT 2010.

**Figura 6 - Características Operacionais 02**

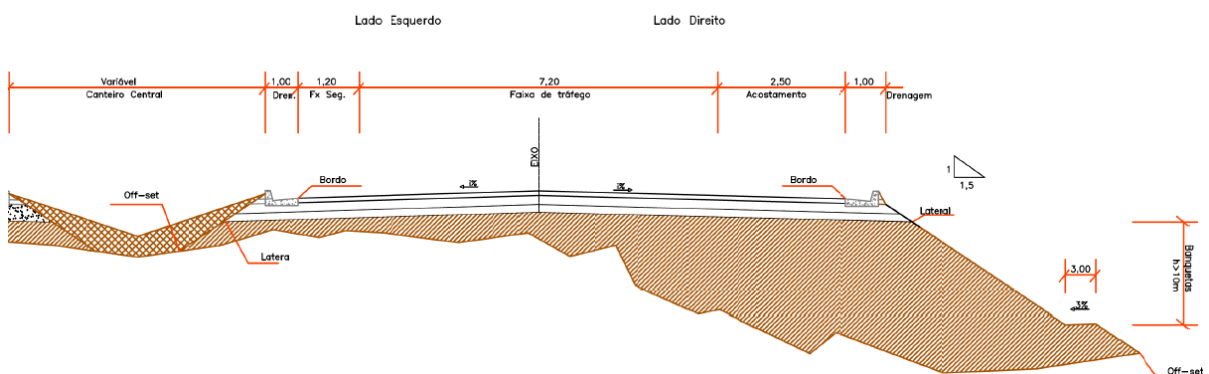
<b>Características Operacionais</b>	
Características do Traçado em Perfil (Pista Principal)	
Rampa Máxima	PD=6,03% / PE=6%
Extensão em Rampa Máxima	PD=700 m / PE=840m
Rampa Mínima	PD=0,84% / PE=1,25%
Extensão em Rampa Mínima	PD=360,00m / PE=280,00m
Extensão em nível	PD=100m / PE=100m
Extensão em Rampa	PD=4.400,00m / PE=3.360,00m
Extensão em Curva Vertical	PD= 2.866,88m / PE=2.370,00m
Características do Traçado em Perfil (Pista Principal)	
Largura da plataforma Existente	12,20m
Largura da plataforma Projetada	10,90 m
Largura da Pista de Rolamento	3,20 m (duas faixas por sentido)
Largura do Acostamento	2,50 m
Largura da Faixa de segurança	1,20 m
Abaulamento da Plataforma	3,00%

Fonte: DNIT 2010

#### 4.4 PROJETO TIPO TERRAPLANAGEM

A pista é composta por duas faixas de rolamento, uma faixa de segurança, e um acostamento, onde o projeto tipo de terraplanagem determina a geometria do corpo do aterro, que seria uma inclinação de 1 para 1,5; com banquetas de 3 metros de largura e 3% de inclinação a cada 10 metros de altura no aterro, conforme mostra na Figura 7, que está apresentando o projeto tipo de terraplanagem com suas devidas dimensões.

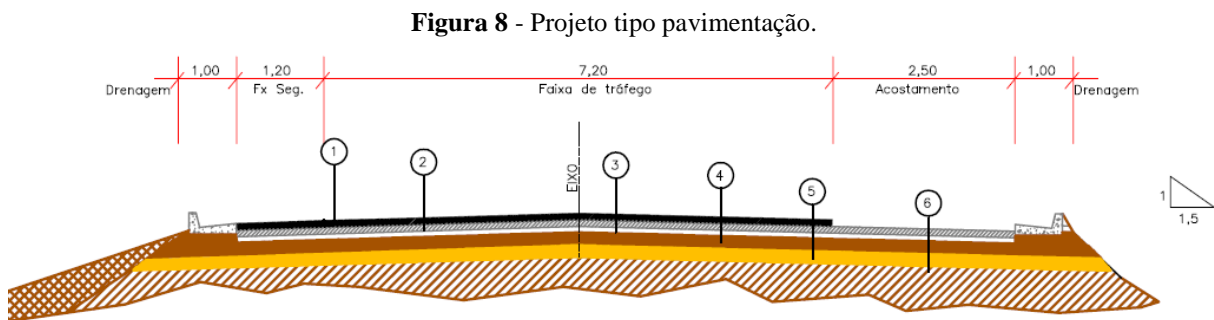
**Figura 7 - Projeto tipo terraplanagem.**



Fonte: DNIT 2010

## 4.5 PROJETO TIPO PAVIMENTAÇÃO

O projeto tipo da pavimentação determina que a pista tenha duas faixas de tráfego de 3,60 m cada, uma faixa de segurança de mesmo nível, com 1,2 m de largura, e um acostamento rebaixado de 2,50 m, e 1,00 m de cada lado destinado à drenagem. Quanto às camadas e espessuras: a faixa “C” composta de CBUQ com polímero e com espessura  $e=3,5\text{cm}$ , a faixa “B”, com CBUQ convencional, com espessura  $e=4,0\text{ cm}$ ; tratamento superficial simples (TSS), base estabilizada com mistura (Solo-cimento, 87% solo, 10% areia, 3% cimento) com espessura  $e=15\text{ cm}$ , sub-base estabilizada granulometricamente sem mistura com espessura  $e=20\text{ cm}$ , e subleito com Índice de Suporte Califórnia (ISC)  $\geq 10$ , Expansão  $\leq 2\%$ , e Grau de Compactação (GC)  $\geq 100\%$ . Entre a faixa “B” e a faixa “C” e o TSS tem uma pintura de ligação com RR-2C, e sobre a base uma imprimação com CM-30, conforme mostra as Figuras 8 e 9.



Observações:

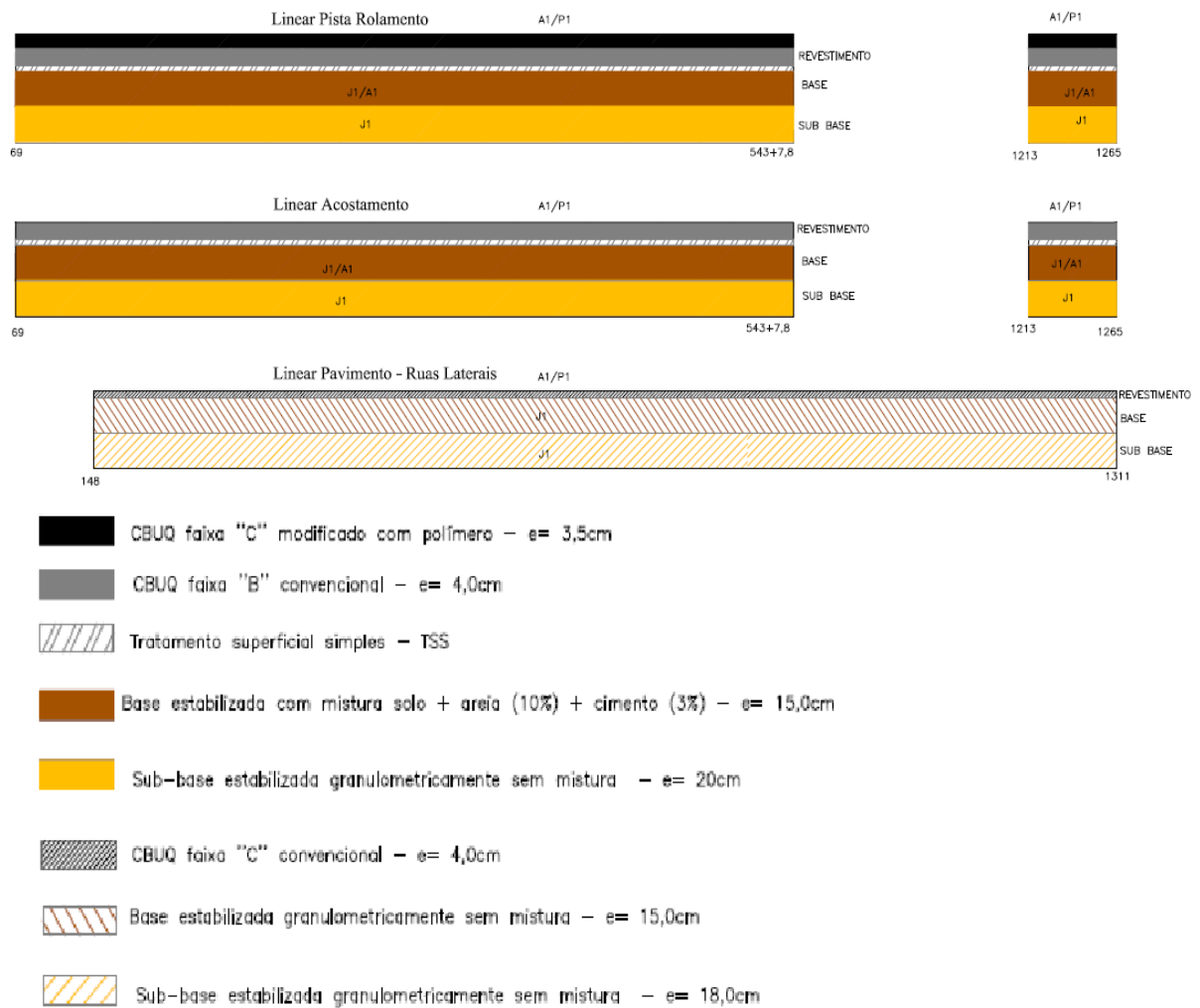
- 1- CBUQ faixa "C" modificado com polímero -  $e= 3,5\text{cm}$
- 2- CBUQ faixa "B" convencional -  $e= 4,0\text{cm}$
- 3- Tratamento superficial simples - TSS
- 4- Base estabilizada com mistura -  $e=15\text{cm}$  de solo (87%) + areia (10%) + cimento (3%)
- 5- Sub-base estabilizada granulometricamente sem mistura -  $e= 20\text{cm}$
- 6- Sub-leito ISC  $\geq 10$  EXP  $\leq 2,0\%$  GC  $\geq 100\%$

Obs:

- 1) Aplicar pintura de ligação com RR-2C entre as camadas 1 e 2 e entre 2 e 3.
- 2) Aplicar imprimação sobre a base (4) com CM-30

Fonte: DNIT 2010

**Figura 9 - Projeto linear de pavimentação.**



Fonte: DNIT 2010.

#### 4.6 HIPOTHESES PARA O DIMENSIONAMENTO

Visando facilitar o entendimento das fórmulas utilizadas pelo projetista, estão apresentados o roteiro e as fórmulas baseados no projeto executivo das Obras de Adequação de Capacidade de Rodovia com Duplicação, Construção de Vias Marginais e Obras de Arte Especiais, no Contorno Viário de Anápolis na BR -153 /GO, Rodovia: BR-153/GO, Trecho: Divisa TO/GO – Entr. BR-452(B) (Div. GO/MG) (Itumbiara), Subtrecho: Entr. GO-431 (P/ Pirenópolis) – Entr. BR-060 (A), Segmento: km 419,1 – km 444,1, Extensão: 25,0 km, Lote: Único, elaborado pela Engespro Engenharia Ltda., no ano de 2010.

#### 4.6.1 Estudos de Tráfego

Para os estudos de tráfego foi efetuada uma criteriosa pesquisa junto ao banco de dados do DNIT. Para a caracterização do tráfego atual da rodovia foi procedida uma Contagem Volumétrica Classificatória, para obtenção do volume de tráfego. Os resultados obtidos forneceram os parâmetros necessários e suficientes para verificar e analisar o dimensionamento da estrutura dos pavimentos novos.

##### 4.6.1.1 Contagem Volumétrica Classificatória

Para a caracterização do tráfego atual foi procedida uma “Contagem Volumétrica Classificatória” nos dias 16/17 de novembro de 2009, com 24 horas de duração de forma ininterrupta como mostra os Tabelas 2 e 3.

**Tabela 2 - Resumo da contagem volumetrica classificatoria**

RESUMO DA CONTAGEM CLASSIFICATORIA						
Veículos Tipo	Anápolis - Jaraguá	Jaraguá - Anápolis	Soma	Fator de Correção Sazonal		
				Semanal	Mensal	Total
Passeio	1.141	1.264	2.405	0,96	0,97	2.583
Motos	52	49	101	0,96	0,97	108
Ônibus	74	72	146	1,01	0,97	149
Utilitários				1,01	0,97	
2C	122	127	249	1,01	0,97	254
3C	255	287	542	1,01	0,97	553
4C				1,01	0,97	
2S1	1	2	3	1,01	0,97	3
2S2	27	35	62	1,01	0,97	63
2S3	162	172	334	1,01	0,97	341
3S1	2	2	4	1,01	0,97	4
3S2	8	13	21	1,01	0,97	21
3S3	134	128	262	1,01	0,97	267
3S4	93	96	189	1,01	0,97	193
3S6	2	1	3	1,01	0,97	3
3T6	4	1	5	1,01	0,97	5
TOTAL	2.077	2.249	4.326	1,01	0,97	4.547
			FROTA COMERCIAL			1.856

Fonte: DNIT 2010.



**Tabela 3 - Composição da frota**

COMPOSIÇÃO DA FROTA - Excluindo motos						
Passeio		Coletivo		Carga		TOTAL
2583	58,19%	149	3,36%	1707	38,45%	4339

Fonte: DNIT 2010.

#### 4.6.1.2 Taxas de Crescimento do Tráfego

Analisando-se a série histórica dos dados disponíveis para o período compreendido entre os anos de 1994 a 1999, verificam-se variações da taxa de crescimento, que não permitem estabelecer com clareza um perfil do crescimento do tráfego, visto também que as séries além de antigas, são por vezes incompletas.

Assim sendo elegeu-se para avaliação da taxa de crescimento a análise da evolução do PIB, como forma de nortear a escolha da taxa de crescimento mais representativa conforme o Tabela 4.

**Tabela 4 - Taxas médias de crescimento do PIB para diversos períodos**

Taxas médias por período	
Período	Taxa média
2000 - 2009	3,2
2000 - 2004	2,7
2005 - 2009	3,7
2000 - 2008	3,6
2005 - 2008	5,0

Fonte: DNIT, 2010.

Cabe observar que a crise mundial que levou a redução dos níveis de crescimento não apresenta sinais de solução completa e satisfatória a curto prazo. Portanto, foi considerado que a taxa usual de 3,0 % pode ser mantida, pois ainda que em alguns anos se conseguisse atingir níveis de crescimento superiores a 5,0%, teria uma média, em 10 anos, provavelmente menor.

#### 4.6.2 Determinação do Número do Parâmetro de Trafego “N”

Os Valores de "N" foram determinados a partir da aplicação da fórmula preconizada pelo Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis do DNER/1966, desenvolvida pelo Eng.º Murillo Lopes de Souza, a saber:

$$N_i = 365 \times \sum VMD_{CI} \times FP \times FR \times FV \quad (1)$$

onde:

$N_i$  = número equivalente de operações do eixo-padrão de 8,2 t acumulado até o ano "i";

$\sum VMD_{CI}$  = soma do volume do tráfego comercial (ônibus + veículos de carga) no trecho até o ano "i";

$FP$  = fator de pista ( $FP = 0,5$ )

O fator de pista foi obtido considerando-se a distribuição de tráfego 50%-50% por sentido.

$FR$  = fator climático regional ( $FR = 1,0$ )

$FV$  = fator de veículos

Foram adotados os “Fatores de Veículos” calculados pelas fórmulas preconizadas pelas metodologias da “USACE” e da “AASHTO” como mostra as Tabelas 5 e 6, assim determinando o parâmetro “N” representado na Tabela 7.

**Tabela 5 - Calculo de fator de veiculo UASCE**

<b>CALCULO FATOR VEICULO - "USACE"</b>										
Veículos Tipo	EIXO DIANTEIRO		EIXO TRASEIRO						TOTAL	
	SIMPLES DE RODAGEM SIMPLES (P=6,0t)		SIMPLES DE RODAGEM DUPLA (P=10t)		TANDEM DUPLO (P=17t)		TANDEM TRIPLO (P=17t)			
	FEO =	0,277914	FEO =	3,289467	FEO =	8,549	FEO =	9,3	Nº Eixos (n)	n x FEO
	Nº Eixos (n)	n x FEO	Nº Eixos (n)	n x FEO	Nº Eixos (n)	n x FEO	Nº Eixos (n)	n x FEO		
Ônibus	149	41,409186	149	490,130583					298	531,53977
2C	254	70,590156	254	835,524618					508	906,11477
3C	553	153,686442			553	4727,597			1106	4881,2834
4C										
2S1	3	0,833742	6	19,736802					9	20,570544
2S2	63	17,508582	63	207,236421	63	538,587			189	763,332
2S3	341	94,768674	341	1121,708247			341	3171,3	1023	4387,7769
3S1	4	1,111656	4		4				12	1,111656
3S2	21	5,836194			42	359,058			63	364,89419
3S3	267	74,203038			267	2282,583	267	2483,1	801	4839,886
2C2										
2C3										
3C2										
3C2										
3D4	193	53,637402			579	4949,871			772	5003,5084
3D6	3	0,833742			12	102,588			15	103,42174
3T6	5	1,38957			20	170,98			25	172,36957
<b>Total</b>	<b>1856</b>								<b>4821</b>	<b>21975,81</b>
<b>FATOR DE VEICULO USACE=</b>									<b>4,556</b>	

Fonte: DNIT 2010.

**Tabela 6 - Calculo fator de veiculo AASTHO**

<b>CALCULO FATOR VEICULO - "AASTHO"</b>										
Veículos Tipo	EIXO DIANTEIRO		EIXO TRASEIRO						TOTAL	
	SIMPLES DE RODAGEM SIMPLES (P=6,0t)		SIMPLES DE RODAGEM DUPLA (P=10t)		TANDEM DUPLO (P=17t)		TANDEM TRIPLO (P=17t)			
	FEO =	0,3273	FEO =	2,3944	FEO =	1,6424	FEO =	1,6424	Nº Eixos (n)	n x FEO
	Nº Eixos (n)	n x FEO	Nº Eixos (n)	n x FEO	Nº Eixos (n)	n x FEO	Nº Eixos (n)	n x FEO		
Ônibus	149	48,7677	149	356,7656					298	405,5333
2C	254	83,1342	254	608,1776					508	691,3118
3C	553	180,9969			553	908,2472			1106	1089,2441
4C										
2S1	3	0,9819	6	14,3664					9	15,3483
2S2	63	20,6199	63	150,8472	63	103,4712			189	274,9383
2S3	341	111,6093	341	816,4904			341	560,0584	1023	1488,1581
3S1	4	1,3092							12	1,3092
3S2	21	6,8733			42	68,9808			63	75,8541
3S3	267	87,3891			267	438,5208	267	438,5208	801	964,4307
2C2										
2C3										
3C2										
3C2										
3D4	193	63,1689			579	950,9496			772	1014,1185
3D6	3	0,9819			12	19,7088			15	20,6907
3T6	5	1,6365			20	32,848			25	34,4845
<b>Total</b>	<b>1856</b>								<b>4809</b>	<b>6075,422</b>
<b>FATOR DE VEICULO AASTHO =</b>									<b>1,253</b>	

Fonte: DNIT 2010.

Tabela 7- Calculo do numero "N"

CALCULO DO NUMERO N										
DADOS BASICOS		Taxa de Crescimento			Fatores de Veículos		Tipo de Pista (simples / dupla)	Fator de Pista	Fator Climático	Período de Projeto
		AUTO	ONIBUS	CAMINHÕES	AASHTO	USACE				
		3%	3%	3%	1,253	4,556				
ANO	VIDA PAV.	AUTO	ONIBUS	CAMINHÕES	VDM TOTAL	VDM COM.	NP - AASHTO		NP - USACE	
							NO ANO	ACUMULADO	NO ANO	ACUMULADO
2009		2583	149	1707	4439	1856				
2010		2660	153	1758	4571	1911				
2011	1	2740	158	1811	4709	1969	4,50E+05	4,50E+05	1,64E+06	1,64E+06
2012	2	2833	163	1865	4850	2028	4,64E+05	9,14E+05	1,69E+06	3,33E+06
2013	3	2907	168	1921	4996	2089	4,78E+05	1,39E+06	1,74E+06	5,06E+06
2014	4	2994	173	1979	5146	2152	4,92E+05	1,88E+06	1,79E+06	6,85E+06
2015	5	3064	178	2038	5300	2216	5,07E+05	2,39E+06	1,84E+06	8,69E+06
2016	6	3177	183	2099	5459	2282	5,22E+05	2,91E+06	1,90E+06	1,06E+07
2017	7	3272	188	2162	5622	2350	5,37E+05	3,45E+06	1,95E+06	1,25E+07
2018	8	3370	194	2227	5791	2421	5,54E+05	4,00E+06	2,01E+06	1,46E+07
2019	9	3471	200	2294	5965	2494	5,70E+05	4,57E+06	2,70E+06	1,66E+07
2020	10	3575	206	2363	6144	2569	5,87E+05	5,16E+06	2,14E+06	1,88E+07
2021	11	3682	212	2434	6328	2646	6,05E+05	5,77E+06	2,20E+06	2,10E+07
2022	12	3792	218	2507	6517	2725	6,23E+05	6,39E+06	2,27E+06	2,32E+07
2023	13	3906	225	2582	6713	2807	6,42E+05	7,03E+06	2,33E+06	2,56E+07
2024	14	4023	232	2659	6914	2891	6,61E+05	7,69E+06	2,40E+06	2,80E+07
2025	15	4144	239	2739	7122	2978	6,81E+05	8,37E+06	2,48E+06	3,04E+07
2026	16	4268	246	2821	7335	3067	7,01E+05	9,07E+06	2,55E+06	3,30E+07
2027	17	4396	253	2906	7555	3159	7,22E+05	9,80E+06	2,63E+06	3,56E+07
2028	18	4528	261	2993	7782	3254	7,44E+05	1,05E+07	2,71E+06	3,83E+07
2029	19	4664	269	3083	8016	3352	7,67E+05	1,13E+07	2,79E+06	4,11E+07
2030	20	4804	277	3175	8256	3452	7,89E+05	1,21E+07	2,87E+06	4,40E+07

Fonte: DNIT 2010.

#### 4.7 ESTUDOS GEOTÉCNICOS

Os estudos geotécnicos realizados com os materiais retirados da jazida são demonstrados nas Figuras 10 (*in natura*) e 11 (com mistura).

Segundo os estudos geotécnicos para o dimensionamento do projeto, o período de projeto adotado foi de 10 anos, para o revestimento, e 15 anos, para as camadas granulares.

A partir dos estudos de jazidas e ocorrências de materiais, apresentados nos Estudos Geotécnicos, definiram-se os materiais para compor a estrutura do pavimento:

- revestimento: Concreto Betuminoso Usinado à Quente (CBUQ);
- base das pistas principais: Solo melhorado com cimento e areia (teor 10% de areia e 3% de cimento);
- base das ruas laterais: Solo estabilizado granulometricamente sem mistura
- sub-base: Solo estabilizado granulometricamente sem mistura.

Figura 10 - Características físicas e mecânicas jazida J1 in natura

INDICAÇÕES GERAIS											
MATERIAL		CASCALHO									
LOCALIZAÇÃO		---									
DISTÂNCIA DO EIXO		3,1km									
PROPRIETÁRIO		LÁZARO PEREZ MARQUES									
END. DO PROPIETÁRIO		---									
BENFEITORIAS		---									
TIPO DE VEGETAÇÃO		---									
ÁREA		126.000 m <sup>2</sup>									
VOLUME DO EXPURGO		12.600 m <sup>3</sup>									
VOLUME UTILIZÁVEL		214.200 m <sup>2</sup>									
PROFUNDIDADE MÉDIA UTILIZÁVEL		1,7m									
CAMADA VEGETAL		0,20 cm									
MALHAS		60 x 60									
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS											
ENS. DE CARACT. AMOSTRAS		$\bar{X}$	$\mathcal{P}$	X min.	X máx.	COMPACTAÇÃO E ISC. AMOSTRAS		$\bar{X}$	$\mathcal{P}$	X min.	X máx.
GRANULOMETRIA % PASSANDO	1"	94,06	4,08	89,97	98,16	AASHTO. NORMAL 44 GOLPES	M.E.A.S. MAX.	1,97	0,05	1,92	2,03
	3/4"	86,21	4,63	81,56	90,85		UMID. ÓTIMA	12,22	1,30	10,92	13,52
	3/8"	65,85	9,55	56,28	75,42		EXP.	0,26	0,27	(0,01)	0,53
	N° 4	45,18	9,39	35,76	54,59		I.S.C.	63,49	10,00	53,47	73,51
	N° 10	35,10	9,95	25,12	45,08						
	N° 40	28,32	7,65	20,65	35,98						
	N° 200	18,71	4,63	14,06	23,35						
L.L.		37,13	4,31	32,80	41,45						
I.P.		11,99	1,43	10,56	13,42						
E.A.		---	---	---	---						
IG.MODAL											
CLASS H.R.B. MODAL											

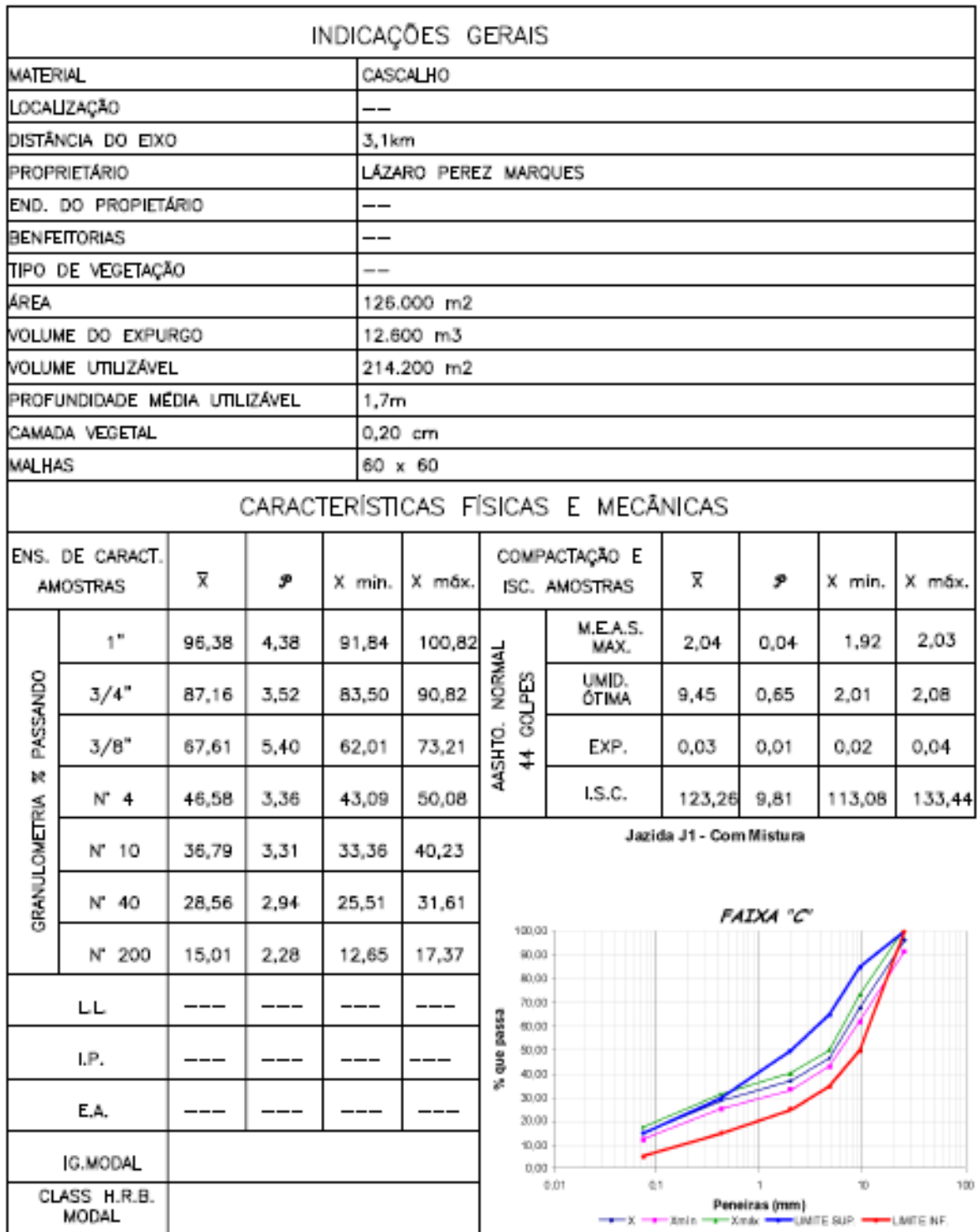
FAIXA °C

% que passa

Peneiras (mm)

Fonte: DNIT 2010.

Figura 11 - Características físicas e mecânicas jazida J1 com mistura



Fonte: DNIT 2010

## 4.8 METODOLOGIA

Para o dimensionamento do pavimento, o projetista adotou as seguintes metodologias:

- a) “Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis” de autoria do Eng.º Murilo Lopes de Souza, versão 1996, oficial do DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura Transporte;
- b) método da Resiliência elaborado pelos engenheiros Salomão Pinto & Ernesto Preussler, publicado em 1994.

### 4.8.1 Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis

#### 4.8.1.1 Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso

A espessura mínima de revestimento betuminoso depende do valor do Número N de repetição do eixo padrão de 8,2 t, considerando a metodologia do Corpo de Engenheiros do exército Norte-Americano (USACE), como se apresenta no quadro a seguir. Foi considerado um período de projeto de 10 anos, de acordo com o Estudo de Tráfego, o número “N” da USACE é igual  $1,88 \times 10^7$  assim determinando a espessura do revestimento conforme o Quadro 1.

**Quadro 1** - Espessura mínima do revestimento betuminoso

Numero N	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamento Superficiais Betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 5 \times 10^7$	Revestimentos betuminosos com 7,5 cm de espessura
<b><math>10^7 &lt; N \leq 5 \times 10^7</math></b>	<b>Revestimentos betuminosos com 10,0 cm de espessura</b>
$N > 5 \times 10^7$	Revestimentos betuminosos com 12,5 cm de espessura

Fonte: DNIT 2010.

Desta maneira, por meio de uma regra de três simples obtêm-se valores intermediários. Assim sendo, para  $N = 1,88 \times 10^7$ , a espessura mínima indicada para o revestimento betuminoso será de 8,5 cm, para o pavimento a ser implantado.

#### 4.8.1.2 Espessura Mínima de Camadas Granulares

Neste estudo de caso camadas granulares foram calculadas por meio de inequações inerentes ao método, com a espessura total do pavimento, em termos de material padrão, extraída do ábaco de dimensionamento do método, função do valor do número “N” de projeto e do valor do CBRproj.

#### 4.8.1.3 Base

Segundo a projetista, para o dimensionamento da espessura da camada de base (B) admitiu-se um período de projeto de 15 anos, com número “N” igual a  $1,88 \times 10^7$ . Deste modo obteve-se:

$$R \times K_R + B \times K_B \geq H_{20} \quad (2)$$

E substituindo, tem-se:

$$8,5 \times 2,0 + B \times 1 \geq 29$$

$$B = 29,0 - 17,0$$

$$B = 12,0 \text{ cm}$$

A espessura adotada para a base foi igual a 15 cm.

#### 4.8.1.4 Sub-base

Semelhante à camada de base, o dimensionamento foi feito através das inequações do método utilizando-se os seguintes parâmetros: número  $N = 1,88 \times 10^7$  e  $\text{CBR}_{\text{proj}} = 10\%$ . Utilizando-se as inequações, obteve-se:

$$R \times K_R + B_B \times K_B + S_B \times K_{SB} \geq H_M \quad (3)$$

E substituindo, vem:

$$8,5 \times 2,0 + 15 \times 1 + S_B \times 1 \geq 44$$



$$S_B = 44 - 32 = 12 \text{ cm}$$

A espessura adotada para a sub-base foi igual a 15 cm

#### 4.8.2 Método da Resiliência Salomão Pinto & Ernesto

##### 4.8.2.1 Espessura total do Pavimento

Considera-se o CBR do subleito (igual a 10%), juntamente com parâmetro de tráfego  $N$  (USACE) para período de projeto de 10 anos (igual a  $1,88 \times 10^7$ ), utilizando a seguinte equação:

$$Ht = 77,67 \times N^{0,0482} \times CBR^{-0,598} \quad (4)$$

E substituindo, vem:

$$Ht = 77,67 \times (1,88 \times 10^7)^{0,0482} \times 10^{-0,598} = 43,94 \text{ cm}$$

##### 4.8.2.2 Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso

Primeiramente, nesse método deve ser feita uma classificação dos solos do subleito quanto às suas características resilientes em função do Índice de Suporte Califórnia (CBR) e porcentagem de silte (S), conforme o Quadro 2.

**Quadro 2- CBR Subleito.**

CBR (%)	S (%)		
	≤ 35	35 a 65	> 65
≥ 10	I	II	III
6 a 9	II	II	III
2 a 5	III	III	III

Fonte: DNIT 2010.

Neste trecho os solos do subleito foram considerados, a partir de análise dos Estudos geotécnicos, como solo tipo II, definindo-se, assim, de acordo com o que determina o método

(considerando que a espessura da camada granular é inferior a 45 cm), os valores de duas constantes  $I_1$ , e,  $I_2$  relacionadas a estas características resilientes dos solos, iguais a:

$$I_1 = 1 \text{ e } I_2 = 2.$$

O parâmetro defletoométrico a ser considerados por esse método consiste na obtenção da deflexão admissível ( $D_{adm}$ ), em função do parâmetro de tráfego N da USACE para período de projeto de 10 anos (igual a  $1,88 \times 10^7$ ), por meio da seguinte expressão:

$$\log D_{adm} = 3,148 - 0,188 \log N_{USACE} \quad (5)$$

Sendo que a deflexão de projeto DP deve satisfazer a condição:  $D_P < D_{adm}$ . Assim sendo, substituindo na equação:

$$\log D_{adm} = 3,148 - 0,188 \log 1,88 \times 10^7$$

$$D_{adm} = 60,32 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Adotando para atendimento da condição de projeto

$$D_P < 60 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

O cálculo da espessura mínima do revestimento betuminoso (HCB), em função da deflexão de projeto ( $D_P$ ) e das constantes  $I_1$  e  $I_2$ , pela fórmula:

$$HCB = -5,737 + \frac{807,961}{D_P} + 0,972 \times I_1 + 4,101 \times I_2 \quad (6)$$

E substituindo, vem:

$$HCB = -5,737 + \frac{807,961}{60} + 0,972 \times 1 + 4,101 \times 0 = 8,7 \text{ cm}$$

A espessura adotada para o revestimento foi igual a 8,5 cm

#### 4.8.2.3 Utilização de um Valor Estrutural do revestimento Betuminoso (VE)

Este método determina valores mais rigorosos que o coeficiente  $k = 2,0$ , determinado pelo Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis para concretos asfálticos, pois considera as características elásticas da estrutura do pavimento. Assim sendo, determina-se o valor estrutural do revestimento betuminoso (VE), de acordo com o tipo do subleito e com o parâmetro de tráfego  $N$ . Para o trecho em estudo o VE é igual a 2,8, como mostra a Tabela 8.

**Tabela 8** - Valor estrutural para revestimento betuminoso

Tipo de Subleito	Valor Estrutural (VE)				
	$N = 10^4$	$N = 10^5$	$N = 10^6$	$N = 10^7$	$N = 10^8$
I	4,0	4,0	3,4	2,8	2,8
II	3,0	3,0	3,0	2,8	2,8
III	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

Fonte: DNIT 2010.

#### 4.8.2.4 Determinação da espessura da camada granular (HCG)

Consideram-se como camadas granulares a base e a sub-base do pavimento, determinando-se, assim, uma espessura de camada granular (HCG), pela seguinte equação:

$$HCB \times V_E + HCG = H_T \quad (7)$$

Onde o valor estrutura  $V_E$  foi retirado a partir de dados apresentados no Quadro 4.13

E substituindo, vem:

$$HCG = 43,94 - 8,5 \times 2,8 = 20,14 \text{ cm}$$

#### 4.8.2.5 Determinação da espessura das camadas de base e sub-base (HR)

A espessura da sub-base (ou reforço) é determinada pela seguinte equação:

$$HR = \frac{(H_{T1} - H_{T2})}{0,7} \quad (8)$$

Onde:

$H_{T1}$  = espessura equivalente correspondente ao CBR do subleito (10%);

$$H_{T1} = 77,67 \times (1,88 \times 10^7)^{0,0482} \times 10^{-0,598} = 43,94 \text{ cm}$$

$H_{T2}$  = espessura equivalente correspondente ao CBR da sub-base (20%).

$$H_{T2} = 77,67 \times (1,88 \times 10^7)^{0,0482} \times 20^{-0,598} = 29,03 \text{ cm}$$

E substituindo, vem:

$$H_{T1} = 43,94 \text{ cm}$$

$$H_{T2} = 29,03 \text{ cm}$$

$$HR = \frac{(43,94 - 29,03)}{0,7} = 21,3 \text{ cm}$$

A espessura adotada para a sub-base foi igual a 20 cm.

Como a espessura granular encontrada (igual a 21,3 cm), abrange a base e a sub-base (adotada igual a 20 cm), adotou-se para a camada de base espessura mínima de 15 cm.

#### 4.9 RESUMO DO DIMENSIONAMENTO E DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA DO PAVIMENTO

A partir dos resultados obtidos com as duas metodologias abordadas, apresenta-se um resumo do dimensionamento efetuado, como mostra a Tabela 9.

**Tabela 9** - Resumo do dimensionamento

Camada	Espessuras (cm)	
	Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis (Murilo Lopes de Souza)	Método da Resiliência (Preussler & Pinto)
Revestimento (CBUQ)	8,5	8,5
Base (Solo Melhorado com Cimento e Areia)	15	15
Sub-base (Solo Estabilizado)	15	20

Fonte: DNIT 2010.

A estrutura do pavimento definida em função do dimensionamento efetuado é a seguinte:

- a) revestimento: Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CBUQ), espessura = 8,5 cm;
- b) base: Solo melhorado c/cimento (3%) e areia (10%), espessura = 15 cm;
- c) sub-base: Solo estabilizado granulometricamente, espessura = 20 cm;

A estrutura definida levou em consideração, além dos resultados dos métodos de dimensionamento, algumas características particulares do segmento, tais como: a existência de segmentos em rampas mais acentuadas que promoverão maior tempo de aplicação da carga sobre a estrutura, principalmente por ser uma região de lençol freático elevado, com o subleito apresentando muita umidade, isso motivou principalmente a adoção de uma camada granular mais espessa.

Também se considerou adequada à utilização da última camada de CBUQ, executada com Asfalto Polímero, proporcionando um aumento da vida útil do pavimento em função do menor envelhecimento do revestimento sob a ação dos agentes atmosféricos. Deste modo, aplicou-se um coeficiente de redução de 30% da espessura de CBUQ convencional. Esta redução tem sido adotada em função da melhor resposta elástica que conduz a uma maior vida de fadiga.

- a) 2º camada de revestimento: CBUQ com asfalto polímero, espessura = 3,5 cm;
- b) 1º camada de revestimento: CBUQ convencional, espessura = 4,0 cm;
- c) base: solo melhorado c/cimento (3%) e areia (10%), espessura = 15 cm;
- d) sub-base: Solo estabilizado granulometricamente, espessura = 20 cm;

## 5 ACOMPANHAMENTO E EXECUÇÃO DAS OBRAS

Existem duas maneiras de se executar o solo-cimento. A primeira delas é um método mais simples, conhecido como rasga saco. Calcula-se o volume de areia e cimento para determinada espessura e largura da base, cujo volume de areia, e despejado, segundo a Figura 12 ,e depois são distribuídos uniformemente os sacos de cimento em toda a área da base a ser executada, conforme a Figura 13. Em seguida, os equipamentos para mistura do material iniciam a homogeneização do solo-cimento. Os equipamentos mais utilizados são os tratores com grades, caminhão pipa e motoniveladoras, para homogeneizar toda essa camada granular conforme as Figuras 14 e 15.

**Figura 12** - Colocação da areia para a mistura.



Fonte: Próprio autor 2015

**Figura 13** - Disposição de sacos de cimento.



Fonte: Próprio autor 2015

**Figura 14** - Trator de grade homogeneizando o material.



Fonte: Próprio autor 2015

**Figura 15** - Motoniveladora homogeneizando o material.



Fonte: Próprio autor 2015

A segunda maneira seria o solo-cimento processado em usina como mostra a Figura 16. Neste trabalho, optou-se pelo acompanhamento de obras executadas conforme a metodologia do solo-cimento usinado que, visando a qualidade, por ser uma rodovia federal com um tráfego de cargas muito elevado, conforme o estudo de trafego aponta.



**Figura 16** - Usina de solo-cimento.



Fonte: Próprio autor 2015

A execução dos serviços se dá início desde as sondagens e análise das amostras da jazida, fazendo ensaios como: granulometria (DNER-ME 080/94), limite de liquidez, e plasticidade (DNER-ME 082/94) como mostra as Figuras 17, 18 e 19.

**Figura 17** - Ensaio de granulometria.



Fonte: Próprio autor 2015



**Figura 18** - Ensaio de limite de liquidez.



Fonte: Próprio autor 2015

**Figura 19** - Ensaio de limite de plasticidade.



Fonte: Próprio autor 2015

Em seguida se é estabelecido à umidade ótima, ensaio de compactação (DNER-ME 162/94). Logo após essas amostras são imersas durante 72 horas para verificar sua expansão (Norma DNIT 160/2012 – ME) conforme a Figura 20, e rompidas na prensa para encontrar o valor do CBR (DNER-ME 049/94) como mostra a Figura 21.

**Figura 20** - Amostras imersas.

Fonte: Próprio autor 2015

**Figura 21** - Ensaio CBR.

Fonte: Próprio autor 2015

.Logo depois de estabelecidos os parâmetros para este material se dá início ao transporte do material da jazida, segundo a Figura 22, para a usina, que por sua vez dosa todos os materiais do traço (areia, cascalho, cimento) e os homogeneiza. Após a homogeneização, o



solo-cimento está pronto para o transporte e, neste caso não pode ultrapassar um longo período desde a sua concepção até sua aplicação e compactação, pois rapidamente se inicia o processo de cura do cimento, e com isso há uma necessidade da usina estar próxima do local da aplicação.

**Figura 22** - Carga e transporte de material da jazida de cascalho.



Fonte: Próprio autor 2015

Nesta obra não se teve este tipo de problema, pois esse material era processado em usinas próximas ao local de aplicação de modo que o tempo máximo de transporte não excederia esse limite de tempo. Sua aplicação é feita por meio de caminhões basculantes que depositam o solo-cimento no local a ser executado, logo após as motoniveladoras e os caminhões pipa vem espalhando e controlando a umidade do material, conforme a Figura 23, que é previamente determinada através dos estudos e ensaios feitos pela equipe técnica do laboratório de solos, e então se dá início ao processo de compactação, que é feita através de rolos compactares, segundo a Figura 24. Após isso a equipe de topografia nivela a base de modo a atender as especificações geométricas do projeto, como mostra a Figura 25, em seguida, a equipe técnica do laboratório verifica a massa específica aparente (DNER 092/94), umidade “*in situ*”, conforme as Figuras 26 e 27, teste de carga, teste de deflexões por viga Benkelman, de cada trecho, segundo as Figuras 28 e 29.

**Figura 23** - Homogeneização e controle da umidade.



Fonte: Próprio autor 2015

**Figura 24** - Compactação através de Rolos Compactores.



Fonte: Próprio autor 2015



**Figura 25** - Nivelamento da Base.



Fonte: Próprio autor 2015

**Figura 26** - Ensaio de densidade e umidade "in situ" 01.



Fonte: Próprio autor 2015

**Figura 27** - Ensaio de densidade e umidade "in situ" 02.



Fonte: Próprio autor 2015

**Figura 28** - Teste de Carga.



Fonte: Próprio autor 2015



**Figura 29** - Ensaio de Deflexão por Viga Benkelman.



Fonte: Próprio autor 2015

Depois de liberada, essa camada granular recebe o tratamento superficial de imprimação, como mostra a Figura 30 para uma melhor cura e evitar a perda de umidade, para que não ocorram fissuras oriundas da retração da mesma.

**Figura 30** - Imprimação



Fonte: Próprio autor 2015

No ato da imprimação, a equipe de laboratório também verifica a taxa de CM-30 por metro quadrado conforme a Figura 31. Após todas essas verificações e ensaios, a base de solo-cimento está pronta pra receber o revestimento betuminoso, conforme pode ser visualizado na Figura 32.

**Figura 31** - Verificação da taxa de CM-30 por metro quadrado.



Fonte: Próprio autor 2015

**Figura 32** - Pavimentação Faixa "B".



Fonte: Próprio autor 2015



#### 4.10 COMPARATIVO ENTRE BASE SOLO-CIMENTO E BASE CONVENCIONAL

Para comparação foram separados ensaios de corpos de prova de dois locais, um moldado com material de base convencional e outro moldado a partir do material de uma base com mistura, seguindo as diretrizes normativas do DNIT para moldagem de corpo de prova. O projeto do estudo de caso foi dimensionado segundo criteriosamente as metodologias e normas vigentes, no qual foi determinado que para a pista principal o CBR do subleito  $\geq 10\%$ , sub-base CBR  $\geq 20\%$ , e a base com o CBR  $\geq 80\%$ , e para as ruas laterais foi mantido os mesmos valores para subleito e sub-base e mudando apenas o CBR da base para  $\geq 70\%$  devido a menor exigência de resistência pelo fato do tráfego ser reduzido. Os resultados dos ensaios da base convencional apresentam resultados desejáveis porém não sendo o suficiente para comportar as exigências do projeto em relação às pistas principais, mas as ruas laterais devido a uma estimativa de que o tráfego sobre elas seria de aproximadamente 10% do tráfego total da pista principal, de modo que a base convencional supre as exigências mínimas (CBR  $\geq 70\%$ ).

Com a adição dessa mistura (87% solo, 10% areia, 3% Cimento) houve um aumento significativo no ICS, e uma diminuição na expansão do material. Sendo uma comparação não exata, pois os ensaios foram realizados em corpos de provas coletado de diferentes locais, porém sendo o mesmo material da mesma jazida de cascalho, de modo que as características físicas de ambos os materiais são semelhantes podendo-se montar um quadro comparativo, conforme mostra a Tabela 10, montada a partir dos dados retirados dos ensaios das Figuras 35, 36, 37, e 38 no anexo A.

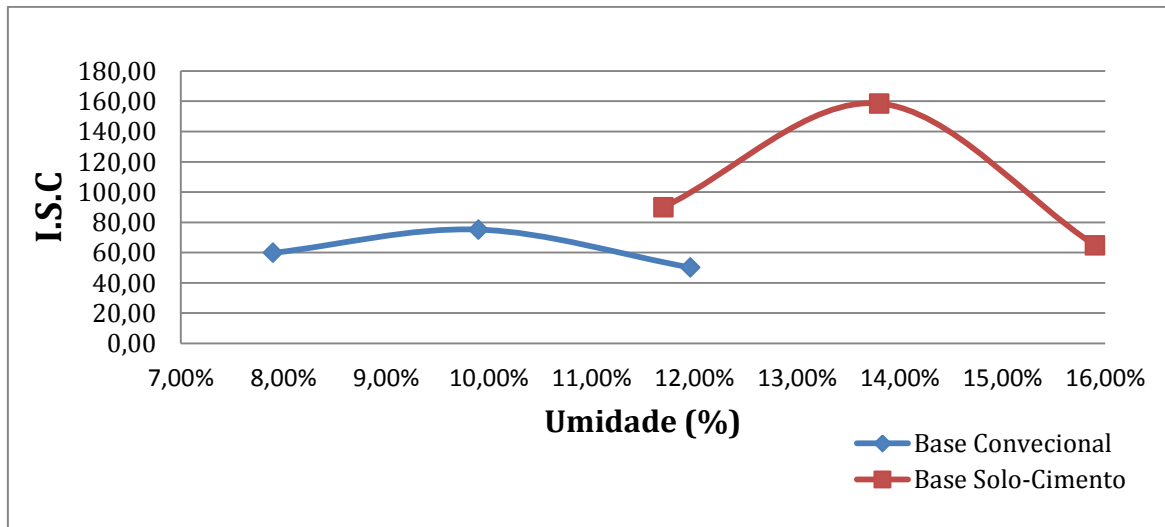
**Tabela 10 - Resumo Comparativo**

Base Solo-Cimento			Base Convencional		
DENS. MÁX.	2,093	g/cm <sup>3</sup>	DENS. MÁX.	2,057	g/cm <sup>3</sup>
UMID. HOT.	14,3	%	UMID. HOT.	10,4	%
I.S.C.	151,0	%	I.S.C.	72,9	%
EXP.	0,05	%	EXP.	0,14	%

Fonte: Próprio autor 2015.

Com a adição dessa mistura os resultados dos ensaios mostra que a base de solo-cimento atende as necessidades e também se mostrando ser muito mais resistente do que o solicitado em projeto. Conforme mostra o gráfico comparativo na Figura 33.

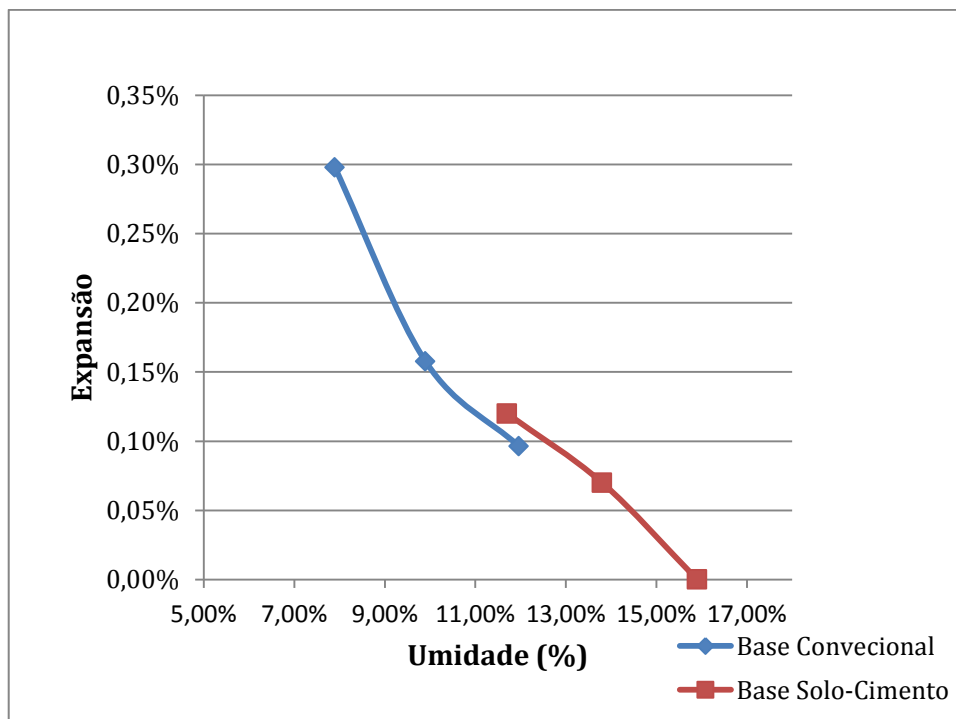
**Figura 33 - Comparativo do I.S.C.**



Fonte: Próprio autor 2015

E não somente o acréscimo de resistência devido ao solo-cimento, mas também uma baixa significativa na expansão desse material quando imerso em água, conforme mostra o gráfico na Figura 34.

**Figura 34 - Comparativo de expansão.**



Fonte: Próprio autor 2015

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso da base de solo cimento com o passar dos anos vem aumentando muito, devido o cimento ser um dos tipos de aditivos para solos mais baratos do mercado em também vem sendo cada vez mais necessário o aumento de resistência das rodovias.

Neste trabalho, o projeto do estudo de caso optou pela escolha da base melhorada com solo-cimento, pois apresenta um melhor desempenho do que as bases convencionais, sem mistura. Este tipo de base de alto desempenho foi escolhido devido ao crescente tráfego de veículos, tanto de passeio, quanto de transporte de pessoas e cargas, pois se tem um elevado aumento da capacidade e volume das cargas a ser transportadas por esses veículos, assim solicitando mais do pavimento.

Depois de realizados os ensaios laboratoriais necessários e com seus resultados obtidos, pode-se avaliar o desempenho estrutural da rodovia focando neste trabalho em uma das camadas da estrutura do pavimento que seria a base, assim sendo possível avaliar o desempenho estrutural da base com mistura (Solo-Cimento).

Por meio dos resultados obtidos pelos ensaios, verificou-se que com a adição dessa mistura (87% solo, 10% areia, 3% Cimento) houve um aumento de 103,57% no I.S.C, e uma baixa de 280% na expansão, quando saturado. Provando assim, a eficiência da base solo-cimento perante a base convencional, não apenas pela sua resistência, mas também por sua baixa expansão.

Para trabalhos futuros, sugere-se o estudo do bota-fora, visando o custo benefício referente ao transporte, gastos com proteção ambiental, uma vez que tratado o material de bota fora ele pode ser utilizado para alguma camada da rodovia, mesmo não sendo uma camada de base, mas uma camada que recebe menos contribuição de cargas, como uma sub-base ou mesmo uma camada qualquer da terraplanagem, assim economizando com o transporte para o descarte deste material quanto no seu tratamento, como espalhamento e compactação no local de seu depósito. Em relação ao meio ambiente, esse tratamento possui muitos fatores positivos, pois reduz a quantidade de material a ser despachado, diminuindo o volume de material retirado das jazidas e também a área utilizada para sua acomodação, de modo que é reduzido o impacto ambiental.

Do ponto de vista econômico, a utilização do solo-cimento reduz também gastos com recomposições vegetais e isolamento desta área com cercas ou outros tipos de confinamentos. Assim, fica claramente visível a necessidade de estudos mais detalhados para verificação da

viabilidade de seu uso, onde deve ser levado em conta do ponto de vista econômico, como também do ponto de vista estrutural e ambiental.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 12253 (1992). “Solo-Cimento – Dosagem para Emprego como Camada de Pavimento”. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_ - NBR 11798:2012, Materiais para base de solo-cimento — Requisitos. Publicada no dia 20 de agosto, a norma estabelece os requisitos para materiais utilizados na execução de camadas de base de pavimentos de solo-cimento.

\_\_\_\_\_ - NBR 12023:2012, Solo-cimento — Ensaio de compactação. Publicado no dia 16 de agosto, a norma estabelece os métodos para determinar a relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca de misturas de solo e cimento, sem reuso do material, quando as mesmas são compactadas com energia normal.

\_\_\_\_\_ NBR 12023:2012, Solo-cimento — Ensaio de compactação. Publicado no dia 16 de agosto, a norma estabelece os métodos para determinar a relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca de misturas de solo e cimento, sem reuso do material, quando as mesmas são compactadas com energia normal.

\_\_\_\_\_ NBR 12024:2012, Solo-cimento — Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos.

\_\_\_\_\_ NBR 12024:2012, Solo-cimento — Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos — Procedimento. A norma, publicada no dia 16 de agosto, estabelece dois métodos aplicáveis para moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos de solo-cimento.

\_\_\_\_\_ NBR 12025:2012, Solo-cimento — Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos — Método de ensaio. Publicada no dia 17 de agosto, esta norma estabelece o método de ensaio de resistência à compressão simples de corpos de prova cilíndricos de solo-cimento.

\_\_\_\_\_ NBR 12025:2012, Solo-cimento — Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos — Método de ensaio. Publicada no dia 17 de agosto, esta norma estabelece o método de ensaio de resistência à compressão simples de corpos de prova cilíndricos de solo-cimento.

\_\_\_\_\_ NBR 12253:2012, Solo-cimento — Dosagem para emprego como camada de pavimento. Publicada no dia 20 de agosto, a norma estabelece requisitos para determinação da quantidade de cimento Portland utilizados como camada de pavimento solo-cimento.

\_\_\_\_\_ NBR 16096:2012, Solo-cimento — Determinação do grau de pulverização — Método de ensaio. Publicada no dia 17 de agosto, a norma estabelece o método para determinação do grau de pulverização do solo para execução de base de solo-cimento.

\_\_\_\_\_ NBR 16096:2012, Solo-cimento — Determinação do grau de pulverização — Método de ensaio. Publicada no dia 17 de agosto, a norma estabelece o método para determinação do grau de pulverização do solo para execução de base de solo-cimento.

Associação de Brasileira de Cimento Portland. **Solo Cimento**. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/aplicacoes/solo-cimento#.VDPIOGddWyo>> Acesso em: 15 de setembro 2014.

BALBO, J. T., **Pavimentação asfáltica – materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de textos, 2007.

BOLIS B.; RENZO, A. di. **Pavimentazioni stradali**. Hoepli, Milano, 1949.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAES E RODAGENS /PR ES 11/05, Pavimentação: Solo-cimento e solo tratado com cimento Especificações de Serviços Rodoviários.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGENS - ME 049/94 Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas.

\_\_\_\_\_ -ME 080/94 Solos – Análise granulométrica por peneiramento

\_\_\_\_\_ -ME 082/94 Solos – Determinação do Limite de Plasticidade

\_\_\_\_\_ -ME 162/94 Solos – Ensaio de compactação utilizando amostras trabalhadas.

LIMA, T. V. **Estudo da produção de blocos de solo-cimento com solo do núcleo urbano da cidade de Campos dos Goytacazes RJ**. Teste de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos dos Goytacazes, 2006.

MACEDO, Mirtes Maria de. **Solos modificados com cimento – efeito no módulo de resiliência e no dimensionamento de pavimentos**. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Engenharia civil, 2004.

MALANCONI, Mauricio. **Considerações sobre misturas de solos tropicais estabilizados quimicamente para o uso como camada de pavimento urbano**. Dissertação (pós-graduação) Universidade Federal de São Carlos, Engenharia Urbana, 2013.

MARANGON, M.; MOTTA, L. M. G. (2002). **Aplicação do Método Simplificado de Classificação Geotécnica MCT no Estudo de um Solo Laterítico**. 33ª Reunião Anual de Pavimentação, Florianópolis/SC.

MARCONDES, M.G.; CASANOVA, F. J. (1992). **Parâmetros Estatísticos da Dosagem Físico-química do Solo-Cimento**. 26ª Reunião Anual de Pavimentação, Aracajú-SE.

MONTE, Manuel Alexandre Valentim do. **Aplicação de solo-cimento em pavimentos flexíveis**. Dissertação (mestrado) Faculdade de Engenharia Universidade do Porto. Engenharia Civil, 2012.

NORMA DNIT 143/2010 – ES, Pavimentação – Base de solo-cimento - Especificação de serviço.

NORMA DNIT 160/2012– ES, Pavimentação – Base de solo-cimento - Especificação de serviço.

OLIVEIRA, Rodrigo Fidelis Viana de. **Análise de dois solos modificados com cimento para dimensionamento de pavimentos**. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Ouro Preto. Engenharia Geotécnica, 2011.

PEREIRA, Kiev Luís de Araújo. **Estabilização de um solo com cimento e cinza de lodo para uso em pavimentos**. Dissertação (pós-graduação) Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Engenharia Civil, 2012.

PITTA, M. R. (1997). **Pequeno Histórico da Estabilização de Solos com Cimento** ABPv. Boletim Informativo, nº 158 maio/junho.

POLÍTICAS DE INFRAESTRUTURA PPA 2012-2015. Ministério do Planejamento Disponível em:<[www.planejamento.gov.br/.../spi/.../mp\\_005\\_dimensao\\_tatico\\_infra.pdf](http://www.planejamento.gov.br/.../spi/.../mp_005_dimensao_tatico_infra.pdf)> Acesso em: 15 de setembro 2014.

PROJETO EXECUTIVO DE ENGENHARIA PARA DUPLICAÇÃO E ADEQUAÇÃO DE CAPACIDADE E SEGURANÇA DA RODOVIA BR-153/GO – Contorno de Anápolis DNIT 2010.

SANBONSUGE, Kendi. **Comportamento mecânico e desempenho em campo de base de solo-cimento**. Dissertação (mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Engenharia de Transportes, 2013.

SANTOS, M. P. (1951). **Ensaio normais de Solo-cimento**, Sociedade de Estudos da Colônia de Moçambique, Lourenço Marques (Maputo).



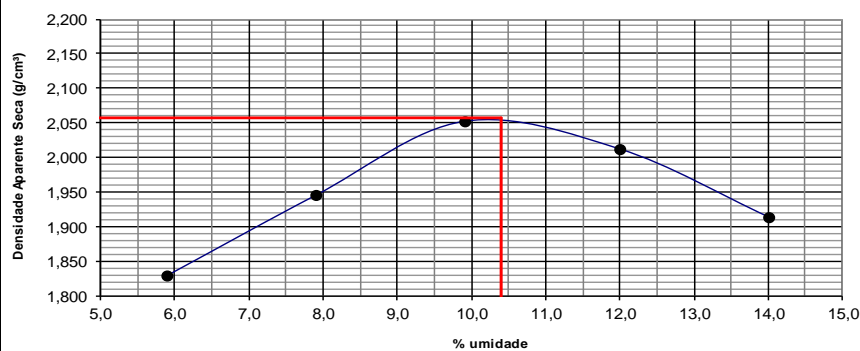
UELSE, Reginald. **Uma avaliação dos transportes rodoviários no Brasil na década de setenta**. Revista administração de empresas, São Paulo, ano 6, vol.14, nov. 1974. Disponível em:<[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0034-75901974000600002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0034-75901974000600002&script=sci_arttext)>

## **ANEXOS**





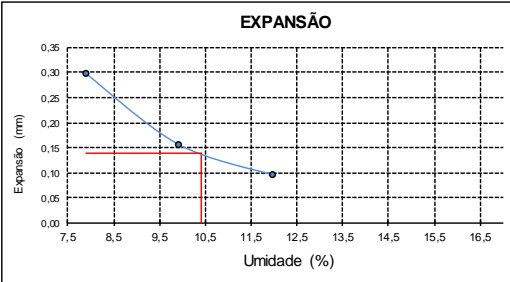
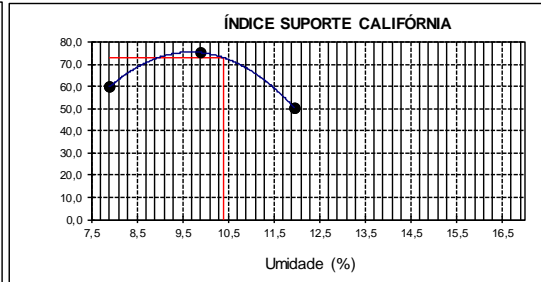
## ANEXO A

Figura 35 - Ensaio de Compactação Base Convencional

		<b>COMPACTAÇÃO</b>				OBRA: 
CAMADA/ESTUDO: BASE	MATERIAL: CASCALHO LATERITA	ESTACA/FURO: 713-722	PROFUNDIDADE:	REGISTRO Nº:		
CÁPSULA Nº CÁPSULA + SOLO + ÁGUA CÁPSULA + SOLO ÁGUA CÁPSULA SOLO % UMIDADE UMIDADE MÉDIA					UMIDADE HIGROSCÓPICA	
					7	9
					99,89	97,86
					98,66	96,75
					1,23	1,11
					24,12	21,04
					74,54	75,71
				1,65	1,47	
				1,6		
UMIDADE CALCULADA	5,9	7,9	9,9	12,0	14,0	PESO MATERIAL UMIDO g
ÁGUA ADICIONADA (g)	250	370	490	610	730	6.000
% ÁGUA ADICIONADA	4,2	6,2	8,2	10,2	12,2	PESO MATERIAL SECO g
Nº DO CILINDRO	007	019	001	009	020	5.906
MASSA DO CILINDRO	4.711	4.751	4.705	4.724	4.955	% MATERIAL RET. PEN. Nº 4
MASSA + SOLO + ÁGUA	8.753	9.138	9.429	9.433	9.500	67,1
SOLO + ÁGUA	4.042	4.387	4.724	4.709	4.545	ESPESSURA DO DISCO mm
VOLUME DO CILINDRO	2.088	2.090	2.095	2.090	2.083	6,05
DENSIDADE ÚMIDA	1.936	2.099	2.255	2.253	2.182	CAMADAS
DENSIDADE CONVERTIDA	1.858	1.976	2.084	2.044	1.945	BASE
DENSIDADE SECA	1.829	1.945	2.052	2.012	1.914	Nº DE GOLPES: 26
<b>DENSIDADE APARENTE</b>						<b>RESUMO</b>
						DENS. MÁX. 2,057 g/cm³ UMID. HOT. 10,4 % I.S.C. 72,9 % EXP. 0,14 % I.G. 1 % T.R.B. A2 - 6
OBSERVAÇÃO: RUA LATERAL LADO ESQUERDO						
LABORATÓRIO:		FISCALIZAÇÃO:			DATA: 02/08/2014	

Fonte: DNIT 2014.

**Figura 36 - Ensaio de Índice de Suporte Califórnia e expansão Base Convencional**

 <b>ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA E EXPANSÃO</b>												OBRA: 		
CAMADA/ESTUDO: BASE			MATERIAL: CASCALHO LATERITA			ESTACA/FURO: 713-722		PROFUNDIDADE:		REGISTRO Nº:				
ENSAIO DE EXPANSÃO														
CILINDRO			CILINDRO 019			CILINDRO 001			CILINDRO 009			CILINDRO		
DATA	HORA	LEITURA	DATA	HORA	LEITURA	DATA	HORA	LEITURA	DATA	HORA	LEITURA	DATA	HORA	LEITURA
		-	02/08/14		1,00	02/08/14		1,00	02/08/14		1,00			-
		-	06/08/14		1,34	06/08/14		1,18	06/08/14		1,11			-
DIFERENÇA			DIFERENÇA 0,34			DIFERENÇA 0,18			DIFERENÇA 0,11			DIFERENÇA		
EXPANSÃO %			EXPANSÃO 0,30 %			EXPANSÃO 0,16 %			EXPANSÃO 0,10 %			EXPANSÃO %		
Const. Anel: 0,1137			PENETRAÇÃO											
CILINDRO Nº	PENETRAÇÃO (mm)		0,63	1,27	1,90	2,54	3,81	5,08	6,35	7,62	8,89	10,16	12,7	
	TEMPO (min)		0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	10,0	
	LEITURA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	PRESSÃO (kg/cm²)													
	CORREÇÃO													
	I.S.C.													
019	LEITURA		115	220	322	370	485	505	560	605				
	PRESSÃO (kg/cm²)		13,1	25,0	36,6	42,1	55,1	57,4	63,7	68,8				
	CORREÇÃO													
	I.S.C.					59,8		54,5						
001	LEITURA		145	260	380	465	555	685	775	820				
	PRESSÃO (kg/cm²)		16,5	29,6	43,2	52,9	63,1	77,9	88,1	93,2				
	CORREÇÃO													
	I.S.C.					75,2		73,9						
009	LEITURA		70	125	225	310	390	465	515	580				
	PRESSÃO (kg/cm²)		8,0	14,2	25,6	35,2	44,3	52,9	58,6	65,9				
	CORREÇÃO													
	I.S.C.					50,1		50,2						
	LEITURA		-	-	-	-	-	-	-	-				
	PRESSÃO (kg/cm²)													
	CORREÇÃO													
	I.S.C.													
														
DENS. MÁX.: 2,057			UMID. HOT.: 10,4			ISC : 72,9			EXPANSÃO : 0,14					
OBSERVAÇÃO:														
LABORATÓRIO:						FISCALIZAÇÃO:						DATA: 06/08/2014		



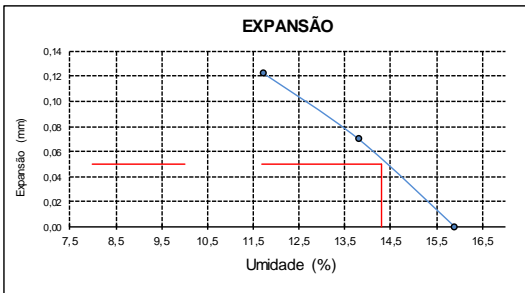
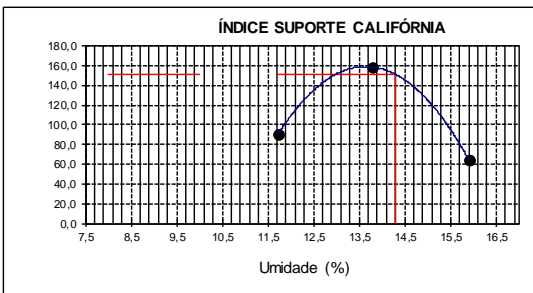
Fonte: DNIT 2014.

Figura 37 - Ensaio de Compactação de Base de Solo-cimento

ENGESPRO		COMPACTAÇÃO				OBRA: DNIT	
CÂMADA/ESTUDO:	MATERIAL:	ESTACA/FURO:	PROFUNDIDADE:	REGISTRO Nº:			
BASE	CASCALHO LATERITA	147-161					
CÁPSULA Nº CÁPSULA + SOLO + ÁGUA CÁPSULA + SOLO ÁGUA CÁPSULA SOLO % UMIDADE UMIDADE MÉDIA						UMIDADE HIGROSCÓPICA	
						9	11
						88,49	89,58
						85,29	86,35
						3,20	3,23
						21,04	13,68
						64,25	72,67
					4,98	4,44	
					4,7		
UMIDADE CALCULADA	9,6	11,7	13,8	15,9	18,0	PESO MATERIAL UMIDO g	
ÁGUA ADICIONADA (g)	280	400	520	640	760	6.000	
% ÁGUA ADICIONADA	4,7	6,7	8,7	10,7	12,7	PESO MATERIAL SECO g	
Nº DO CILINDRO	006	001	013	011	009	5.731	
MASSA DO CILINDRO	4.532	4.705	4.697	4.687	4.724	% MATERIAL RET. PEN. Nº 4	
MASSA + SOLO + ÁGUA	9.036	9.446	9.684	9.686	9.642	59,4	
SOLO + ÁGUA	4.504	4.741	4.987	4.999	4.918	ESPESSURA DO DISCO mm	
VOLUME DO CILINDRO	2.064	2.095	2.097	2.090	2.090	6,05	
DENSIDADE ÚMIDA	2.182	2.263	2.378	2.392	2.353	CAMADAS	
DENSIDADE CONVERTIDA	2.084	2.121	2.188	2.161	2.088	BASE	
DENSIDADE SECA	1.990	2.026	2.090	2.064	1.994	Nº DE GOLPES: 41	
<p style="text-align: center;"><b>DENSIDADE APARENTE</b></p> <p style="text-align: center;">% umidade</p>						<b>RESUMO</b>	
						DENS. MÁX. 2.093 g/cm³	
OBSERVAÇÃO: PISTA ESQUERDA, 10% DE AREIA E 3% CIMENTO						UMID. HOT. 14,3 %	
						I.S.C. 151,0 %	
						EXP. 0,05 %	
						I.G. %	
						T.R.B.	
LABORATÓRIO:	FISCALIZAÇÃO:				DATA:		
					16/08/2014		

Fonte: DNIT 2014.

**Figura 38 - Ensaio de Índice de Suporte Califórnia Base Solo-Cimento e Expansão**

 <b>ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA E EXPANSÃO</b>										OBRA: 					
CAMADA/ESTUDO: BASE			MATERIAL: CASCALHO LATERITA			ESTACA/FURO: 147-161		PROFUNDIDADE:		REGISTRO Nº:					
<b>ENSAIO DE EXPANSÃO</b>															
CILINDRO			CILINDRO 001			CILINDRO 013			CILINDRO 011			CILINDRO			
DATA	HORA	LEITURA	DATA	HORA	LEITURA	DATA	HORA	LEITURA	DATA	HORA	LEITURA	DATA	HORA	LEITURA	
		-	16/08/14		1,00	16/08/14		1,00	16/08/14		1,00			-	
		-	20/08/14		1,14	20/08/14		1,08	20/08/14		1,00			-	
DIFERENÇA			DIFERENÇA 0,14			DIFERENÇA 0,08			DIFERENÇA 0,00			DIFERENÇA			
EXPANSÃO			EXPANSÃO 0,12 %			EXPANSÃO 0,07 %			EXPANSÃO 0,00 %			EXPANSÃO			
Const. Anel: 0,1137			<b>PENETRAÇÃO</b>												
CILINDRO		PENETRAÇÃO (mm)		0,63	1,27	1,90	2,54	3,81	5,08	6,35	7,62	8,89	10,16	12,7	
Nº		TEMPO (min)		0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	10,0	
		LEITURA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		PRESSÃO (kg/cm²)													
		CORREÇÃO													
		I.S.C.													
001		LEITURA		80	165	280	400	6520	835	1040	1180				
		PRESSÃO (kg/cm²)		9,1	18,8	31,8	45,5	741,3	94,9	118,2	134,2				
		CORREÇÃO													
		I.S.C.					64,7		90,1						
013		LEITURA		330	590	780	980	1190	1310	1460					
		PRESSÃO (kg/cm²)		37,5	67,1	88,7	111,4	135,3	148,9	166,0					
		CORREÇÃO													
		I.S.C.					158,5		141,3						
011		LEITURA		55	145	270	380	485	600	690					
		PRESSÃO (kg/cm²)		6,3	16,5	30,7	43,2	55,1	68,2	78,5					
		CORREÇÃO													
		I.S.C.					61,5		64,7						
		LEITURA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		PRESSÃO (kg/cm²)													
		CORREÇÃO													
		I.S.C.													
															
DENS. MÁX.:		2,093		UMID. HOT.:		14,3		ISC:		151,0		EXPANSÃO:		0,05	
OBSERVAÇÃO: PISTA ESQUERDA, 10% DE AREIA E 3% CIMENTO															
LABORATÓRIO:								FISCALIZAÇÃO:				DATA:			
												20/08/2014			