

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MARCELE MARTINS CORDEIRO BARBOSA

MISAEEL MASSAHIRO SATO

**ESTUDO DE CAMPO DO DESEMPENHO E DA
RESISTÊNCIA MECÂNICA DE SOLO MELHORADO COM
CIMENTO**

ANÁPOLIS / GO

2018

MARCELE MARTINS CORDEIRO BARBOSA
MISAEEL MASSAHIRO SATO

**ESTUDO DE CAMPO DO DESEMPENHO E DA
RESISTÊNCIA MECÂNICA DE SOLO MELHORADO COM
CIMENTO**

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

ORIENTADORA: M.^a ISA LORENA SILVA BARBOSA

**COORIENTADOR: M.^o CÉSAR AUGUSTO PAIVA
GONÇALVES**

ANÁPOLIS / GO: 2018

FICHA CATALOGRÁFICA

BARBOSA, MARCELE MARTINS CORDEIRO/ SATO, MISAEL MASSAHIRO

Estudo de campo do desempenho e da resistência mecânica de solo melhorado com cimento.

73P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2018).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

| | |
|-------------------------------|---------------------------------|
| 1. Solo melhorado com cimento | 2. Estabilização |
| 3. Pavimento | 4. Ensaios laboratoriais |
| I. ENC/UNI | II. Bacharel (10 ^o) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BARBOSA, Marcele Martins Cordeiro; SATO, Misael Massahiro. Estudo de campo do desempenho e da resistência mecânica de solo melhorado com cimento. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 73p. 2018.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Marcele Martins Cordeiro Barbosa

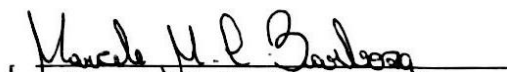
Misael Massahiro Sato

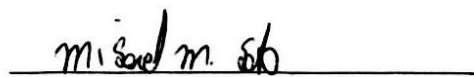
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo de campo do desempenho e da resistência mecânica de solo melhorado com cimento

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2018

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.


Marcele Martins Cordeiro Barbosa
marcelebarbosa@mail.com


Misael Massahiro Sato
misael.sato@hotmail.com

MARCELE MARTINS CORDEIRO BARBOSA

MISAEEL MASSAHIRO SATO

**ESTUDO DE CAMPO DO DESEMPENHO E DA
RESISTÊNCIA MECÂNICA DE SOLO MELHORADO COM
CIMENTO**

**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:



**ISA LORENA SILVA BARBOSA Mestra (UniEvangélica)
(ORIENTADORA)**



**CÉSAR AUGUSTO PAIVA GONÇALVES Mestre (UniEvangélica)
(COORIENTADOR)**



**ROGÉRIO SANTOS CARDOSO, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**



**LUCAS GABRIEL CORRÊA VARGAS, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 26 DE NOVEMBRO DE 2018.

AGRADECIMENTOS

Primordialmente devo agradecer a Deus, que me deu forças e me fez ver que Seus planos são muito maiores que os meus. Não teria iniciado essa jornada se Ele não estivesse acima de tudo na minha vida.

Agradeço imensamente aos meus pais, Deuseluce e Marcos, que sempre me deram apoio, incentivo, compreensão e amor. Consolaram-me e deram-me forças nos meus fracassos e nunca mediram esforços para que eu alcançasse o sucesso.

À minha irmã, Marluce, por todo companheirismo e conselhos. Sempre foi e será minha melhor amiga. Minha família com toda certeza é a quem ofereço essa graduação e todos os meus dias de glória.

Mais um ciclo se encerra. Foram cinco anos de muito amadurecimento, aprendizado e perdas, inclusive de pessoas muito queridas e amadas em minha vida, que ainda fazem muita falta, como minha avó, Maria Cordeiro, que está vendo e abençoando tudo lá de cima.

Quero agradecer também às poucas, mas boas amizades que tive a honra de cativar, em especial minha dupla, Misael Massahiro Sato, que com toda paciência e dedicação auxiliou para que concluíssemos essa fase, te levarei não só como colega de profissão, mas como um grande amigo.

Aos meus mestres, o meu muito obrigado por toda paciência e dedicação, em especial a professora Isa Lorena Silva Barbosa e ao professor César Augusto Paiva Gonçalves, por transmitir seus conhecimentos e sempre estarem dispostos a nos orientar.

“Se você não deixou nada para trás, não saiu do lugar.” (Carpinejar).

Marcele Martins Cordeiro Barbosa

AGRADECIMENTOS

Mais um ciclo que se encerra em minha vida. Foi um caminho difícil, mas tive pessoas que me apoiaram do começo ao fim. Por isso, quero agradecer primeiramente a Deus, por ter conseguido alcançar meus objetivos.

Agradeço à minha Mãe, Maria, por nunca desistir e sempre acreditar na minha capacidade, pois tudo isso é por ela. Agradeço ao meu Pai, Mitsuro, mesmo não estando aqui para ver a conclusão, sei que sempre estará comigo.

À Taynara, agradeço por acreditar em mim quando eu mesmo duvidava da minha capacidade, serei sempre grato. Aos meus irmãos Christiane, Ibrahim e Michelly, agradeço por todas as vezes que precisei e estiveram presente.

Aos meus professores e amigos que fazem parte da minha história, em especial a minha dupla Marcele Barbosa, por ter dado me dado o voto de confiança, obrigado por tudo. À nossa orientadora, professora Isa Lorena e coorientador Cesar Augusto Paiva Gonçalves, que nos ajudou a alcançar nosso objetivo.

Só tenho a agradecer por ter vocês em minha vida, pois estiveram comigo nos bons e maus momentos.

Minha eterna gratidão a todos que fizeram parte deste ciclo.

“A única luta que se perde é aquela que se desiste.” (Touz).

Misael Massahiro Sato.

RESUMO

O cimento tem diversas formas de utilização na pavimentação, uma delas é a estabilização da base do pavimento. O resultado da homogeneização com a dosagem adequada de cimento é um material com alta resistência mecânica, fazendo com que adquira as características necessárias para sua utilização. A aplicação do cimento é uma das alternativas à troca do material em campo, quando o solo nativo não atende às especificações da norma, se tornando, assim, economicamente viável, pois anula o custo com transporte, análise e procura de um novo material. Este tema não é muito estudado no meio acadêmico por não se ter facilidade de acesso à obras que façam esta utilização, apresentando, desta forma, alguns erros e desvantagens que devem ser considerados, como a falta de fiscalização nos métodos de dosagem e a aplicação em campo. Apesar das desvantagens, a funcionalidade do método, ajustada com ensaios laboratoriais de qualidade, tem sido a forma mais utilizada e mais viável economicamente de estabilizar o solo deficiente, pois o cimento na engenharia brasileira é um dos materiais empregados com maior facilidade obtenção. O presente trabalho tem como objetivo analisar detalhadamente todo o processo de utilização e dosagem do solo melhorado com cimento, por meio de estudo de campo com base laboral, buscando fundamentações teóricas a partir de pesquisas em livros, normatizações, dissertações de mestrados, legislações e reportagens, a fim de contextualizar o estudo.

PALAVRAS-CHAVE: Solo Melhorado. Cimento. Pavimento. Estabilização. Ensaio Laboratoriais.

ABSTRACT

The cement has several uses in flooring, one of them is the stabilization of the floor base. The result of the homogenization with proper dosage of cement is a material with high mechanical strength, causing them to acquire the necessary features for its use. The application of cement is one of the alternatives to the exchange of the material in the field, when the native soil does not meet the specifications of the standard, becoming thus economically viable, because it crosses out the cost of transportation, analysis and search for new material. There is not many academic studies around this topic due to the difficulties in having easy access to works that make use of it, resulting in a few bugs and disadvantages that should be considered, such as the lack of supervision in the dosage and application methods in the field. Despite the drawbacks, the functionality of the method, adjusted with laboratory testing of quality, has been the most used and economically viable to stabilize the deficient soil, because the cement in the Brazilian engineering is one of the materials used with the easiest access. The present work aims to analyze in detail the use and dosage of the ground improved with cement, through labour-based field study, seeking theoretical reasons from research books, norms, masters dissertations, legislation and reports, in order to contextualize the study.

KEYWORDS: Soil Improved. Cement. Pavement. Stabilization. Laboratory Tests.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Sistema de Infraestrutura Romana.----- | 19 |
| Figura 2: Sistemas Funcionais de Vias Urbanas. ----- | 24 |
| Figura 3: Seção Transversal de um Pavimento Flexível e Semirrígido.----- | 26 |
| Figura 4: Seção Transversal de um Pavimento Rígido. ----- | 27 |
| Figura 5: Perfil Esquemático de Ocorrência de Solos em Ambiente Tropical. ----- | 32 |
| Figura 6: Ocorrência de Solos Lateríticos no Território Brasileiro. ----- | 33 |
| Figura 7: Cilindro Grande para Compactação. ----- | 39 |
| Figura 8: Soquete Grande Para Compactação. ----- | 39 |
| Figura 9: Vista em Planta Cinzel. ----- | 42 |
| Figura 10: Seções Transversais Cinzel. ----- | 43 |
| Figura 11: Prensa para Ensaio De CBR. ----- | 46 |
| Figura 12: Localização do Trecho de Estudo. ----- | 48 |
| Figura 13: Avenida Brasil Sul - Final do Trecho Estudado. ----- | 48 |
| Figura 14: Avenida Brasil Sul - Início do Trecho Estudado. ----- | 49 |
| Figura 15: Avenida Brasil Sul - Início do Trecho Estudado. ----- | 49 |
| Figura 16: Avenida Brasil Sul - Início do Trecho Estudado. ----- | 50 |
| Figura 17: Viaduto No Cruzamento da Avenida Brasil com a Avenida Amazílio Lino De Sousa.----- | 50 |
| Figura 18: Corte No Trecho Da Avenida Brasil.----- | 51 |
| Figura 19: Cimento Utilizado Para Homogeneização. ----- | 52 |
| Figura 20: Compatação no Trecho Estudado. ----- | 52 |
| Figura 21: Trecho Após a Chuva. ----- | 52 |
| Figura 22: Localização Jazida de Solo Samirão.----- | 54 |
| Figura 23: Jazida de Solo Samirão. ----- | 54 |
| Figura 24: Secagem da Amostra. ----- | 56 |
| Figura 25: Separação da Amostra de Solo. ----- | 56 |
| Figura 26: Cilindros no Tanque.----- | 59 |
| Figura 27: Ensaio de Granulometria. ----- | 60 |
| Figura 28: Ensaio de Índice Suporte Califórnia. ----- | 63 |
| Figura 29: Gráfico de Correção. ----- | 65 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1 – Evolução Rodoviária Federal e Estadual (Km)----- | 22 |
|--|----|

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|-----------|
| Quadro 1 – Sistema Unificado de Classificação de Solos ----- | 29 |
| Quadro 2 – Tipos de Cimentos ----- | 36 |
| Quadro 3 – Energia de Compactação ----- | 40 |
| Quadro 4 – Metodo de Substituição de Amostra ----- | 57 |
| Quadro 5 – Metodo de Dosagem de Cimento ----- | 57 |

LISTA DE TABELA

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Classificação de Solos TRB----- | 30 |
| Tabela 2 – Quantidade de Amostra para Análise Granulométrica ----- | 41 |
| Tabela 3 – Quantidade de Golpes Limite Liquidez ----- | 61 |
| Tabela 4 – Umidade Média----- | 61 |
| Tabela 5 – Tabela Índice Suporte Califórnia ----- | 64 |
| Tabela 6 – Índice Suporte Califórnia Solo <i>In Natura</i> - Amostra Umidade Ótima----- | 66 |
| Tabela 7 – Índice Suporte Califórnia Coletado em Pista com 2% de Cimento - Amostra Umidade Ótima----- | 66 |
| Tabela 8 – Índice Suporte Califórnia com 1% de Cimento - Amostra Umidade Ótima----- | 67 |
| Tabela 9 – Índice Suporte Califórnia com 2% de Cimento - Amostra Umidade Ótima----- | 67 |
| Tabela 10 – Índice Suporte Califórnia com 3% de Cimento - Amostra Umidade Ótima ----- | 68 |

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

| | |
|------|--|
| ABCP | Associação Brasileira de Cimento Portland |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ABPq | Associação Brasileira de Pavimentação |
| CBR | California Bearing Ratio |
| CBUQ | Concreto Betuminoso Usinado à Quente |
| CIDE | Contribuição de Intervenção do Domínio Econômico |
| DNER | Departamento Nacional de Estradas de Rodagem |
| DNIT | Departamento Nacional Infraestrutura de Transporte |
| EPL | Empresa de Planejamento e Logística |
| FRN | Fundo Rodoviário Nacional |
| HRB | Highway Research Bord |
| IPR | Instituto de Pesquisa Rodoviário |
| ISC | Índice Suporte Califórnia |
| PMA | Prefeitura Municipal de Anápolis |
| SUCS | Sistema Unificado de Classificação de Solos |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 15 |
| 1.1 JUSTIFICATIVA | 16 |
| 1.2 OBJETIVOS | 17 |
| 1.2.1 Objetivo geral | 17 |
| 1.2.2 Objetivos específicos | 17 |
| 1.3 METODOLOGIA | 17 |
| 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO | 18 |
| 2 PAVIMENTAÇÃO | 19 |
| 2.1 DEFINIÇÕES | 23 |
| 2.1.1 Classificação funcional das vias urbanas | 23 |
| 2.1.1.1 Sistema arterial principal | 24 |
| 2.1.1.2 Sistema arterial secundário | 24 |
| 2.1.1.3 Sistema coletor | 25 |
| 2.1.1.4 Sistema local | 25 |
| 2.1.2 Pavimento | 25 |
| 2.1.3 Solo | 27 |
| 2.1.3.1 Sistema Unificado de Classificação de Solos | 28 |
| 2.1.3.2 Classificação TRB | 29 |
| 2.1.4 Solo tropical | 32 |
| 2.1.5 Estabilizações do solo | 33 |
| 2.1.5.1 Estabilização mecânica | 34 |
| 2.1.5.2 Estabilização granulométrica | 34 |
| 2.1.5.3 Estabilização química | 34 |
| 2.1.6 Solo-cimento e solo melhorado com cimento | 35 |
| 2.1.6.1 Solo-cimento | 35 |
| 2.1.6.2 Solo melhorado com cimento | 35 |
| 2.1.6.3 Utilização do cimento no solo | 36 |
| 2.2 MÉTODOS DE CONTROLE TÉCNOLÓGICOS DOS SOLOS EM LABORATÓRIO | 38 |
| 2.2.1 Preparo da amostra de solo | 38 |
| 2.2.2 Compactação de solo | 39 |
| 2.2.3 Granulometria | 41 |
| 2.2.4 Limite liquidez | 42 |

| | |
|---|-----------|
| 2.2.5 Limite plasticidade | 43 |
| 2.2.6 Índice suporte Califórnia | 44 |
| 3 ESTUDO DE CASO | 47 |
| 3.1 INTRODUÇÃO | 47 |
| 3.2 CLASSIFICAÇÃO DA VIA | 51 |
| 3.3 EXECUÇÃO DO TRECHO | 51 |
| 3.4 MATERIAIS E METÓDOS | 53 |
| 3.4.1 Materiais | 53 |
| 3.4.1.1 Amostra de solo | 53 |
| 3.4.1.2 Cimento utilizado | 55 |
| 3.4.2 Métodos | 55 |
| 3.4.2.1 Amostras de solo (preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização) | 55 |
| 3.4.2.2 Dosagem de cimento | 57 |
| 3.4.2.3 Compactação | 57 |
| 3.4.2.4 Granulometria | 59 |
| 3.4.2.5 Limite de liquidez | 60 |
| 3.4.2.6 Limite de plasticidade | 61 |
| 3.4.2.7 Índice suporte Califórnia | 62 |
| 4 RESULTADOS DA PESQUISA E ANÁLISE DE DADOS | 66 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 69 |
| 5.1 SUGESTÕES A TRABALHOS FUTUROS | 69 |
| REFERÊNCIAS | 71 |
| ANEXOS | 74 |

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional, há a necessidade de expansão e melhoria da malha rodoviária para facilitar o acesso de transportes de cargas e pessoas. Visando qualidade de vida e o crescimento socioeconômico, os projetos de infraestrutura são elementos chave de governos (ANTAS *et al.*, 2010).

Em obras, como construções de rodovias e vias urbanas, é fundamental obter uma visão do comportamento dos pavimentos, buscando sempre inovação, pesquisa e engenharia. Com o uso da engenharia apropriada, as rodovias e vias urbanas trazem grandes mudanças na sociedade, aumentando a mobilidade e promovendo impactos positivos na qualidade de vida das pessoas (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Na projeção de uma via são realizadas análises de solo. Desta forma, estipulam-se espessuras de camadas e especificações para a implantação, criando assim um escopo que defina os métodos a serem empregados na execução do pavimento. Para que haja êxito e viabilidade na execução de um projeto de pavimentação são necessários alguns estudos como o detalhamento dos materiais existentes na região, o clima, o controle de tráfego, a previsão de crescimento da região, a logística a ser executada e os impactos ambientais (ANTAS *et al.*, 2010).

Na construção civil, o solo é uma das principais matérias primas, sendo utilizado desde as construções mais simples até as mais complexas. As camadas de pavimento são exemplos claros da utilização do solo. O solo natural nem sempre atende às especificações de estabilidade. As principais propriedades a serem observadas são a capacidade de carga e a resistência ao cisalhamento (BUCKMAN, 1974).

Neste contexto, Caputo (1988) cita que a utilização do cimento para a estabilização do solo tem sido uma alternativa conseqüentemente mais viável, pois proporciona ao projetista uma forma mais acessível de desenvolver o projeto, mesmo existindo outras formas de estabilização.

Nota-se que com o crescimento e a demanda da evolução dos pavimentos à obtenção de materiais adequados se tornaram mais árduos. Conseqüentemente, existe uma necessidade de busca de materiais adequados distantes de sua aplicação, de modo que ao projetar uma via, é indispensável a avaliação no que diz respeito ao custo. Se um determinado solo encontrado na região não atende às especificações do projeto, é necessária a aplicação de aditivos que melhorem as características ou substituição do material. Ao ser substituído, deve-se levar em

consideração a escavação e o transporte que inviabilizam esta alternativa. Então, melhorar o traço do solo encontrado na região com cimento tem sido a melhor alternativa, pois há um aproveitamento do solo local, reduzindo impactos ambientais e custos com transportes (OLIVEIRA, 2011).

O solo combinado com o cimento tem a propriedade de diminuir a deformação plástica recorrente de uma tensão, alcançando maior rigidez e resistência, devido também à uma melhor distribuição granulométrica. Sua aplicação deve ser analisada com as especificações normatizadas juntamente com o ponto de vista econômico. Para obter a qualidade da execução de um serviço de pavimentação, é de extrema importância que haja o acompanhamento de um laboratório. Os estudos laboratoriais envolvem tanto os estudos preliminares quanto os estudos posteriores desenvolvidos em campo (SENÇO, 2001).

As escolhas do projetista muitas vezes são justificadas pela realidade encontrada em cada região, pois os recursos necessários para aplicação nem sempre estão acessíveis para atender às necessidades de uma boa aplicação da norma. Assim, utilizando um gerenciamento para a execução da obra adequado e fazendo um controle laboratorial rigoroso, diminui-se o custo final da obra.

1.1 JUSTIFICATIVA

Segundo Senço (2001), o solo cimento oferece vasto campo de estudo e pesquisa na dosagem para obtenção dos teores ótimos de cimento e no controle das misturas executadas no campo, sempre exigindo acompanhamento tecnológico eficiente, o que o aproxima muito do trabalho das tendências naturais da profissão de engenheiro.

Neste contexto, o teor de cimento empregado é determinado de acordo com os estudos laboratoriais do solo, pois se observa que a qualidade da aplicação dos materiais nos ensaios não são as mesmas que se aplica em campo. O estudo justifica a necessidade de um bom gerenciamento do projeto, eficiência e fiscalização do laboratório para observar quando há deficiências de recursos para um bom cumprimento das normatizações.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Este estudo tem por objetivo analisar a resistência mecânica de um mesmo solo em diferentes situações, levando em consideração resultados obtidos em campo e em laboratório. O local avaliado é um pequeno trecho situado na Avenida Brasil Sul, Vila Jussara, Anápolis-GO, onde foi executado o alargamento da via previsto no projeto dos corredores e do viaduto situado no cruzamento da Avenida Brasil com a Rua Amazílio Lino de Sousa.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar a porcentagem de cimento utilizado;
- Cooperar com a realidade enfrentada em campo, de forma mais racional e objetiva;
- Alinhar as execuções dos projetos com a teoria;
- Comparar as dosagens de cimento utilizadas no solo.
- Analisar para aumentar a qualidade do sistema.

1.3 METODOLOGIA

A presente monografia foi formulada a partir de um estudo de campo com base laboratorial. Neste estudo, foram seguidas as seguintes etapas: coleta de solo para análise preliminar; ensaios laboratoriais onde foram utilizadas as normatizações específicas do DNIT; comparação dos resultados obtidos a partir da aplicação de teores de 1%, 2% e 3% de cimento em laboratório, solo natural e solo com teor de 2% de adição de cimento coletado em campo; acompanhamento da aplicação do solo melhorado com cimento no trecho; e, avaliação do sistema de acordo com as normas vigentes.

Foram realizados levantamentos bibliográficos pautados em temas da engenharia, voltados para a área de pavimentação. Tais levantamentos foram realizados a partir de pesquisas em livros, normatizações, dissertações de mestrados, legislações e reportagens, que contextualizaram o estudo.

A principal fundamentação teórica utilizada é a ES142¹ (DNIT, 2010), pois a partir dela foram definidos os parâmetros para o estudo de campo, através da observação direta das atividades, ensaios laboratoriais, análises para comparação e discussão de resultados.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Ao ser elaborada a pesquisa, foi criado um plano de trabalho dividindo sua estrutura em capítulos, de acordo com apresentação a seguir:

Capítulo 01 – Introdução que contextualiza a pesquisa.

Capítulo 02 – Referência bibliográfica, que apresenta um breve histórico evolutivo do tema e enfoca a definição dos materiais e métodos desta pesquisa.

Capítulo 03 – Estudo de caso da camada de base estabilizada com Cimento Portland, onde apresenta a localização do trecho de 500 metros de alargamento da via e a localização da jazida utilizada como empréstimo.

Capítulo 04 – Resultado de ensaios da pesquisa.

Capítulo 05 – Considerações finais e sugestões para estudos futuros.

Em anexo, encontram-se fichas de controle tecnológico e resultados obtidos em laboratório.

¹ Especificação de Serviço 142, sobre a Pavimentação – Base de solo melhorado com cimento. (DNIT, 2010).

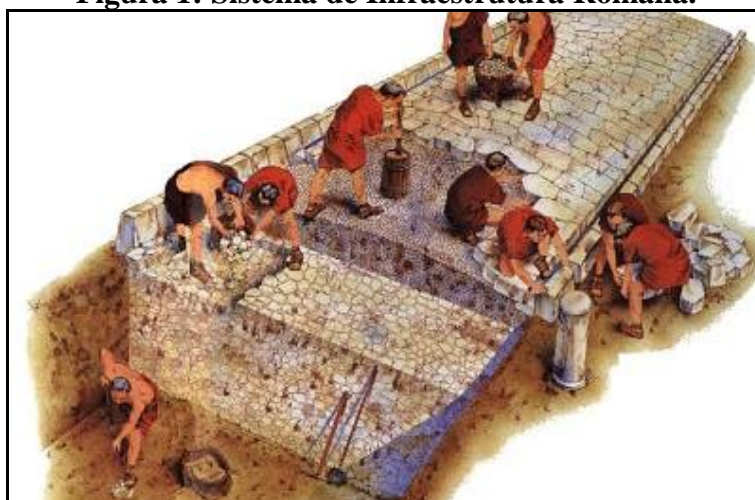
2 PAVIMENTAÇÃO

Buscando a fundo o histórico da pavimentação, segundo Saunier (1936), no Egito (2600-2400 A.C.) existiram indícios de estradas pavimentadas, porém, distantes da realidade atual, eram pensadas para a circulação de veículos de tração animal. Com o decorrer dos séculos, houve maior quantidade de registros históricos de desenvolvimento da construção de estradas, localizados na região da Mesopotâmia e Ecbatana, respectivamente, Iraque e Irã. Há registros da chamada Estrada Real (500 A.C.) que era utilizada com pousada, postos de correio e até pedágio, com extensão de 2.000km.

Bittencourt (1958) diz que o crescimento de tecnologias de pavimentos nesta região pode ser explicado pela demanda do comércio entre China, Índia, Ásia e Europa. Após alguns séculos, com o Império Romano, a evolução das estradas deu-se com fins religiosos e militares, pois, pela grandiosidade do império, necessitavam de estradas para manutenção da ordem.

Logo após, Margay (1973) cita que os romanos aprimoraram as estradas criando os primeiros sistemas de drenagem, camadas de pavimentos e melhores rotas, tecnologias que não eram exploradas anteriormente. No sistema de infraestrutura romana, na realização do aterro, eram colocadas grandes pedras alinhadas e encaixadas devidamente, tornando a geometria de pavimento aplanado com uma boa drenagem. No entremeio, colocava-se areia que poderia ser misturada com pedregulho ou argila e, na camada final, eram utilizadas pedras formando um meio-fio, sendo utilizadas placas planas para compor uma superfície mais delineada possível, como pode ser visto na figura 1.

Figura 1: Sistema de Infraestrutura Romana.



Fonte: Historie du monde (2015).

No século II, Adam (1994) menciona que já podia notar-se uma grande evolução nas tecnologias existentes, onde, nas cidades que havia trabalhabilidade com ferro, os resíduos eram utilizados para compor os ligantes das placas de pedra na superfície da estrada. Porém, no ano 476 d.C., com a queda do Império Romano e falta de conhecimento da importância da preservação e reparos das estradas, houve o desgaste e paralização do desenvolvimento das mesmas, voltando a se reestabelecer apenas na França séculos após.

Os franceses em seguida aos romanos deram maior importância ao sistema de transportes, pois reconheciam que este influenciava diretamente no comércio, levando em consideração a qualidade e velocidade nas vias. Carlo Magno² foi um dos pioneiros da modernidade das estradas na época, porém, pela falta de cuidados, estas desgastavam-se mais do que se desenvolviam, levando assim a prejudicar o comércio da época. Em meados de 1880, a França retoma o desenvolvimento das estradas e passa a conservá-las. (MASCARENHAS NETO, 1790).

Ao observar o método construtivo francês, os ingleses alcançaram um método melhor, mais rápido e duradouro da Europa, o que foi essencial para o progresso do país. Logo em seguida, não ficando atrás, França e Escócia, após construções nas regiões de Portugal onde ganharam experiências, assinaram um acordo para construções de estradas. Nesta época, se obtinham tecnologias que utilizavam saibro, areias, terras calcárias e tufos, viabilizando estradas com menores custos, porquanto as minas dessas matérias primas eram encontradas na região de Portugal.

Em contrapartida, no continente sul-americano, Bernucci, *et al.* (2008) cita os Incas como precursores do sistema de transportes, abrangendo um território que atualmente está localizado na Argentina, na Colômbia e no Chile, passando por biomas litorâneos, florestas e grandes altitudes como a Cordilheira dos Andes. Tais estradas tinham dimensões aproximadas de 1,0 metros de largura, para a passagem de pessoas e animais; e 16,0 metros de largura, para atividades militares.

Sessenta anos após seu descobrimento, o Brasil relata sua primeira estrada, denominada *Estrada do Mar*, que fazia a ligação entre São Vicente e o Planalto Piratininga, sendo anos depois restaurada em alguns trechos com laje de granito, comumente chamada *Calçada de Lorena*. No período do Brasil Império, para fazer o comércio do ouro, foi construída a *Estrada Imperial*. Logo em seguida, a estrada foi movimentada pelo comércio do

² Imperador romano do Império Carolíngio. Governou de 768 a 814, período de maior expansão do reino Franco. (Nota dos autores).

café. Atualmente, o que movimenta esta estrada é o turismo, visto que as cidades do *Caminho do Ouro* continuam sendo conservadas e muito visitadas.

Bernucci *et al.* (2008) apresenta relatos das primeiras estradas no Brasil que consistiam no método construtivo denominado macadame, processo realizado com três camadas de pedras assentadas de modo que as pedras maiores sirvam de suporte à pedras menores que são colocadas progressivamente para nivelar a última camada. Contudo, após o surgimento dos carros, esta técnica entrou em desuso.

No ano de 1896, chega ao Brasil o primeiro veículo de carga vindo da Europa. Em 1903, criam-se as primeiras licenças para carros particulares. Com a preocupação da grande demanda de carros, surge a necessidade de melhorar as vias e, em 1906, cria-se o Ministério da Viação e Obras Públicas com a função de executar e formular a política de transportes.

Como marco histórico para o legado rodoviário, pode-se citar a rodovia federal *Rio-São Paulo*, inaugurada em 1928, com extensão de 506 km, no governo de Washington Luiz e, no mesmo período, a criação da rodovia estadual *Rio-Petrópolis* (BERNUCCI *et al.*, 2008).

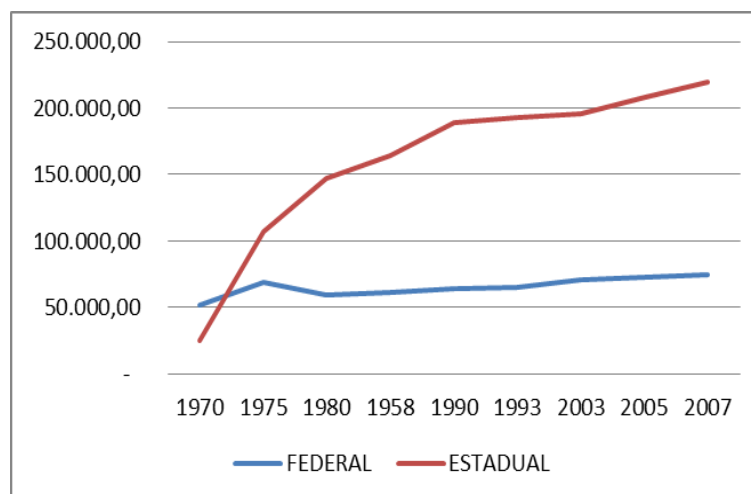
Buscando uma melhor administração e fiscalização da malha rodoviária em 1935, Getúlio Vargas cria o Departamento Nacional de Rodagem (DNER), que era subalterno ao Ministério de Viação e Obras Públicas.

Durante a 2ª Guerra Mundial, os norte-americanos desenvolveram um método revolucionário de construção de rodovias, CBR (*California Bearing Ratio*), que estava sendo usado para a construção de novas vias e pistas de decolagem no Estados Unidos da América e é utilizado até os dias de hoje. Este método inovador modificou a forma de construir estradas no Brasil, contendo normas e especificações técnicas, análises de laboratório e estudos geotécnicos. Mesmo com esta mudança, haviam poucos investimentos, então, em 1946, foi criado o Fundo Rodoviário Nacional (FRN), que competia à função de autonomia administrativa e financeira sobre o DNER, vinculando o Imposto Único Federal sobre lubrificantes líquidos minerais e combustíveis, investidos para a evolução da malha rodoviária no Brasil.

Na década de 1950, com o investimento do FRN, ocorreu o ápice da evolução da pavimentação no Brasil que começaria a ser produzida em escala industrial. Neste período, o governo, presidido por Juscelino Kubitschek, tinha como plano primordial de governo o desenvolvimento do país. Com prioridade ao modal rodoviário, investiu na evolução das estradas, criando assim, em 1958, o Instituto de Pesquisa Rodoviário (IPR); e, em 1959, a Associação Brasileira de Pavimentação (ABPq).

Outro marco para a história da pavimentação foi a criação da rodovia Transamazônica e a Ponte Rio-Niterói no período militar (1964-1984). Desde então, tanto a rede rodoviária federal quanto a estadual têm-se desenvolvido em um ritmo padrão no decorrer dos anos, como pode ser observado no gráfico 1.

Gráfico 1: Evolução Rodoviária Federal e Estadual (km).



Fonte: Manual de Pavimentação (DNIT, 2006).

Atualmente no Brasil, é utilizada a mesma tecnologia de pavimentos de 50 anos atrás, e, mesmo com o grande investimento nas construções rodoviárias, a realidade política do país não tem contribuído com o seu desenvolvimento. Desde os primórdios, o modal rodoviário recebeu maior investimento e visibilidade nos governos, ocasionando uma disparidade considerável em relação aos outros modais de transportes. Segundo dados de 2015 da Empresa de Planejamento e Logística (EPL), 65% do transporte de cargas realizado no Brasil é rodoviário, 15% é ferroviário, 11% de cabotagem, 5% é hidroviário e 4% é duto viário e aéreo.

No âmbito geral, o estado das rodovias encontra-se defeituoso em grande parte e escasso por outro lado. Levando em consideração que é o modal mais utilizado, tem-se a necessidade de um maior incentivo e, comparado a outros modais, detém os menores investimentos. A Lei nº 10.336 (CIDE, 2001) foi instituída com o intuito de restaurar e amplificar a malha rodoviária brasileira e, desde sua criação, sua arrecadação seria mais que suficiente para recuperar todo o modal, porém tem sido usada para outros fins além da infraestrutura brasileira.

No que se diz respeito à execução dos pavimentos no Brasil, a empreiteira responsável pela implementação ou reparo da infraestrutura é escolhida por meio de licitação, e, logo após a contratação, a fiscalização se torna responsabilidade do órgão competente, no âmbito federal, do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT); no âmbito estadual, o Estado possui seu próprio órgão responsável; e, no âmbito municipal, cada município dispõe de uma secretaria responsável.

Portanto, ao analisar historicamente a evolução da pavimentação, observa-se que ainda há uma necessidade de aprofundar os estudos nas técnicas construtivas, pois o transporte influencia diretamente a questão socioeconômica de um país e é de extrema necessidade que haja sua manutenção e conservação.

2.1 DEFINIÇÕES

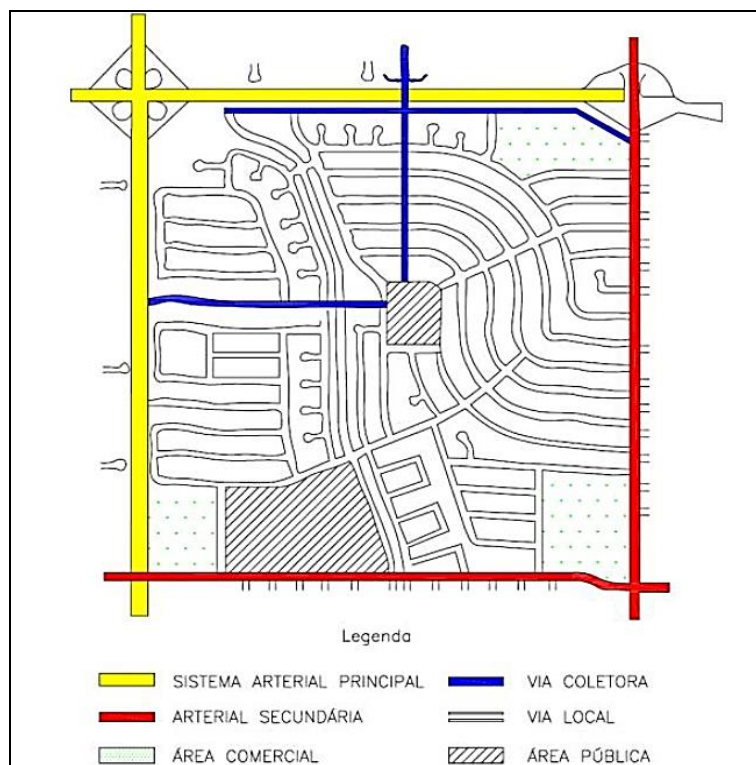
2.1.1 Classificação funcional das vias urbanas

Segundo a normatização IPR740 (DNIT, 2010):

[...] A classificação funcional é o processo pelo qual as vias são agrupadas hierarquicamente em subsistemas, conforme o tipo de serviço que oferecem e a função que exercem. É fundamental, para este processo, reconhecer que os diversos tipos de vias não têm muita utilidade separadamente, porquanto a maioria das viagens envolve a circulação através de uma rede viária. É preciso determinar então como essas viagens podem ser canalizadas dentro da rede viária de forma lógica e, eficiente. A classificação funcional define a natureza deste processo de canalização, determinando a função que deve exercer determinada via no escoamento do tráfego. [...] IPR 740 (DNIT, 2010).

Existem vários tipos de classificação funcional que podem nortear a realização de um projeto, porém o mais comumente usado é o que divide o sistema em quatro hierarquias: sistema arterial principal, arterial secundário, coletor e local, conforme IPR 740 (DNIT, 2010), como pode ser observado na figura 2:

Figura 2: Sistemas Funcionais de Vias Urbanas.



Fonte: IPR 740 (DNIT, 2010).

2.1.1.1 Sistema arterial principal

Esse sistema atende os centros de exercícios indispensáveis das áreas urbanas, onde existe o maior volume de tráfego e suporta a maior movimentação da rede urbana. Esse sistema se interliga aos centros urbanos, comerciais, terminais de cargas e passageiro e, liga também, as principais rodovias arteriais e coletoras interurbanas, de acordo com a IPR 740 (DNIT, 2010).

2.1.1.2 Sistema arterial secundário

O seguinte sistema interconecta com o Sistema arterial principal e o complementa. Possui características similares de vias arteriais principais, porém não atende a demanda de tráfego e apenas distribui o fluxo para setores menores, ou seja, tem características de oferecer acesso às propriedades, e acordo com a IPR 740 (DNIT, 2010).

2.1.1.3 Sistema coletor

Sua principal função é vincular as vias locais com as vias dos sistemas arteriais. Diferente destas, o sistema coletor penetra nas áreas residenciais fazendo a distribuição das vias arteriais. Consequentemente, o sistema coletor oferece acesso das áreas residenciais para as áreas de maior tráfego, conforme a IPR 740 (DNIT, 2010).

2.1.1.4 Sistema local

Todas as vias que hierarquicamente não se enquadram em nenhuma das classificações anteriores, recebem o nome de via local, sendo que esta dispõe do menos nível de mobilidade e não possui rotas de ônibus. Sua principal característica é oferecer acesso às propriedades adjacentes ao sistema de nível superior, conforme a IPR 740 (DNIT, 2010).

2.1.2 Pavimento

O pavimento é um sistema de multicamadas compactadas acima da estrutura da terraplanagem, técnica usada para planificar o solo. Todo esse arranjo compõe a infraestrutura necessária para construir o pavimento. As camadas são calculadas para resistir aos esforços do tráfego nas estradas de rodagem, onde é levada em consideração, a quantidade de veículos que circulam na via, garantindo assim, conforto e segurança para os usuários da mesma.

A estrutura é comumente classificada segundo a maleabilidade do material, rígido e flexível. Porém, há uma crescente utilização da nomenclatura de solos semirrígidos. Estes, na camada da base, são quimicamente estabilizados, podendo ser utilizado cimento, cal ou outros aditivos químicos.

Para escolher o tipo de pavimento são levados em consideração vários fatores, como o custo benefício, a vida útil, a finalidade e a necessidade de manutenção e reparos.

O Manual de pavimentação do DNIT (2006) classifica os pavimentos segundo a distribuição de forças aplicadas e materiais a serem empregados no pavimento:

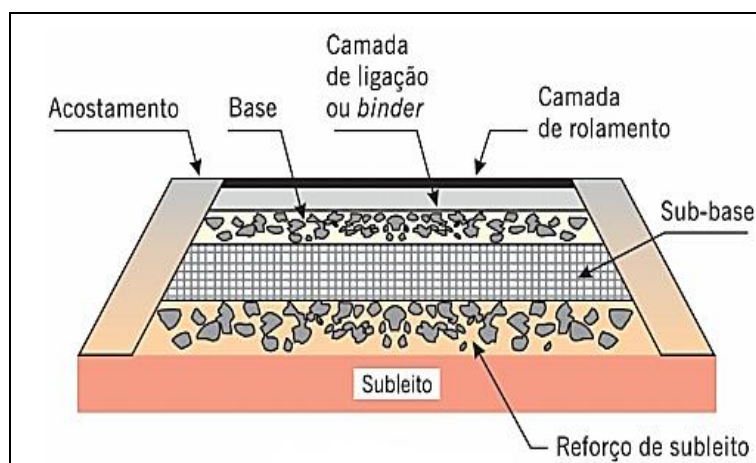
[...] **Flexíveis:** aqueles em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas. Exemplo típico: pavimento constituído por uma base de brita ou por uma base de solo pedregulhoso, revestida por uma camada asfáltica;

Semirrígidos: caracterizam-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades inerciais como, por exemplo, uma camada de solo-cimento revestida por uma camada asfáltica;

Rígidos: aqueles em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado. Exemplo típico: pavimento constituído por lajes de concreto de cimento Portland. [...] IPR 719 (DNIT, 2006).

Para a execução dos pavimentos citados acima, existem especificações diferentes em cada caso. Os flexíveis podem ser constituídos por terraplanagem e quatro camadas (subleito, reforço de subleito, sub-base e base), onde a base e a sub-base estão encarregadas de receber os esforços gerados pelo tráfego e integrar uniformemente as camadas de subleito. Semelhantemente, caracterizam-se os pavimentos semirrígidos, onde as camadas seguem a mesma sequência executiva, com adendo de que, na sub-base e na base, se o material não alcançar resistência necessária no ensaio de CBR, acrescenta-se aglutinante para o aumento da resistência. Em ambos os casos, na camada de rolamento, é utilizado algum revestimento betuminoso ou de calçamento. Os betuminosos são a junção de agregados com ligante betuminoso, sendo que essa junção pode ser realizada por penetração ou mistura, exemplificando, respectivamente, macadame betuminoso e concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), como exemplifica a figura 3.

Figura 3: Seção Transversal de um Pavimento Flexível e Semirrígido.

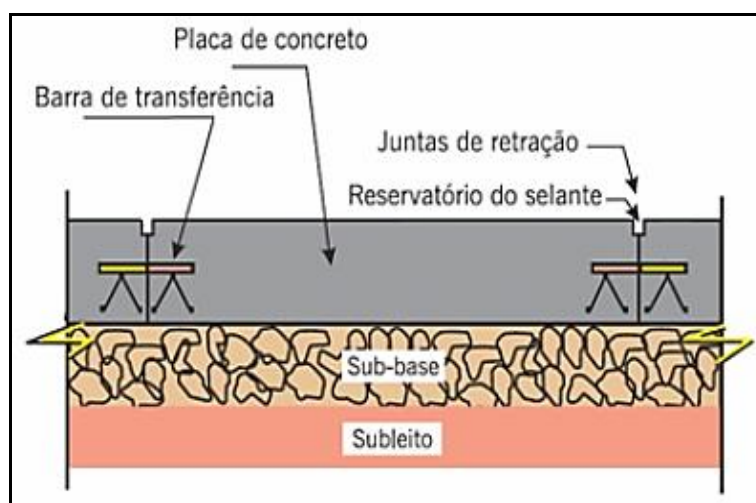


Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2008 (adaptado).

Diferentemente dos citados acima, o pavimento rígido é composto apenas pela camada de terraplanagem, subleito e sub-base, como se observa na figura 4. O revestimento utilizado é o concreto cimento, sua característica marcante é a alta resistência a esforços e à

alta durabilidade. Ao ser comparado com o pavimento flexível, estima-se que sua durabilidade é três vezes maior.

Figura 4: Seção Transversal de um Pavimento Rígido.



Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2008 (adaptado).

2.1.3 Solo

Segundo a NBR6502 (ABNT, 1995), o solo pode conter ou não materiais orgânicos, sendo que ele é proveniente da alteração da rocha pela ação do tempo, de acordo com agentes físicos e químicos. Em razão do intemperismo, a rocha é degradada compondo diferentes fases dos solos. Seu estudo e análise é de extrema importância para designar o seu uso.

As classificações gerais dos solos os dividem em: argila, silte, areia e pedregulho. Segundo a ABNT (1995):

- 7,6 e 4,8mm – Pedregulho/Cascalho;
- 4,8 e 0,05mm – Areias (Finas Médias ou Grossas);
- 0,05 e 0,005mm – Siltes;
- Inferiores a 0,005mm – Argilas.

As propriedades dos materiais diferem quanto a sua origem. O solo arenoso, em sua composição, é basicamente de quartzo, um mineral que não se decompõe facilmente mesmo na presença de água. Porém, seu comportamento não depende de sua origem mineralógica,

apenas de sua granulometria. Sua resistência à ruptura se dá em razão do atrito entre as partículas, logo, não apresenta coesão, pois a atração de suas partículas é baixa.

O solo argiloso, quando há compactação de suas partículas, caracteriza um material de alta resistência à ruptura, onde as mesmas têm alta interação física e química, pouco permeável e com alto comportamento plástico.

Bem próximos às características do solo argiloso, os solos siltosos apresentam uma boa resistência à ruptura, porém, em sua granulação fina, apresentam pouca ou nenhuma plasticidade.

As formas das partículas interferem diretamente na resistência, na coesão e na plasticidade do solo, e podem ser divididas em três tipos: esferoidais, lamelares e fibrilares.

Macedo (2004) apresenta que deve-se levar em consideração, quanto ao perfil do solo, o estudo de horizontes formados na superfície da crosta terrestre que são divididos em três classes:

- Horizonte “A” – zonas de planassolo, onde existe maior atividade biológica com acúmulo de matéria orgânica;
- Horizonte “B” – zona onde há acúmulo de matéria vinda da camada superior, com concentração aluvial de argila, óxido de ferro e alumínio, ou de húmus, separadamente ou combinados, com concentração residual, cor mais brilhante do que os demais horizontes;
- Horizonte “C” – solo que não sofreu com as intempéries, possui camada com pouca influência de organismos.

São utilizados dois sistemas de classificação de solos, o SUCS e o TRB, antigo HRB.

2.1.3.1 Sistema Unificado de Classificação de Solos

O Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), simplificado pelo engenheiro Arthur Casagrande, na década de 1940, classifica os solos de acordo com seus diâmetros, sendo eles: solos grossos, finos e turfas (solos altamente orgânicos).

A granulometria é o sistema que classifica as partículas do agregado em diversos tamanhos, assim, Casagrande conseguiu distribuir em porcentagem os diversos tamanhos dos grãos para desenvolver o SUCS, utilizando como ferramentas peneiras de diâmetros iguais com aberturas diversas.

No quadro 1, é mostrada a classificação SUCS.

Quadro 1: Sistema Unificado de Classificação de Solos.

| CLASSIFICAÇÃO GERAL | TIPOS PRINCIPAIS | SÍMBOLOS |
|--|--|---|
| SOLOS GROSSOS (menos de 50% passando na peneira #200) | Pedregulho ou solo pedregulhoso (Gravel) | GW, GP, GC e GM |
| | Areia (Sand) ou solo arenoso | SW, SP, SC e SM |
| SOLOS FINOS (mais que 50% passando na peneira #200) | Silte (M) ou argila © | Baixa Compressibilidade (LL < 50) ML, CL e OL |
| | | Alta compressibilidade (LL > 50) MH, CH e OH |
| SOLOS ALTAMENTE ORGÂNICOS | Turfa (Peat) | Pt |

Fonte: Almeida, 2005 (adaptado).

2.1.3.2 Classificação TRB

O *Highway Research Board* (HRB) é um sistema que utiliza a granulometria, limite de liquidez, índice de liquidez e índice do grupo para determinar a classificação do solo, que é utilizado também para o projeto e idealização de um pavimento, conforme a IPR 719 (DNIT, 2006).

Segundo o DNIT (2006), a atualização do sistema HRB é o *Transportation Resarch Board* (TRB), que consiste na classificação do solo a partir de grupos e subgrupos, de acordo com sua granulometria, limite de consistência e do índice de grupo, sendo que a classificação TRB e HRB são similares, como pode ser observado no tabela 1.

Tabela 1: Classificação de 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 máx. | 8 máx. | 12 máx. | 16 máx. | 20 máx. |
| Materiais Constituintes | Fragmentos de pedra, pedregulho fino e areia. | | | Pedregulho ou areias siltosas 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 maior do que LL menos 30

Fonte: IPR 719 DNIT, 2006 (adaptado).

Abaixo, a definição dos grupos, segundo DNIT (2006):

- Grupo A-1 – material constituído de mistura bem graduada de fragmentos de pedra ou pedregulhos, areia grossa, areia fina e um aglutinante de solo não plástico.
 - ✓ Subgrupo A-1-a – material contendo principalmente fragmentos de pedra ou pedregulho, com ou sem material fino bem graduado, funcionando com aglutinante;
 - ✓ Subgrupo A-1-b – material constituído principalmente por areia grossa, com ou sem aglutinante de solo bem graduado.
- Grupo A-2 – material que situa-se entre os grupos A-1 e A-3, também entre materiais com mistura de silte-argila dos grupos A-4, A-5, A-6 e A-7. Inclui todos os solos com 35% ou menos passando na peneira nº 200, mas que não podem ser classificados como A-1 ou A-3, devido ao teor de finos que contêm.

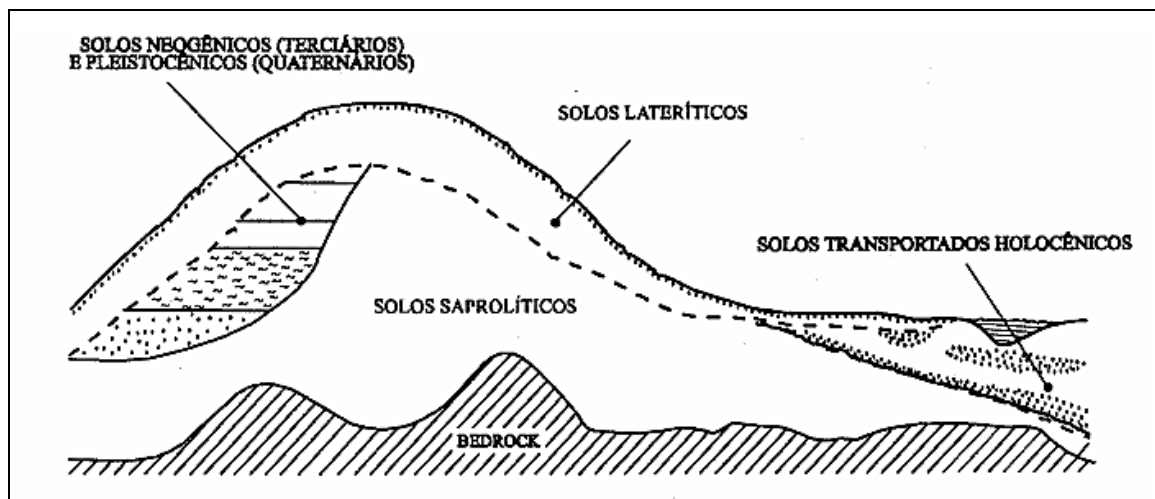
- ✓ Subgrupos A-2-4 e A-2-5 – material com 35% ou menos, passando na peneira nº 200, com uma porção menor retida na peneira nº 40, possuindo as características dos grupos A-4 ou A-5. Abrangem também matérias como pedregulho e areias grossa, em que o teor de silte e o índice de plasticidade ultrapassam os limites estabelecidos para o grupo A-1, e ainda areia fina com silte não plástico excedendo os limites do grupo A-3;
 - ✓ Subgrupos A-2-6 e A-2-7 – material semelhante descrito nos subgrupos A-2-4 e A-2-5, exceção feita da porção de finos que contém argila plástica com característica dos grupos A-6 ou A-7.
- Grupo A-3 – material tipo do grupo é areia fina de praia ou de deserto, sem silte ou argila, ou possuindo pequena quantidade de silte não plástico.
 - Grupo A-4 – material típico de solo siltoso não plástico, ou moderadamente plástico, possuindo geralmente 5% ou mais passando na peneira nº 200. Contém também mistura de solo fino siltoso com até 64% de areia e pedregulho retido na peneira nº 200.
 - Grupo A-5 – semelhante ao descrito no grupo A-4, exceto que ele é altamente elástico, como indica seu elevado limite de liquidez.
 - Grupo A-6 – material argiloso, plástico, possui 75% ou mais de matéria passante na peneira nº 200. Inclui também misturas de solos finos argilosos, podendo conter 64% de areia e pedregulho retidos na peneira nº 200.
 - Grupo A-7 – material semelhante ao descrito no grupo A-6, com a diferença que possui características de alto limite de liquidez do grupo A-5.
 - ✓ Subgrupos A-7-5 – material com índice de plasticidade moderado em relação ao limite de liquidez, podendo ser altamente elástico e sujeito a mudanças de volume.
 - ✓ Subgrupos A-7-6 – materiais com elevados índices de plasticidade em relação aos limites de liquidez, estando sujeitos a mudanças de volume.

2.1.4 Solo Tropical

De acordo com Castro (2003), o solo tropical refere-se àquele formado em regiões de clima tropical quente e úmido e que apresenta determinados comportamentos geotécnicos diferentes dos solos considerados tradicionais.

Destacam-se duas grandes classes: os solos lateríticos e os solos saprolíticos. A figura 5 exemplifica a recorrência dos solos em regiões tropicais.

Figura 5: Perfil Esquemático de Ocorrência de Solos em Ambiente Tropical.



Fonte: VILLIBOR (2009).

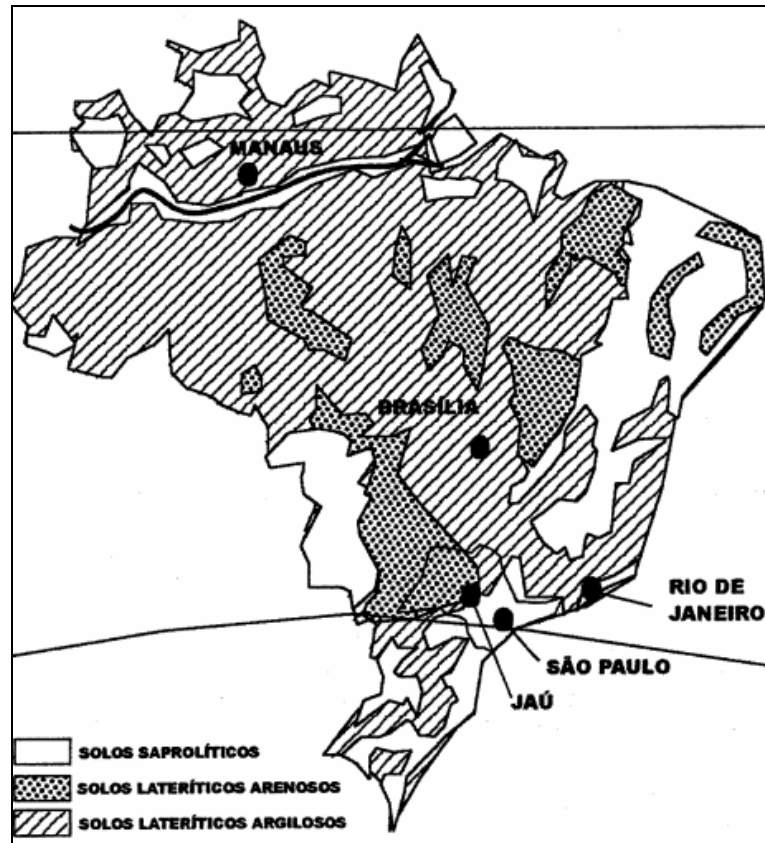
Solo saprolítico é a fase do solo após sofrer transformações químicas e biológicas da rocha matriz. Este assemelha-se muito à estrutura da rocha de origem, mas sua resistência é inferior. São solos que têm em suas composições minerais que estão em fase de decomposição, por esta razão, constitui-se um solo com mineralogia mais complexa e heterogênea. Encontra-se abaixo da camada que se situa o solo laterítico e só é possível encontrá-lo através de erosões ou ações humanas.

Solo laterítico está na camada superior que em sua formação há um ganho de minérios devido à decomposição orgânica, o que caracteriza sua coloração própria: alaranjado, amarelo, marrom e vermelho. Segundo Villibor (2009), o uso de solos lateríticos na pavimentação urbana, em regiões ricas nesse tipo de solo, vem crescendo bastante nas duas últimas décadas. A grande quantidade de uso desse solo deve-se ao baixo custo e à sua grande recorrência nas regiões brasileiras.

Ao ser feita a granulometria do solo lateríticos, classificam-se geralmente como solos finos. Em sua composição é possível ser encontrado laterita, que são pedregulhos consistentes, densos e porosos, com as mesmas características do solo encontrado.

A figura 6 mostra o perfil dos solos encontrados no território brasileiro.

Figura 6: Ocorrência de Solos Lateríticos no Território Brasileiro.



Fonte: VILLIBOR (2009).

2.1.5 Estabilizações do solo

A estabilização do solo tem como função modificar as características de um determinado material, como a resistência, a densidade, a permeabilidade e a porosidade.

A ideia de estabilização de solos não é atual. Abiko (1983) relata que o homem utilizou diversas técnicas para conferir melhor comportamento do solo, tornando-o mais resistente ao intemperismo, citando o emprego de cal, asfalto, palha e outras fibras vegetais, urina, excremento de gado, melão, gordura de baleia e resinas diversas.

Para a construção civil, este processo é de extrema importância, pois a decorrência da dificuldade de acesso à solos que atendem a determinadas especificações de projeto, está cada

dia maior. Existem diversos tipos de estabilizações, e cada uma atende melhor uma situação encontrada, dentre elas, pode-se citar as estabilizações usadas na pavimentação.

2.1.5.1 Estabilização mecânica

Também denominada estabilização por compactação, consiste em realizar o processo de densidade máxima relacionada a certa umidade ótima. Também pode estar integrada a outro tipo de estabilização. Este método é utilizado em todas as camadas de pavimento, pois tem a função de alcançar e reservar maior resistência da estrutura do solo.

O processo de estabilização mecânica começa na homogeneização do material com água até a umidade desejada. Logo em seguida, a compactação até atingir a compactação calculada em laboratório.

Pode ser conservada ou corrigida a granulometria na estabilização mecânica misturando solos, antes que seja feita a compactação, aumentando assim a coesão e o ângulo de atrito interno (CAPUTO, 1988).

2.1.5.2 Estabilização granulométrica

A estabilização granulométrica consiste em modificar a composição do solo, adicionando ou misturando materiais naturais que possam levar a granulometria adequada às especificações. Neste tipo de estabilização, a resistência seria garantida pela interação das partículas de dois ou mais tipos de solo. Exemplificando, pode-se citar a mistura de um solo argiloso com alto teor de plasticidade a um solo arenoso. Neste caso, o solo arenoso teria a característica de diminuir a interação das partículas.

2.1.5.3 Estabilização química

É denominada estabilização química, a homogeneização realizada em que há mudança na composição química do solo granular para que possa melhorar sua resistência sobre o atrito de suas partículas (resistência ao cisalhamento), podendo ser adicionado diversos tipos de aditivos como cal, cimento Portland, materiais betuminosos, resinas, posolanas, entre outros.

2.1.6 Solo-cimento e solo melhorado com cimento

2.1.6.1 Solo-cimento

Segundo a ES143 (DNIT, 2010), o solo-cimento é um 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.

Geralmente, a porcentagem de adição de cimento ao solo é calculada a partir dos ensaios laboratoriais que definem a resistência do material. Logo, se esta não atender às especificações do projeto, será necessária a adição de cimento Portland. Em norma, esta quantidade é acima de 4% do peso em relação ao total da mistura, sua aplicação é destinada principalmente à base do pavimento, pois ela é a camada que mais recebe esforços e tem a função de distribuir a carga nas demais camadas.

2.1.6.2 Solo melhorado com cimento

A ES142 (DNIT, 2010) classifica o solo melhorado com cimento como 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. Os teores usuais de cimento estão situados na faixa de 2 a 4%, em peso, em relação ao total da mistura.

a) O cimento Portland:

Um breve histórico revelado pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) diz que a palavra cimento é originada do latim *caementu*, que designava, na velha Roma, a espécie de pedra natural de rochedos e não esquadrejada. A origem do cimento se deu há cerca de 4.500 anos, onde os imponentes monumentos do Egito antigo já utilizavam uma liga constituída por uma mistura de gesso calcinado. As grandes obras gregas e romanas, como o Panteão e o Coliseu, foram construídas com o uso de solos de origem vulcânica da ilha grega de Santorini ou das proximidades da cidade italiana de Pozzuoli, que possuíam propriedades de endurecimento sob a ação da água.

O cimento Portland é um material inorgânico, alcalino, moído para que obtenha partículas extremamente finas, composto em sua maior totalidade por alumínios de cálcio e silicatos, que, ao serem hidratados, geram reações químicas onde o produto é uma pasta que enrijece, passando para o estado sólido.

Segundo Neville (1997), basicamente o processo de fabricação do cimento Portland consiste, de maneira sucinta, em moer a matéria-prima, misturá-la em determinadas proporções e submetê-la à queima em forno rotativo à elevadas temperaturas.

O produto obtido na queima é o clínquer que é finamente moído. Para controlar a pega e o endurecimento é acrescentado o gesso. Este material pode receber outras adições posteriormente, como a escória de alto forno, as cinzas volantes, as sílicas ativas, etc., como pode ser visto no quadro 2.

Quadro 2: Tipos de Cimentos.

| TIPOS DE CIMENTO | NOMENCLATURA |
|--|-------------------------------------|
| Cimento Portland Comum | CP I |
| Cimento Portland Comum com Adição | CP I – S |
| Cimento Portland Composto com Escória | CP II – E |
| Cimento Portland Composto com Pozolana | CP II – Z |
| Cimento Portland Composto com Fíler | CP II – F |
| Cimento Portland de Alto Forno | CP III |
| Cimento Portland Pozolânico | CP IV – 32 |
| Cimento Portland | ARI (Alta Resistência Inicial) CP V |
| Cimento Portland Branco | CBP |

Nota: O número 32 refere-se a resistência mínima que o cimento alcança aos 28 dias após a sua utilização.

Fonte: ABCP (2002).

2.1.6.3 Utilização do cimento no solo

Para melhor aplicação da estabilização de cimento, devem-se seguir algumas especificações e sequências, afim de que o serviço obtenha um resultado esperado. A ES142 (DNIT, 2010) cita detalhadamente como deve ser feita a sua aplicação.

Para a aplicação do cimento Portland na base do pavimento, são citadas algumas referências normativas: ES 036 (DNER, 1995), NBR 5732 (ABNT, 1991) e NBR 5735 (ABNT, 1991), que menciona o cimento comum, composto e de alto forno, respectivamente, como adequados para serem utilizados na estabilização.

Primordialmente, a execução da obra não deve ser feita em dias chuvosos, e todo carregamento de cimento para a adição deve conter certificado do fabricante/distribuidor, com informações das análises realizadas em sua caracterização que são exigidas pela norma. É de extrema responsabilidade do executor da obra manter a integridade dos materiais e serviços aplicados.

O pavimento deve estar com a camada anterior pronta para que inicialmente seja feita a homogeneização do solo junto ao cimento, existindo assim duas formas: mistura em central e mistura na pista, podendo ser escolhida conforme a sua viabilidade. A primeira é armazenada em silos, transportada em esteiras e misturada em equipamentos “pug-mil”, que consiste em uma caixa metálica que em seu interior contém elementos misturadores. A mistura na pista, comumente denominada “rasga saco”, é realizada em etapas: o preparo da faixa, distribuição de cimento e a homogeneização do solo e o cimento com o auxílio de moto niveladora e grade de disco.

Para ambos os tipos de homogeneização, deve-se levar em consideração a relação do volume com a porcentagem de cimento a ser utilizado na obra, umedecendo até a umidade ótima, determinada em laboratório, e enleirar o material, deixando-o curar por 72 horas antes de sua compactação.

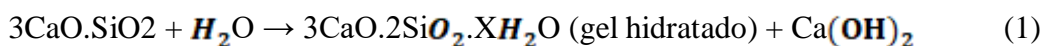
Quanto à compactação, em casos inacessíveis aos rolos compactadores, como cabeceiras de pontes e viadutos, é apropriado utilizar rolos vibratórios portáteis ou sapos mecânicos. Após o espalhamento e nivelamento do material na pista, para a melhor otimização da compactação, deve evoluir as passadas ou o percurso do equipamento, longitudinalmente começando pelas bordas, evoluindo nos trechos tangentes das duas bordas para o centro, em percursos equidistantes do eixo. Deve-se levar em consideração também a espessura da camada que pode variar de 10 a 20 centímetros após sua compactação.

O acabamento é realizado em uma ação conjunta de moto niveladora e de rolos de pneu liso-vibratório, com a condição que a moto niveladora é utilizada apenas quando necessário, não podendo ser utilizada para correção de depressão por adição de material.

a) Reações da mistura solo-cimento:

Segundo Marques (2003), através das reações químicas que são geradas na hidratação do cimento (mistura do cimento com água), se desenvolvem vínculos químicos entre as superfícies dos grãos do cimento e as partículas de solo que estão em contato com o mesmo.

Na mistura solo-cimento, as reações podem ser representadas pelas equações quantitativas, apresentadas nas equações (1) e (2), evidenciando apenas as reações que envolvem o silicato tri cálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$), por ser este o constituinte de maior atuação do cimento (MOH, 1962).



O silicato de cálcio hidratado ($3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{XH}_2\text{O}$) é assumido como sendo o produto final da hidratação, tanto do $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ como do $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. Segundo Pitta *et al.* (1988), o silicato originado do $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ é estável somente quando em contato com soluções pozolânicas, cujos produtos endurecem em uma velocidade bem mais lenta (FERRAZ, 1994).

2.2 MÉTODOS DE CONTROLE TÉCNOLÓGICOS DOS SOLOS EM LABORATÓRIO

2.2.1 Preparo da amostra de solo

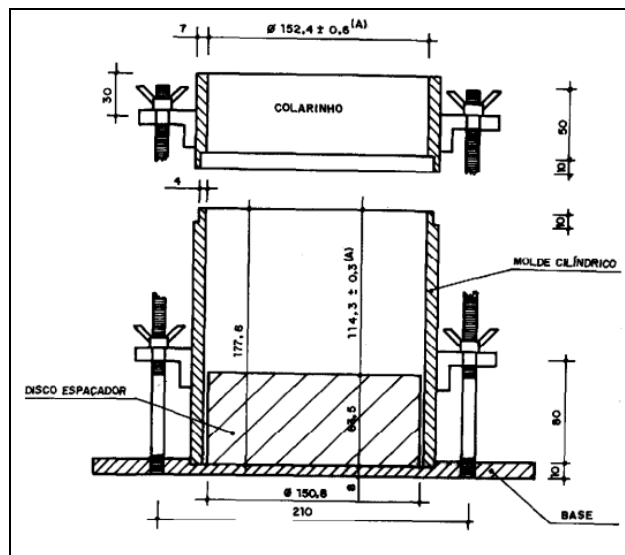
Para o controle tecnológico de determinado solo, são realizados procedimentos iniciais do material, de acordo com a NBR 6457 (ABNT, 2016):

- Secagem da amostra ao ar, até próxima da umidade higroscópica;
- Desmanche dos torrões, evitando-se quebra de grãos e realizando homogeneização;
- Verificação da passagem da amostra na peneira 4,8 mm;
- Se acaso ficar retido material da amostra na peneira 4,8 mm, passar a mesma na peneira 19,1 mm, no intuito de desmanchar os torrões eventualmete ainda existentes, sem forçar;
- No caso de haver algum material retido na peneira 19,1 mm, passar o material na peneira 76,2 mm, desprezá-lo substituindo proporcionalmente seu peso com material retido na peneira 19,1 mm e 4,8 mm.

2.2.2 Compactação de solo

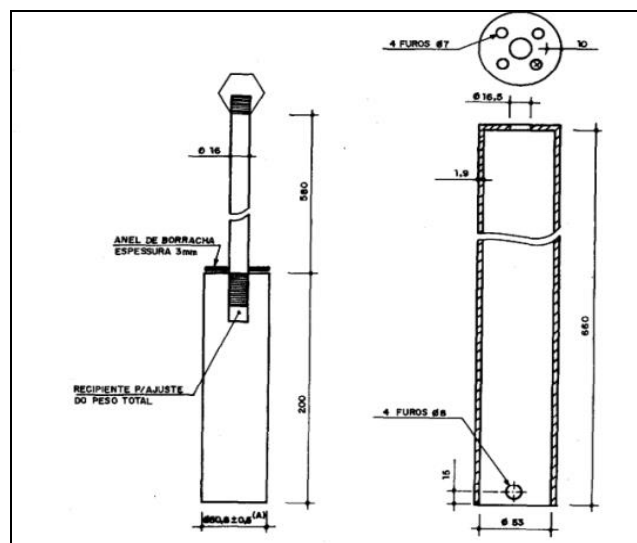
Para a execução da compactação do material, utiliza-se como referência a NBR7182 (ABNT, 2016) e recomenda-se que a utilização do cilindro é escolhida de acordo com o ensaio realizado. Para o CBR, utiliza-se o cilindro grande, conforme a figura 7. Consequentemente, para a realização da compactação, utiliza-se também o soquete grande, conforme a figura 8;

Figura 7: Cilindro Grande para Compactação.



Fonte: NBR7182 (ABNT, 2016).

Figura 8: Soquete Grande para Compactação.



Fonte: NBR7182 (ABNT, 2016).

A energia de compactação especificada na NBR7182 (ABNT, 2016) é classificada como: normal, intermediária e modificada. No quadro 3, estão assinaladas características inerentes à cada energia;

Quadro 3: Energia de Compactação.

| Cilindro | Características inerentes à cada energia de compactação | Energia | | |
|----------|---|---------|---------------|------------|
| | | Normal | Intermediário | Modificada |
| Pequeno | Soquete | Pequeno | Grande | Grande |
| | Número de camadas | 3 | 3 | 5 |
| | Número de golpes por camadas | 26 | 21 | 5 |
| Grande | Soquete | Grande | Grande | Grande |
| | Número de camadas | 5 | 5 | 5 |
| | Número de golpes por camadas | 12 | 26 | 55 |
| | Altura do disco espaçador (mm) | 63,5 | 63,5 | 63,5 |

Fonte: NBR 7182 (ABNT, 2016).

No processo de execução do ensaio, é necessário separar a amostra em cinco partes iguais de acordo com o volume do cilindro, fixar o molde cilíndrico à sua base, acoplar o cilindro complementar e apoiar o conjunto em uma base rígida. Ao usar o cilindro grande, colocar também uma folha de papel filtro com diâmetros igual ao do molde utilizado, para evitar a aderência do solo compactado com a superfície metálica da base ou do disco espaçador;

Colocar na bandeja metálica o material preparado de acordo com a NBR 6457 (ABNT, 2016), e com auxílio da proveta, adicionar água gradativamente e homogenizando continuamente o material, de forma a se obter um teor de umidade em torno de 5% abaixo da umidade ótima presumível. A segunda amostra com umidade 2% superior à primeira e assim por diante;

Após a completa homogeneização do material, realizar a compactação, atentando-se ao soquete segundo o quadro 3, de acordo com o estudo específico. Os golpes do soquete devem ser aplicados perpendicularmente e distribuídos uniformemente sobre a superfície de cada camada, sendo que as alturas das camadas compactadas devem ser aproximadamente iguais;

Após a compactação da última camada, retirar o cilindro complementar depois de escarificar o material em contato com a parede do mesmo, com auxílio de espátula. Deve haver um excesso de, no máximo 10 mm de solo compactado acima do molde, que deve ser

removido e rasado com auxílio de régua biselada. Feito isso, remover o molde cilíndrico de sua base;

Pesar o conjunto e, por subtração do peso do molde cilíndrico, obter o peso úmido do solo compactado;

As porções ensaiadas devem ser desprezadas e, dos cinco pontos obtidos ao final do ensaio, dois devem estar no ramo seco, um próximo à umidade ótima e dois no ramo úmido da curva de compactação.

2.2.3 Granulometria

Para a realização do ensaio, é necessário fazer o preparo da amostra segundo a NBR 6457 (ABNT, 2016), que descreve que a amostra também deve ser previamente secada ao ar livre até a umidade higroscópica, tomar uma fração passada na peneira de 76mm, desprezando o material eventualmente retido. Ao separar o material passado na peneira 76 mm, tomar uma quantidade, de acordo com a dimensão dos grãos, conforme indicado na Tabela 2.

Tabela 2: Quantidade de Amostra para Análise Granulométrica.

| Dimensões dos grãos maiores contidos na amostra, determinada por observação visual (mm) | Quantidade mínima a tomar (kg) |
|---|--------------------------------|
| >5 | 1 |
| 5 a 25 | 4 |
| >25 | 8 |

Fonte: NBR 6457 (ABNT, 2016).

Após a pesagem da amostra, é necessário:

- Lavar o material – a parte fina, passar o material na peneira 0,075 mm e, a parte grossa, passar na peneira 2,0 mm;
- Após a lavagem – a parte fina, retida na peneira 0,075 mm, deve-se levar à estufa, à temperatura de 105°C a 110°C, após seca, passar nas peneiras 1,2; 0,6; 0,42; 0,25; 0,15; 0,075 mm e anotar com resolução de 0,01 g, as massas retidas acumuladas em cada peneira;

- O mesmo processo deve ser realizado com a parte grossa da amostra, diferindo apenas, que após seca, passar nas peneiras 50, 38, 25, 19, 9,5 e 4,8 mm.

2.2.4 Limite liquidez

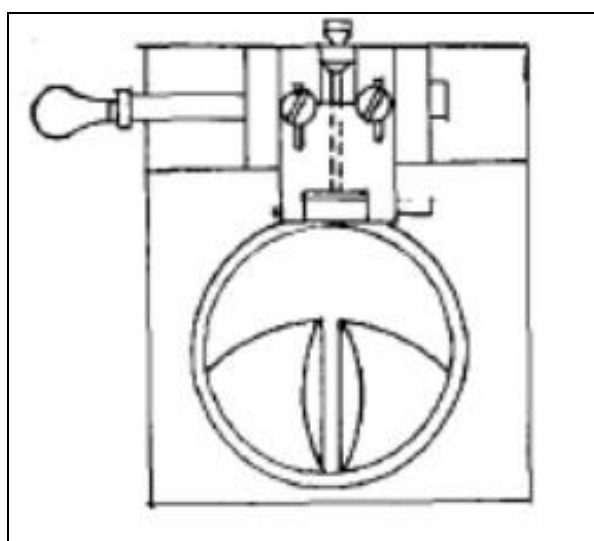
Inicialmente, separa-se metade da mistura passada na peneira 0,42 mm, a partir da separação da amostra, conforme a NBR 6457(ABNT, 2016); coloca-se a amostra na cápsula de porcelana, adiciona-se água destilada em pequenos incrementos, amassando e revolvendo vigorosa e continuamente com auxílio da espátula, de forma a obter uma pasta homogênea, com consistência tal que sejam necessários cerca de 35 golpes para fechar a ranhura.

O tempo de homogeneização deve estar compreendido entre 15 e 30 minutos, sendo o maior intervalo de tempo para solos mais argilosos.

Transfere-se parte da mistura para a concha, moldando-a de forma que, na parte central, a espessura seja da ordem de 10 mm. Realiza-se esta operação de maneira que não fiquem bolhas de ar no interior da mistura. Retorna-se o excesso de solo para a cápsula.

Divide-se a massa de solo em duas partes, passando o cinzel através da mesma, de maneira a abrir uma ranhura em sua parte central. Normalmente a articulação da concha, como indicado nas Figuras 9 e 10, o cinzel deve ser deslocado perpendicularmente à superfície da concha.

Figura 9: Vista em Planta Cinzel.



Fonte: NBR 6459 (ABNT, 1980).

Figura 10: Seções Transversais Cinzel.



Fonte: NBR 6459 (ABNT, 1980).

Recoloca-se cuidadosamente a concha no aparelho e golpeia-se contra a base, deixando-a cair em queda livre, girando a manivela à razão de duas voltas por segundo. Anota-se o número de golpes necessários para que as bordas inferiores da ranhura se unam ao longo de 13 mm de comprimento, aproximadamente.

Transfere-se imediatamente uma pequena quantidade do material de junto das bordas que se uniram para um recipiente adequado para determinação da umidade, conforme a NBR 6457 (ABNT, 2016).

Transfere-se o restante da massa para a cápsula de porcelana, lava-se e enxuga-se a concha e o cinzel, adiciona-se água destilada à amostra e homogeneíza-se durante pelo menos 3 minutos, amassando e revolvendo vigorosa e continuamente com auxílio da espátula. Repete-se as operações descritas, obtendo o segundo ponto de ensaio. Repete-se as operações de modo a obter pelo menos mais três pontos de ensaio, cobrindo o intervalo de 35 a 15 golpes.

2.2.5 Limite plasticidade

A segunda metade da amostra preparada de acordo com a NBR 6457 (ABNT, 2016) e seguindo a NBR 7180 (ABNT, 1984) coloca-se a amostra na cápsula de porcelana, adicionando-se água em pequenos incrementos, amassando e revolvendo, vigorosa e continuamente, com auxílio da espátula, de forma a obter uma pasta homogênea, de

consistência plástica. O tempo total de homogeneização deve estar compreendido entre 15 e 30 minutos, sendo o maior intervalo de tempo para solos mais argilosos.

Toma-se 10 g da amostra assim preparada e forma-se uma pequena bola que deve ser rolada sobre a placa de vidro com pressão suficiente da palma da mão para lhe dar a forma de cilindro. Se a amostra se fragmentar antes de atingir o diâmetro de 3 mm, retorna-se à cápsula de porcelana, adiciona-se água destilada, homogeneiza-se durante pelo menos 3 minutos, amassando e revolvendo, vigorosa e continuamente, com auxílio da espátula e repete-se o procedimento. Se a amostra atingir o diâmetro de 3 mm sem se fragmentar, amassa-se o material e repete-se o procedimento.

Ao se fragmentar o cilindro, com diâmetro de 3 mm e comprimento da ordem de 100 mm (o que se verifica com o gabarito de comparação), transfere-se imediatamente as partes do mesmo para um recipiente adequado, para determinação da umidade conforme a NBR 6457 (ABNT, 2016). Repete-se as operações de modo a obter pelo menos três valores de umidade.

2.2.6 Índice suporte Califórnia

No ensaio de índice suporte Califórnia, é feita a leitura da resistência à penetração de um corpo de prova com material saturado e compactado, utilizando um pistão com seção transversal a 3 pol², penetrando a uma velocidade de 0,05 pol/min. O resultado da resistência à penetração é obtido em porcentagem, para padronização de referência é utilizado o ensaio de uma amostra de brita graduada de alta qualidade, sendo o valor corresponde a 100% neste ensaio.

O DNER especifica parâmetros para o resultado de CBR de cada tipo de camada. O subleito e as diferentes camadas do pavimento devem ser compactados de acordo com os valores fixados nas “Especificações Gerais” do DNER, recomendando-se que, em nenhum caso, o grau de compactação seja inferior a 100%.

Para ensaios laboratoriais, os materiais do subleito devem apresentar, para a expansão e CBR, os seguintes valores:

- CBR > 2%;
- Expansão < 2%.

Para os materiais constituintes do pavimento, as seguintes características são exigidas:

- Materiais para reforço do subleito:
 - ✓ CBR maior que o do subleito;
 - ✓ Expansão < 1%.

- Materiais para sub-base:
 - ✓ CBR > 20%;
 - ✓ IG (Índice de Grupo) = 0;
 - ✓ Expansão < 1%.

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

Se $LL > 25\%$ e $IP > 6\%$, o material pode ser empregado em base (satisfeitas às demais condições), desde que o equivalente de areia (EA) > 30.

Após ter realizado todos os ensaio de compactação seguindo a NBR7182 (ABNT, 2016), deve-se colocar o corpo de prova emergido em um tanque com água, em um período de no mínimo de quatro dias e sobre ele dois discos anelares com massa total de 4.540 gramas, podendo variar para mais ou menos 20 gramas. Deve-se colocar na borda superior do cilindro o extensômetro, para que seja medido ao decorrer dos quatro dias, de 24 em 24 horas, emergidos à expansão do material. Terminado o período de saturação, retira-se o corpo de prova do tanque e deixa-se escoar a água durante 15 minutos, conforme a NBR 9895 (ABNT, 1987).

Passado o tempo estipulado de escoamento, o corpo de prova está pronto para o ensaio de penetração e deve-se:

Colocar no topo de cada corpo-de-prova, dentro do molde cilindro mesmas sobrecargas utilizadas no ensaio de expansão.

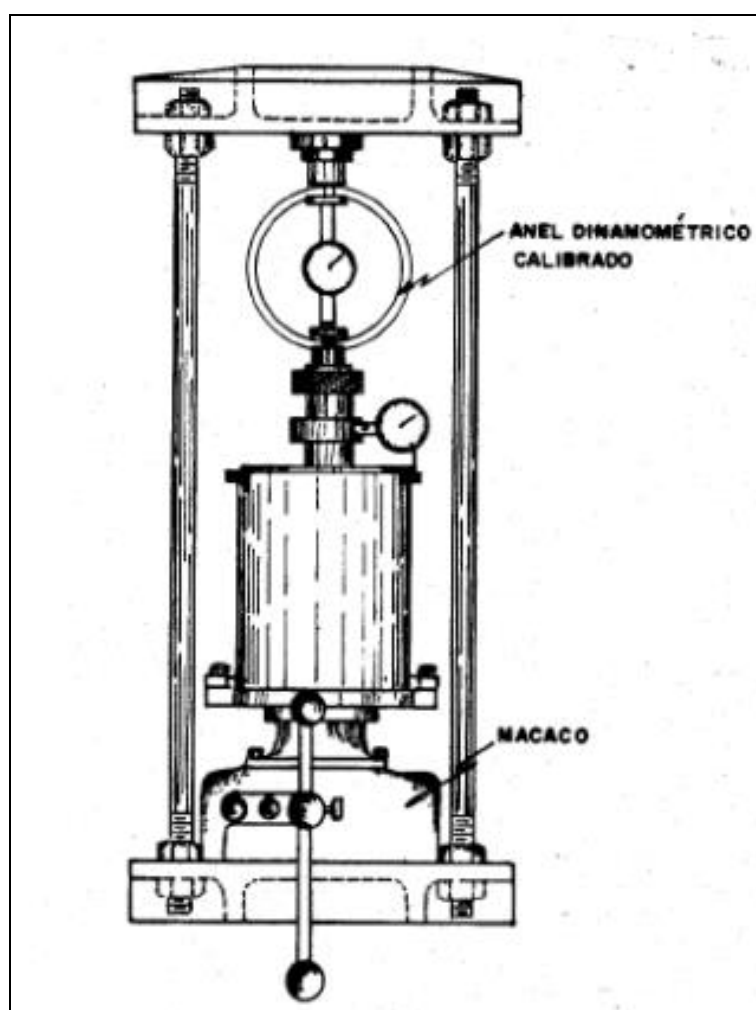
Colocar esse conjunto no prato da prensa e proceder ao assentamento do pistão de penetração no solo, pela aplicação de uma carga de aproximadamente 45 N controlada pelo deslocamento do ponteiro do extensômetro do anel dinamômetro;

zerar, a seguir, o extensômetro do anel dinamômetro e o que mede a penetração do pistão no solo. Acionar a manivela da prensa com a velocidade de 1,27 mm/min. Cada leitura considerada no extensômetro do anel é função de uma penetração do pistão no solo e de um tempo especificado para o ensaio.

As leituras efetuadas no extensômetro do anel medem encurtamentos diamétricos provenientes da atuação das cargas. No gráfico de aferição do anel têm-se correspondência entre as leituras efetuadas no extensômetro do anel e as cargas atuantes. NBR9895 (ABNT, 1987).

A figura a seguir ilustra o modelo de prensa adequada para a realização do ensaio:

Figura 11: Prensa para Ensaio de CBR.



Fonte: NBR9895 (ABNT, 1987).

3 ESTUDO DE CASO

3.1 INTRODUÇÃO

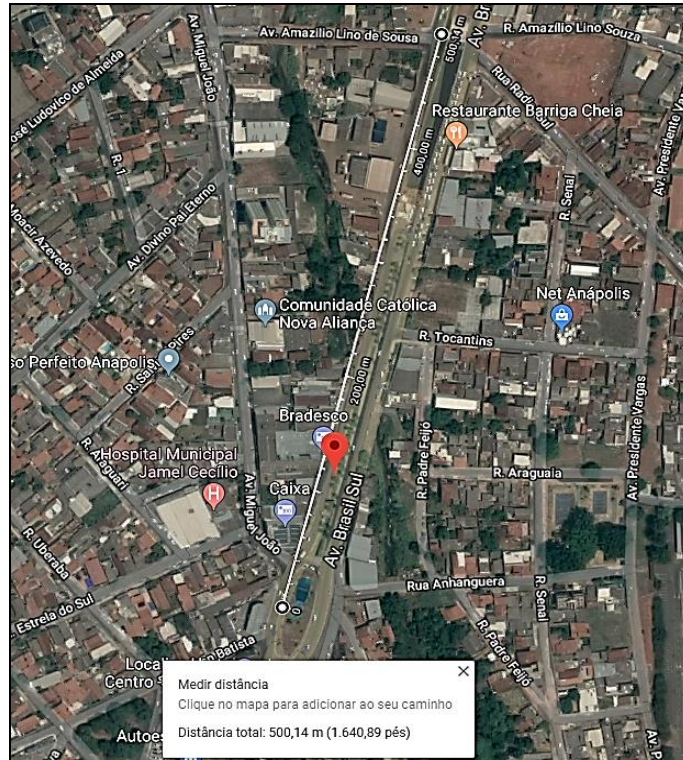
No ano de 2016, começaram as execuções das obras para adequação do Plano Diretor na cidade de Anápolis, que tem como compromisso, segundo o artigo 132, capítulo II, da lei complementar nº 349 (PMA, 2016), de facilitar os deslocamentos e a circulação de pessoas e bens na cidade, e conta com diversas diretrizes que especificam os objetivos segundo à mobilidade.

O trecho escolhido para estudo mede cerca de 500 metros e situa-se na Avenida Brasil Sul, Vila Jussara, Anápolis-GO, sendo uma das primeiras obras, concretizando a normatização do plano diretor. A avenida é considerada o corredor do desenvolvimento, abrange cerca de 14 quilômetros e se estende de norte a sul da área urbana do município. Está cercada de variedades de comércios, como redes gastronômicas, hoteleiras, automobilísticas; opções de lazer, como o Brasil Park Shopping e o estádio Jonas Duarte. Conta também com os principais estabelecimentos públicos, como a prefeitura, câmara municipal e o fórum do município. Suas extremidades também ligam as principais rodovias, BR-060 (Goiânia/Brasília), BR-153 (Anápolis/Belém) e BR-414 (Anápolis/Corumbá/Niquelândia) (EVANGELISTA, 2012).

A obra de alargamento faz parte dos 47 quilômetros de corredores exclusivos e preferências para o transporte coletivo, que estará ao longo das principais avenidas de Anápolis, como a Avenida Brasil, eixo norte-sul. Devido à grandiosidade da obra, o projeto está sendo executado em etapas, sendo dividido na construção dos corredores e de dois viadutos que já foram concluídos. O investimento realizado ficou em cerca de R\$ 74 milhões, contrato assinado com a Caixa Econômica Federal, fruto do Pró Transportes/ PAC-2 (ANÁPOLIS, 2016).

Os resultados dos ensaios de resistência mecânica utilizados neste estudo foram obtidos a partir da análise de solo da execução da obra de alargamento da via, após o viaduto no cruzamento da Avenida Brasil com a Rua Amazílio Lino de Sousa, sentido sul, como pode ser observado na figura 12.

Figura 12: Localização do Trecho de Estudo.



Fonte: Google Maps (2018).

As figuras 13 e 14 foram coletadas via acervo digital e demonstram o trecho antes das obras de estreitamento do canteiro central e do viaduto que antecede o trecho.

Figura 13: Avenida Brasil Sul - Final do Trecho Estudado.



Fonte: Google Maps (2017).

Figura 14: Avenida Brasil Sul - Início do Trecho Estudado.



Fonte: Google Maps (2017).

Ao ser feito o estudo do solo da região, foi observado que o solo encontrado na jazida não atendia aos critérios descritos no IPR 667/22 (DNER,1981) que trata dos materiais granulares empregados na camada da base. O manual especifica também que, caso o limite de liquidez for superior a 25 e/ou o índice de plasticidade for superior a 6, o material pode ser empregado na base seguindo a condição de que em sua composição haja o superior de 30% de areia. Foram feitas todas as adequações e no dia 23 de abril de 2018 o viaduto juntamente com o alargamento foi entregue à população, como pode ser observado nas figuras 15,16 e 17, a extensão estudada já concluída.

Figura 15: Avenida Brasil Sul - Início do Trecho Estudado.



Fonte: Acervo pessoal dos autores (2018).

Figura 16: Avenida Brasil Sul - Início do Trecho Estudado.



Fonte: Acervo pessoal dos autores (2018).

Figura 17: Viaduto no Cruzamento da Avenida Brasil com a Avenida Amazílio Lino de Sousa.



Fonte: Acervo pessoal dos autores (2018).

A razão da escolha do trecho é devido ao acompanhamento do início ao fim da execução da obra. Assim, foi elaborado um acervo para a realização de um estudo aprofundado da obra em questão.

3.2 CLASSIFICAÇÃO DA VIA

Segundo o DNIT (2010), a classificação de uma via deve ser feita a partir dos volumes e a natureza do tráfego, que são parâmetros que definem as necessidades, influenciando diretamente as características geométricas, como número de faixas e suas larguras, raios de curvas e rampas. Em relação ao tráfego, a Avenida Brasil no sistema funcional, é classificada com sistema arterial principal, pois nela se encontram as principais atividades privadas e públicas do município.

3.3 EXECUÇÃO DO TRECHO

O trecho foi executado no decorrer dos meses de Janeiro e Fevereiro de 2018, após o término do viaduto citado acima, mas seu acesso só foi liberado após a entrega do alargamento, pois o mesmo fazia parte da segunda etapa da concepção da obra. Para o início da realização da obra, foi feito o corte do antigo pavimento, afastando-o em 3 metros para dentro do canteiro central, utilizando a lâmina escarificadora de arado da moto niveladora. Como a avenida é uma das principais da cidade, a obra foi planejada para que não interrompesse o fluxo de carros da região, como pode ser observado na figura 18.

Figura 18: Corte no Trecho da Avenida Brasil.



Fonte: Acervo pessoal dos autores (2018).

Após ser feito o corte, foi realizado o nivelamento para o lançamento do material preparado com cimento. Em desacordo com a norma, a homogeneização do cimento foi

realizada na jazida, sem a utilização de silos para armazenamento como recomendado, sendo exposto a efeitos naturais e sem a utilização de misturadores mecânicos, utilizando apenas uma escavadeira hidráulica, como é observado na figura 19.

Figura 19: Cimento Utilizado para Homogeneização.



Fonte: Acervo pessoal dos autores (2018).

Após o material ser misturado, foi carregado e lançado na pista para nivelamento e compactação. A moto niveladora foi utilizada para o espalhamento e nivelamento do material na pista. Logo em seguida foi umedecido com o caminhão pipa e preparado para a compactação, realizada com rolo compactador vibratório que, de acordo com a norma, foi feita com a quantidade de passadas estabelecidas com o equipamento. Para a verificação da compactação e umidade ótima, foram realizados ensaios, como o *speedy test*, para determinar a umidade e o ensaio de densidade *in situ*, para a determinação da densidade pré-definida em laboratório. A figura 20 mostra o início da compactação do trecho.

Figura 20: Compatação no Trecho Estudado.



Fonte: Acervo pessoal dos autores (2018).

No dia da execução do trecho estava nublado com alto risco de chuva, o que ocorreu na metade da execução da compactação, sendo necessária a repetição das atividades no dia seguinte. A figura 21 mostra o trecho logo após a chuva.

Figura 21: Trecho Após a Chuva.



Fonte: Acervo pessoal dos autores (2018).

3.4 MATERIAIS E METÓDOS

3.4.1 Materiais

3.4.1.1 Amostra de solo

O trecho de estudo se encontra em área urbana, por esta razão foi necessária a utilização de empréstimo de solo, que tem como finalidade fornecer materiais para a realização das camadas de pavimento. Para realização do alargamento foram utilizados materiais escavados da jazida de solo Samirão, localizada próximo a BR-414, saída de Anápolis, sentido Planalmira, cerca de 13 quilômetros de distância da aplicação, como pode ser observada sua localização na figura 22 e sua composição na figura 23.

Figura 22: Localização Jazida de Solo Samirão.



Fonte: Google Maps (2018).

Figura 23: Jazida de Solo Samirão.



Fonte: Acervo pessoal dos autores (2018).

O solo encontrado na jazida teve o material com 30,3% passando na peneira nº 200, com uma porção de 5,7% retida na peneira nº 40 e, segundo o TRB, está adequado no subgrupo A-2-4, como pode ser observado no capítulo 2, quadro 2. A classificação é obtida a partir da granulometria, limite de liquidez, índice de liquidez e índice do grupo e subgrupo, definindo o material plástico com mistura de silte e pedregulho mal graduado e esta categorização é normalmente utilizada em campo pelo DNIT, porém podemos definir como GP-GM, pelo o método do SUCS.

3.4.1.2 Cimento utilizado

O cimento utilizado, tanto na obra quanto nos ensaios laboratoriais, foi o CP-II-Z-32 (Cimento Portland Composto com Pozolana), que possui em sua composição, de 6 a 14% de pozolana e até 10% de material carbonático.

No laboratório, para a realização dos ensaios, a dosagem do cimento foi separada em cápsulas, de forma que seu cálculo fosse mensurado sobre o volume do cilindro uma porcentagem de 1, 2 e 3.

3.4.2 Métodos

3.4.2.1 Amostras de solo (Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização)

A seguir é detalhada a descrição do método, tendo como referência a NBR 6457 (ABNT, 2016). A aparelhagem utilizada para a realização do ensaio foi a seguinte:

- Balança com resolução de 5g que permite pesar até 60 kg;
- Balança com resolução de 1g que permite pesar até 2 kg;
- Peneiras de 25,4 mm - 19,1mm - 4,8mm - 2,0 mm - 0,42 mm;
- Bandejas metálicas.

A execução do ensaio é descrita da seguinte forma:

A amostra foi espalhada e destorroada, logo em seguida seca ao ar livre, até que perdesse grande parte de sua umidade, como pode ser observado na figura 24.

Figura 24: Secagem da Amostra.



Fonte: Acervo pessoal dos autores (2018).

Após o recolhimento do material, foi feito o peneiramento verificando se a amostra passava inteiramente na peneira 4,8 mm. Como existiu amostra retida, este material passou na peneira 19,1 mm, sendo que uma quantidade do solo também ficou retida, portanto passou esta quantidade na peneira 25,4 mm e, por fim, o restante passou inteiramente na peneira 76,2 mm.

Após o peneiramento, é separado o material passante na peneira 4,8 mm, classificando-o como fino. O retido na 4,8 mm é classificado como médio e o material restante denomina-se grosso, como pode ser observado na figura 25.

Figura 25: Separação da Amostra de Solo.



Fonte: Acervo pessoal dos autores (2018).

Logo após a separação, a amostra foi pesada, calculada e preparada de acordo com o percentual de cada material, levando em consideração que sua caracterização foi realizada com o solo *in natura*.

Inicialmente, foram feitas as divisões do material em cinco bandejas para cada amostragem de estudo, realizando o cálculo da substituição para o preparo dos corpos de prova e para realização do ensaio de granulometria, com pode ser observado no quadro 4.

Quadro 4: Método de Substituição de Amostra.

| PENEIRA (mm) | MATERIAL | PESO (g) | PESO (%) | SUBSTITUIÇÃO (%) | PESO POR CILINDRO (g) | GRANULOMETRIA (g) |
|--------------|----------|----------------|---------------|------------------|-----------------------|-------------------|
| 25,4 | | 26.268 | 14,7 | | | 294 |
| 19,1 | Grosso | 17.691 | 9,9 | | | 198 |
| 4,8 | Médio | 72.549 | 40,6 | 65,1 | 3.908 | 811 |
| Fundo | Fino | 62.364 | 34,9 | 34,9 | 2.092 | 697 |
| TOTAL | | 178.872 | 100,00 | 100,0 | 6.000 | 2.000 |

Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.

3.4.2.2 Dosagem de cimento

Posteriormente à separação das amostras, foi necessário fazer o cálculo da quantidade de cimento em gramas a ser adicionada para cada percentual de estudo, como pode ser observado no quadro 5.

Quadro 5: Método de Dosagem de Cimento.

| <i>Cimento</i> | <i>Substituição (g)</i> | Material (%) | | Material (g) | | <i>Cimento (g)</i> | <i>Total (g)</i> |
|----------------|-------------------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|--------------------|------------------|
| | | <i>Médio</i> | <i>Fino</i> | <i>Médio</i> | <i>Fino</i> | | |
| 1% | 5.940 | 65,10 | 34,90 | 3.867 | 2.073 | 60,00 | 6.000 |
| 2% | 5.880 | | | 3.828 | 2.052 | 120,00 | 6.000 |
| 3% | 5.820 | | | 3.789 | 2.031 | 180,00 | 6.000 |

Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.

3.4.2.3 Compactação

Para a realização do ensaio, foram utilizados os seguintes materiais:

- Balança com resolução de 5 g que permite pesar até 60 kg;
- Balança com resolução de 1 g que permite pesar até 2 kg;
- Peneiras de 19,1mm - 4,8mm;

- Estufa capaz de manter a temperatura entre 50° C a 250° C;
- Cápsulas metálicas;
- Bandejas metálicas;
- Régua de aço;
- Cilindro metálico grande, composto por sua base, colarinho metálico e espaçador metálico;
- Soquete grande;
- Proveta de 2000 ml;
- Extrator de corpo de prova;
- Concha metálica;
- Colher de pedreiro;
- Base rígida de concreto;
- Papel filtro do diâmetro do cilindro;
- Tanque de alumínio.

Após ser calculada a dosagem do cimento foi feita a compactação do solo no cilindro, segundo a norma NBR7182 (ABNT, 2016). Foi aplicada uma energia intermediária com 26 golpes, utilizando um espaçador de 63,5 mm e dividindo em cinco camadas, como é referenciado no quadro 4. Foram moldados cinco corpos de prova para cada teor de cimento estudado, solo *in natura* e amostra coletada na execução do trecho. Das cinco amostras compactadas, apenas três (seca, ótima e saturada) foram levadas para o tanque com água durante 96 horas com uma sobrecarga de aproximadamente 4,5 kg, como mostra a figura 26. Cada cilindro utilizado teve seu volume cotado pelo o laboratório.

Para uma total homogenização, foi acrescentado água, de forma que a umidade esteja acima de 5% da umidade ótima, conforme prescrição da norma. A determinação da umidade higroscópica foi feita ao retirar duas porções de solo previamente preparados, colocando-os na estufa por 24 horas a uma temperatura de 120°C.

Figura 26: Cilindros no Tanque.



Fonte: Acervo pessoal dos autores, 2018.

3.4.2.4 Granulometria

Materiais utilizados para a realização do ensaio:

- Peneiras de série normal;
- Estufa capaz de manter a temperatura entre 50° C a 250° C;
- Recipientes metálicos;
- Escova de cerdas metálicas;
- Pincel de cerdas macias;
- Tanque para lavagem;
- Balança com resolução de 1 g que permite pesar até 2 kg.

Conforme citado no quadro 4, é separado parte do material para o ensaio de granulometria, que foi realizado em concordância com a NBR 7181 (ABNT, 1984). A porção separada foi lavada e seca em estufa e, após 24 horas, peneirada com o conjunto de série normal. O ensaio foi importante para classificar o solo, pois a partir dele foi definido o tamanho das partículas contidas na amostra, como observa-se na figura 27.

Figura 27: Ensaio de Granulometria.



Fonte: Acervo pessoal dos autores, 2018.

3.4.2.5 Limite de liquidez

Materiais necessários para a realização do ensaio:

- Estufa capaz de manter a temperatura entre 50° C a 250° C;
- Cápsulas metálicas;
- Cápsula de porcelana;
- Espátula metálica;
- Peneira 0,42 mm;
- Cinzel curvo;
- Aparelho casagrande;
- Balança com resolução de 1 g que permite pesar até 2 kg.

No capítulo 2, item 2.2.4, está detalhado o procedimento realizado em laboratório deste estudo de caso. Foram obtidos os resultados encontrados na tabela 3:

Tabela 3 – Quantidade de Golpes Limite Liquidez.

| CÁPSULA Nº | C + S + A (g) | C + SOLO (g) | CÁPSULA (g) | ÁGUA (g) | SOLO (g) | UMIDADE (%) | GOLPES |
|---------------|------------------|-----------------|----------------|-------------|-------------|----------------|--------|
| 222 | 20,70 | 17,54 | 7,26 | 3,16 | 10,28 | 30,7 | 51 |
| 240 | 20,57 | 17,23 | 7,11 | 3,34 | 10,12 | 33,0 | 42 |
| 253 | 20,51 | 17,21 | 7,34 | 3,30 | 9,87 | 33,4 | 32 |
| 231 | 21,21 | 17,54 | 7,40 | 3,67 | 10,14 | 36,2 | 21 |
| 242 | 21,49 | 17,33 | 7,19 | 4,16 | 10,14 | 41,0 | 10 |

Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.

3.4.2.6 Limite de plasticidade

Materiais necessários para a realização do ensaio:

- Estufa capaz de manter a temperatura entre 50° C a 250° C;
- Cápsulas metálicas;
- Cápsula de porcelana;
- Espátula metálica;
- Balança com resolução de 1 g que permite pesar até 2 kg;
- Placa de vidro;
- Ambiente climatizado;
- Gabarito cilíndrico para comparação com 3 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento.

Os resultados obtidos seguiram a normatização descrita no capítulo 2, item 2.3.5, como pode ser observado na tabela 4.

Tabela 4: Umidade Média.

| CÁPSULA Nº | C + S + A (g) | C + SOLO (g) | CÁPSULA (g) | ÁGUA (g) | SOLO (g) | UMIDADE (%) |
|-----------------------------------|------------------|-----------------|----------------|-------------|-------------|----------------|
| 250 | 9,30 | 8,81 | 7,02 | 0,49 | 1,79 | 27,4 |
| 244 | 9,53 | 9,02 | 7,13 | 0,51 | 1,89 | 27,0 |
| 248 | 9,58 | 9,08 | 7,22 | 0,50 | 1,86 | 26,9 |
| 236 | 9,60 | 9,13 | 7,34 | 0,47 | 1,79 | 26,3 |
| 239 | 9,70 | 9,21 | 7,39 | 0,49 | 1,82 | 26,9 |
| Umidade Média (LP) = 26,88 | | | | | | |

Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.

O cálculo da umidade média pode ser compreendido da seguinte forma:

$$UM = \frac{\Sigma \textit{Umidade (\%)}}{\textit{Quantidade de amostra}} \quad (3)$$

3.4.2.7 Índice suporte Califórnia

O índice suporte Califórnia foi o ensaio primordial para o desenvolvimento deste estudo, pois, a partir dele, foi possível analisar a resistência do solo e obter o resultado do estudo de caso. A aparelhagem necessária para o desenvolvimento do ensaio foi a seguinte:

- Disco anelar de aço para sobrecarga;
- Prensa de solo, normatizada para ensaio de índice suporte Califórnia;
- Extrator de corpo de prova;
- Extensômetro;
- Cronômetro.

O ensaio foi realizado de acordo com a norma citada no capítulo 2, item 2.3.6, sendo levado em consideração também sua expansão que é nula em razão do material de estudo ter estrutura granular. A figura 28 mostra o laboratorista fazendo o uso da prensa de realização do ensaio.

Figura 28: Ensaio de Índice Suporte Califórnia.



Fonte: Acervo pessoal dos autores, 2018.

A penetração foi realizada com uma prensa elétrica, conforme mostra a figura 28. Após ser colocado o disco anelar da sobrecarga, ajusta-se todo o conjunto no prato da prensa e procede-se ao assentamento do pistão para a penetração da amostra. Aplica-se uma carga de 45 N aproximadamente, controlada pelo deslocamento do ponteiro do extensômetro do anel dinamométrico. É necessário zerar o cronômetro e os extensômetros, logo após aciona-se a manivela da prensa com uma velocidade de 1,27 mm/min. Cada leitura realizada no extensômetro do anel dinamométrico é realizada observando o tempo e a penetração definida em norma, e medem encurtamentos diametrais que provêm das cargas, como mostra a tabela 5.

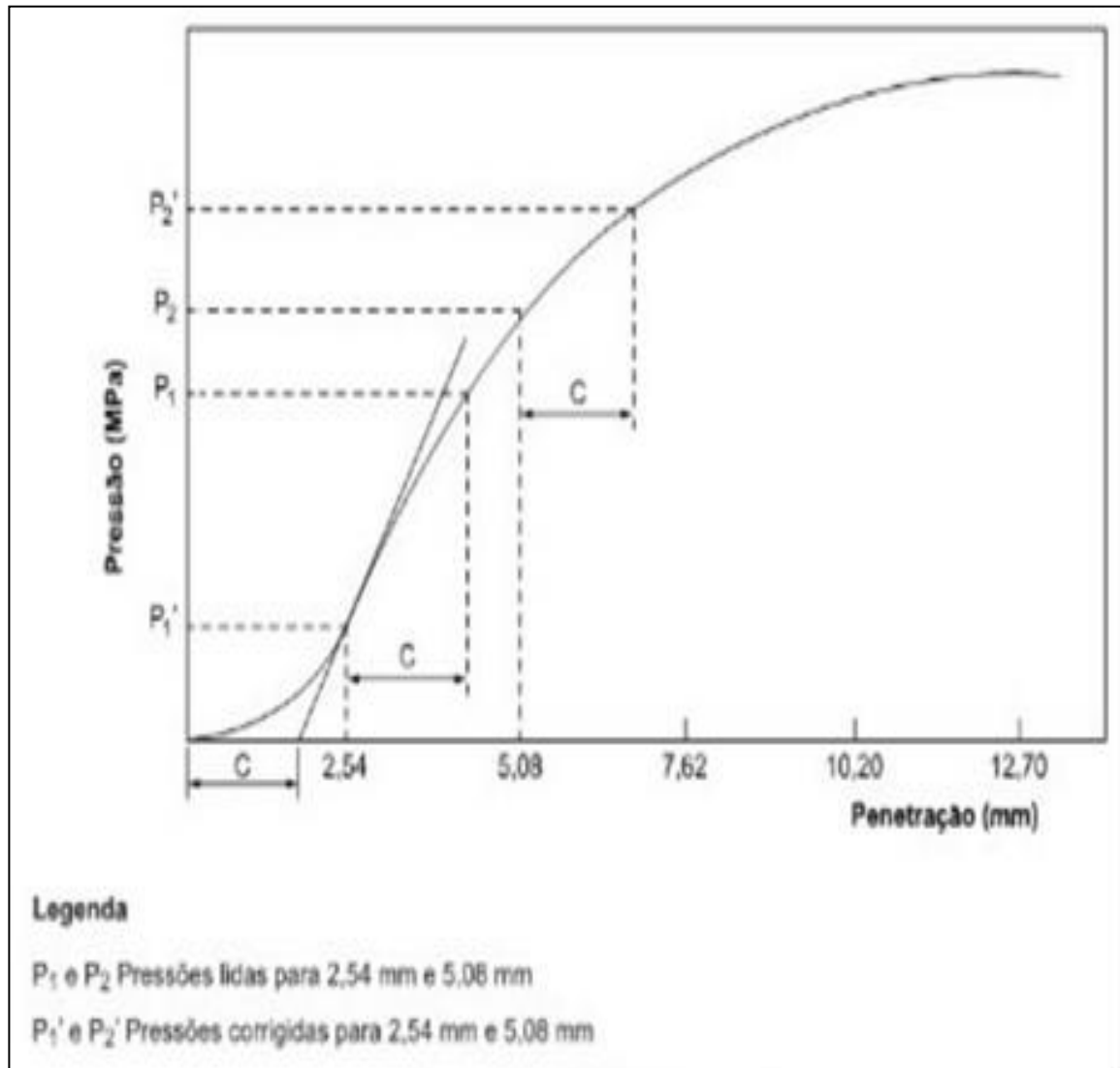
Tabela 5 – Tabela Índice Suporte California.

| Tempo (min.) | Penetração (mm) | Pressão padrão (kgf/cm²) | Leitura (mm) | Carga (N) | Pressão (Kgf/cm²) |
|-------------------------|----------------------------|--|-------------------------|----------------------|---|
| 0,5 | 0,63 | - | | | |
| 1,0 | 1,27 | - | | | |
| 1,5 | 1,90 | - | | | |
| 2,0 | 2,54 | 70,31 | | | |
| 3,0 | 3,81 | - | | | |
| 4,0 | 5,08 | 105,46 | | | |
| 5,0 | 6,35 | 131,58 | | | |
| 6,0 | 7,62 | 161,71 | | | |
| 10,0 | 12,70 | 182,80 | | | |

Fonte: NBR 9895 (ABNT,1987, adaptado).

Retiradas as leituras, fez-se a curva pressão em relação à penetração do pistão, logo em seguida é traçada uma tangente à curva no ponto de inflexão, até que seja interceptado o eixo das abscissas. O trecho corrigido do gráfico será onde se encontra a tangente mais a porção convexa da curva original, considerando-o ponto de mudança da origem, sendo que o ponto C é a distância do ponto de origem dos eixos. Deve-se somar as abscissas dos pontos de penetração 2,54 mm e 5,08 mm à distância C, e a curva obtida é correspondente às novas ordenadas que representam os valores corrigidos de pressão, como pode ser observado na figura 29. É realizada a correção do ajuste do ponto zero, em função da irregularidade da superfície do corpo de prova.

Figura 29: Gráfico de Correção.



Fonte: NBR 9895 (ABNT, 2016).

Realizadas as correções necessárias, calculou-se o Índice Suporte Califórnia correspondente a cada corpo de prova, utilizando a seguinte equação:

$$ISC = \frac{\text{Pressão corrigida} \times 100}{\text{pressão padrão}} \quad (4)$$

4 RESULTADOS DA PESQUISA E ANÁLISE DE DADOS

Como descrito anteriormente, foram emersos apenas três corpos de prova de cada amostra de estudo, um com a umidade ótima e, os outros dois com a umidade intercalada, para que todos alcançassem o ponto de saturação. As tabelas 6 e 7 ilustram a resistência encontrada nos ensaios de índice suporte Califórnia em sua umidade ótima.

Tabela 6: Índice Suporte Califórnia Solo *In Natura* - Amostra Umidade Ótima.

| Pressão Padrão (Kgf/cm ²) | Penetr. (mm) | Tempo (minuto) | Molde n° | | 22A | | ISC (%) |
|---------------------------------------|--------------|----------------|----------------------|----------------------------------|----------------------------------|--|---------|
| | | | Leitura Extens. (mm) | Pressão | | | |
| | | | | Calculada (Kgf/cm ²) | Corrigida (Kgf/cm ²) | | |
| - | 0,63 | 0,5 | 47 | 5,3 | | | |
| - | 1,27 | 1,0 | 98 | 11,1 | | | |
| - | 1,90 | 1,5 | 146 | 16,6 | | | |
| 70,31 | 2,54 | 2,0 | 207 | 23,5 | 32,4 | | 46,1 |
| - | 3,81 | 3,0 | 350 | 39,7 | | | |
| 105,46 | 5,08 | 4,0 | 486 | 55,1 | 62,3 | | 59,0 |
| 131,58 | 6,35 | 5,0 | 600 | 68,0 | | | |
| 161,71 | 7,62 | 6,0 | 700 | 79,4 | | | |
| 182,8 | 12,70 | 10,0 | | | | | |
| I.S.C(C.B.R) | | | | | 59,0 % | | |

Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.

Tabela 7: Índice Suporte Califórnia Coletado em Pista com 2% de Cimento - Amostra Umidade Ótima.

| Pressão Padrão (Kgf/cm ²) | Penetr. (mm) | Tempo (minuto) | Molde n° | | 240 | | ISC (%) |
|---------------------------------------|--------------|----------------|----------------------|----------------------------------|----------------------------------|--|---------|
| | | | Leitura Extens. (mm) | Pressão | | | |
| | | | | Calculada (Kgf/cm ²) | Corrigida (Kgf/cm ²) | | |
| - | 0,63 | 0,5 | 156 | 17,7 | | | |
| - | 1,27 | 1,0 | 234 | 26,5 | | | |
| - | 1,90 | 1,5 | 354 | 40,1 | | | |
| 70,31 | 2,54 | 2,0 | 502 | 56,9 | 62,2 | | 88,5 |
| - | 3,81 | 3,0 | 655 | 74,3 | | | |
| 105,46 | 5,08 | 4,0 | 810 | 91,9 | 94,8 | | 89,9 |
| 131,58 | 6,35 | 5,0 | 978 | 110,9 | | | |
| 161,71 | 7,62 | 6,0 | 1164 | 132,0 | | | |
| 182,8 | 12,70 | 10,0 | | | | | |
| I.S.C(C.B.R) | | | | | 89,9 % | | |

Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.

O solo *in natura* e o coletado em pista foram os primeiros solos comparados para o desenvolvimento dos resultados. Pode-se observar que o solo *in natura* obteve resultado de ISC igual a 59,0% de resistência à penetração, não atingindo a exigência normatizada, observando também que o material coletado em pista obteve resultado igual a 89,9%. Para que pudesse ser feito a análise do percentual escolhido pelo projetista, foram realizados ensaios laboratoriais de verificação utilizando a porcentagem de 1%, 2% e 3% de cimento. As tabelas 8, 9 e 10 mostram os resultados encontrados.

Tabela 8: Índice Suporte Califórnia com 1% de Cimento - Amostra Umidade Ótima.

| Pressão Padrão (Kgf/cm ²) | Penetr. (mm) | Tempo (minuto) | Molde n° | | 507 | | ISC (%) |
|---------------------------------------|--------------|----------------|----------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------|---------|
| | | | Leitura Extens. (mm) | Pressão | | | |
| | | | | Calculada (Kgf/cm ²) | Corrigida (Kgf/cm ²) | | |
| - | 0,63 | 0,5 | 88 | 10,0 | | | |
| - | 1,27 | 1,0 | 187 | 21,2 | | | |
| - | 1,90 | 1,5 | 288 | 32,7 | | | |
| 70,31 | 2,54 | 2,0 | 388 | 44,0 | 48,8 | | 69,4 |
| - | 3,81 | 3,0 | 603 | 68,4 | | | |
| 105,46 | 5,08 | 4,0 | 797 | 90,4 | 94,7 | | 89,8 |
| 131,58 | 6,35 | 5,0 | 989 | 112,2 | | | |
| 161,71 | 7,62 | 6,0 | 1136 | 128,8 | | | |
| 182,8 | 12,70 | 10,0 | | | | | |
| I.S.C(C.B.R) | | | | | | 89,8 % | |

Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.

Tabela 9: Índice Suporte Califórnia com 2% de Cimento - Amostra Umidade Ótima.

| Pressão Padrão (Kgf/cm ²) | Penetr. (mm) | Tempo (minuto) | Molde n° | | 247 | | ISC (%) |
|---------------------------------------|--------------|----------------|----------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------|---------|
| | | | Leitura Extens. (mm) | Pressão | | | |
| | | | | Calculada (Kgf/cm ²) | Corrigida (Kgf/cm ²) | | |
| - | 0,63 | 0,5 | 187 | 21,2 | | | |
| - | 1,27 | 1,0 | 359 | 40,7 | | | |
| - | 1,90 | 1,5 | 546 | 61,9 | | | |
| 70,31 | 2,54 | 2,0 | 734 | 83,2 | 84,7 | | 120,5 |
| - | 3,81 | 3,0 | 1006 | 114,1 | | | |
| 105,46 | 5,08 | 4,0 | 1312 | 148,8 | 149,9 | | 142,1 |
| 131,58 | 6,35 | 5,0 | 1698 | 192,6 | | | |
| 161,71 | 7,62 | 6,0 | 1916 | 217,3 | | | |
| 182,8 | 12,70 | 10,0 | | | | | |
| I.S.C(C.B.R) | | | | | | 142,1 % | |

Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.

Tabela 10: Índice Suporte Califórnia com 3% de Cimento - Amostra Umidade Ótima.

| Pressão Padrão (Kgf/cm ²) | Penetr. (mm) | Tempo (minuto) | Molde n° | | 62 | |
|---------------------------------------|--------------|----------------|----------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------|
| | | | Leitura Extens. (mm) | Pressão | | ISC (%) |
| | | | | Calculada (Kgf/cm ²) | Corrigida (Kgf/cm ²) | |
| - | 0,63 | 0,5 | 400 | 45,4 | | |
| - | 1,27 | 1,0 | 998 | 113,2 | | |
| - | 1,90 | 1,5 | 1300 | 147,4 | | |
| 70,31 | 2,54 | 2,0 | 1513 | 171,6 | 179,9 | 255,8 |
| - | 3,81 | 3,0 | 1953 | 221,5 | | |
| 105,46 | 5,08 | 4,0 | 2315 | 262,5 | 267,5 | 253,6 |
| 131,58 | 6,35 | 5,0 | 2577 | 292,2 | | |
| 161,71 | 7,62 | 6,0 | 2800 | 317,5 | | |
| 182,8 | 12,70 | 10,0 | | | | |
| I.S.C(C.B.R) | | | | | 255,8 % | |

Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.

Observa-se que a resistência obtida com o teor de 1% atingiu 89,8%, 2% relativo a 142,1% e 3% igual a 255,8%. Em anexo, encontram-se amostras anteriores e posteriores a umidade ótima de cada ensaio.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi realizada a dosagem do cimento com 1%, 2% e 3%, e ao ser realizado o ensaio de CBR, que é o método mais tradicional e utilizado para dosagem de cimento, constatou-se que com 1% atingiria a resistência necessária para bases de pavimento, que é a camada analisada neste estudo, a partir disso observa-se que o custo efetivo com a utilização de cimento, poderia ser reduzido em 50%.

Foi definido em projeto o percentual de 2% de cimento misturado ao solo para a realização de todo trecho, mesmo com a informação de que com a porcentagem de 1% atingiria a resistência mecânica do solo, pois já se previa que com a falta de recursos necessários para a realização da obra, existiria a necessidade de majorar o teor de cimento.

A execução do trecho poderia ser feita de forma mais efetiva, pois não foi levado em consideração o dia chuvoso, sendo necessária a execução das mesmas atividades no dia seguinte. A falta de adequação à norma no momento da homogeneização e o armazenamento irregular do cimento são causas para a ineficiência da mistura lançada no trecho, justificando assim o acréscimo do fator de segurança empregado pelo laboratório.

Outro fator que deve ser analisado é a cura do cimento, levando em consideração que a ES142 (DNIT, 2010) cita que se deve aguardar 72 horas antes de se aplicar o solo com cimento na pista e compactar, pois é o tempo que se leva para que haja a reação do cimento depois de hidratado, o que não ocorreu no trecho estudado, sendo compactado logo em seguida em que foi homogeneizado e lançado na pista, pois a cura é necessária para reduzir a retração e o aparecimento de trincas, levando assim ao aumento da vida útil do pavimento.

Assim, a análise realizada nesse trabalho proporciona informações que mostram a importância de se ter um bom controle laboratorial.

5.1 SUGESTÕES A TRABALHOS FUTUROS

Para estudos futuros, indica-se que se faça o mesmo estudo com outros métodos de dosagem e uma análise mais aprofundada sobre a reação do cimento com o solo, buscando outros estabilizantes e comparando com a eficiência do cimento.

Pode-se citar também para trabalhos futuros, a observação do mesmo trecho levando em consideração patologias que possam vir a acontecer com o decorrer do tempo, analisando se existiram consequências da diferença de execução com as normas vigentes.

Outra possibilidade, é o surgimento de trincas de retração por ter sido utilizado cimento na camada de base e o estudo da repercussão de trincas em pavimento com uso do solo modificado por cimento.

Da mesma forma, a realização de mais estudos sobre solos modificados com cimento no estado de Goiás, utilizando os mesmos parâmetros de ensaios para que se possa formar um banco de dados amplo da região, bem como a implantação de pesquisas e estudos no meio acadêmico em relação à pavimentação e camadas de pavimento, para que os discentes saiam da universidade com maior conhecimento técnico da área.

REFERÊNCIAS

ABCP. **Quais são os tipos de cimento Portland.** Disponível em: <<https://www.abcp.org.br/cms/perguntas-frequentes/quais-sao-os-tipos-de-cimento-portland/>> Acesso em 06 abr. 2018.

ABIKO, A. K. **Estabilização de solos com cimento pozolânico de cinza de casca de arroz e de resíduos cerâmico.** Tese de Doutorado. SP-EPUSP. São Paulo, 1987.

ADAM, J-P. **Roman building: materials and techniques.** London: B.T. Batsford, 1994.

ALMEIDA, Gil Carvalho Paulo de. **Caracterização física e classificação dos solos.** Universidade Federal de Juiz de Fora. Faculdade de Engenharia. Departamento de Transportes, 2005.

ANÁPOLIS. Prefeitura Municipal. **Lei Complementar nº 349**, de 07 de julho de 2016. Anápolis-GO. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-anapolis-go>> Acesso em 30 set. 2018.

_____. **Obras de mobilidade urbana seguem aceleradas:** trecho se concentra na avenida Pedro Ludovico e faz parte dos 47 quilômetros de corredores exclusivos. 2016. Disponível em: <<http://www.anapolis.go.gov.br/portal/multimidia/noticias/ver/obras-de-mobilidade-urbana-seguem-aceleradas>> Acesso em 23 set. 2018.

ANTAS, Paulo Mendes et al. **Estradas:** projeto geométrico e de terraplanagem. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 264 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457:** amostras de solos. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459:** determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502:** rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180:** determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181:** análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182:** compactação. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895:** índice de suporte Califórnia. Rio de Janeiro, 1987.

BERNUCCI, Bariance L. *et al.* **Pavimentação asfáltica**. Rio de Janeiro: Gráfica Imprinta, 2008.

BRASIL. **740**: manual de projeto geométrico de travessias urbanas. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, 2010, 392 p.

BRASIL. **ES 142**: base de solo melhorado com cimento. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, 2010, 392 p.

BRASIL. **ES 143**: base de solo cimento. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, 2010, 392 p.

BRASIL. **IPR 667/22**: método de projeto de pavimentos flexíveis. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. 3ª edição. Rio de Janeiro, 1981.

BRASIL. **Lei nº 10.336**, de 19 de dezembro de 2001. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LEIS_2001/L10336.htm> Acesso em 05 abr. 2018.

BRASIL. **Manual de Pavimentação**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, 2006.

BUCKMAN, H. D.; BRADY, N. C. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3ª edição em português, 1974.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6ª edição, 2º volume. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1988.

CASTRO, Cesar Augusto Alves de. **Estudo da técnica de anti-pó com emulsão de xisto em pavimentos para baixo volume de tráfego**. Dissertação de Mestrado. Faculdade Federal do Rio de Janeiro, 1991.

DNIT-**Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes**. Disponível em: <<http://www1.dnit.gov.br/historico/>> Acesso em 05 abr. 2018.

EPL-**Empresa de Planejamento e Logística SA**. Disponível em: <<http://www.epl.gov.br/das-mercadorias-sao-transportadas-por-rodovia-no-brasil-diz-estudo-da-epl>> Acesso em 05 abr. 2018.

EVANGELISTA, Carol. **Avenida Brasil**: corredor do desenvolvimento. Anápolis, 16 jun. 2012. Disponível em: <http://www.jornalcontexto.net/noticia_detalhe.php?id_noticia=3866> Acesso em 28 set. 2018.

FERRAZ, R. L. **Contribuição ao estudo da estabilização de solos para fins rodoviários e habitacionais**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Viçosa: UFV, 1994.

GOOGLE MAPS. **Street View**. 2017. Disponível em: <[https://www.google.com.br/maps/@-16.3381082,-](https://www.google.com.br/maps/@-16.3381082,-48.953044,3a,75y,20.8h,80.95t/data=!3m6!1e1!3m4!1sKRpHV1EgXi_dAy5yAtjsbA!2e0!7i13312!8i6656)

[48.953044,3a,75y,20.8h,80.95t/data=!3m6!1e1!3m4!1sKRpHV1EgXi_dAy5yAtjsbA!2e0!7i13312!8i6656](https://www.google.com.br/maps/@-16.3381082,-48.953044,3a,75y,20.8h,80.95t/data=!3m6!1e1!3m4!1sKRpHV1EgXi_dAy5yAtjsbA!2e0!7i13312!8i6656)> Acesso em 23 set. 2018.

_____. **Imagens de satélite**. 2018. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/place/Av.+Brasil+Sul+-+Vila+Jussara,+An%C3%A1polis+-+GO/@-16.3373464,-48.9542414,549m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x935ea484ff06ee59:0xdd34aad5b7e486f3!8m2!3d-16.3371873!4d-48.9526673>> Acesso em 23 set. 2018.

Histoire du monde. **Sistema de infraestrutura romana**. Disponível em: <<https://www.histoiredumonde.net/La-construction-des-voies-romaines.html>> Acesso em 06 jun. 2018.

MACEDO, Mirtes Maria de. **Solos modificados com cimento**: efeito no módulo de resiliência e no dimensionamento de pavimentos. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Pernambuco. CTG, 2004.

MARGARY, I. **Roman roads in Britain**. London: John Baker, 1973.

MARQUES, G. L.O. **Pavimentação (TRN 032)**. Faculdade de Engenharia. Universidade Federal de Juiz de Fora. 2006.

MASCARENHAS NETO, J.D. **Methodo para construir as estradas em Portugal**. Edição fac-similada, impressa em 1985 a partir do original do Arquivo-Biblioteca do ex-Ministério das Obras Públicas, 1790.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. Editora Pini: São Paulo, 1ª edição, 1982. In: LATORRACA, J. V. F.; ALBUQUERQUE, C. E. C. **Produção de painéis cimento madeira de eucalipto**. Anais do Seminário Sólidos de Eucalipto: avanços científicos e tecnológicos. Lavras-MG, 26 a 27 de jun. 2002.


OLIVEIRA, Rodrigo Fidelis Viana de. **Análise de dois solos modificados com cimento para dimensionamento de pavimentos**. Dissertação de Mestrado. Curso de Engenharia Geotécnica. Instituto Federal de Ouro Preto. 2011. 186 p. Disponível em: <https://www.nugeo.ufop.br/uploads/nugeo_2014/teses/arquivos/rodrigo-oliveira.pdf> Acesso em 21 set. 2018.

SAUNIER, B.; DOLFUS, C.; GEFFROY, G. **Histoire de la locomotion terrestre**. v. II. Paris: L'illustration, 1936. Disponível em: <<http://www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/270/TFG%20-%20Eng%20Civil/TFG%20-%20Jandson.pdf>> Acesso em 06 abr. 2018.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de técnicas de pavimentação**. São Paulo: Pini, 2001. 642 p.

VILLIBOR, Douglas F. et al. **Pavimentos de baixo custo para vias urbanas**. São Paulo: Arte e Ciência Editora, 2ª Edição, 2009.


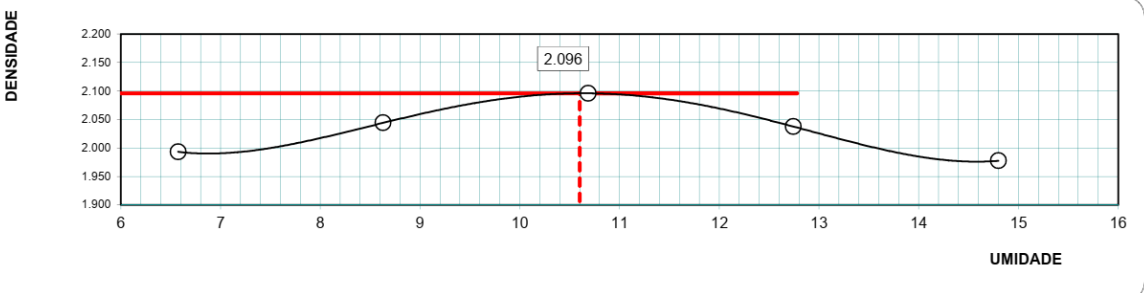
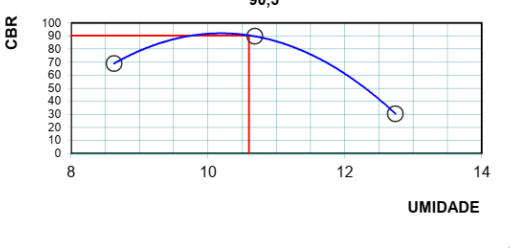
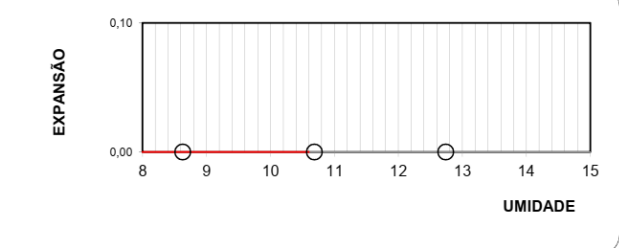
ANEXOS


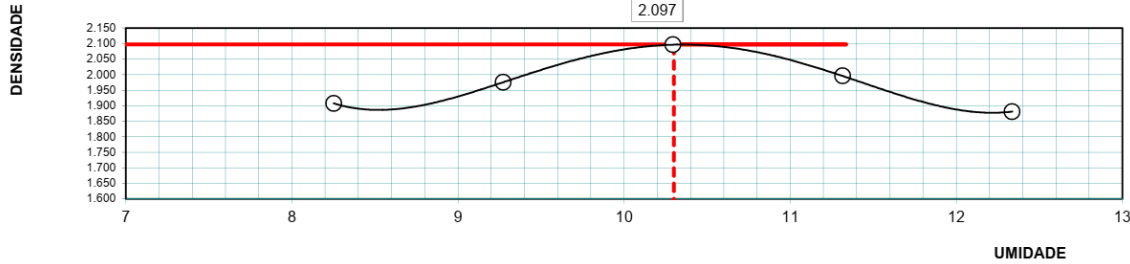
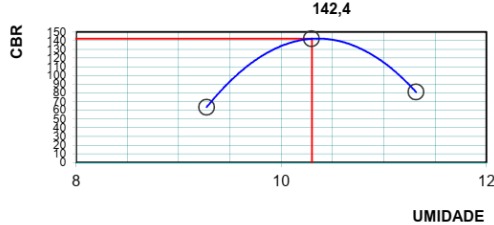
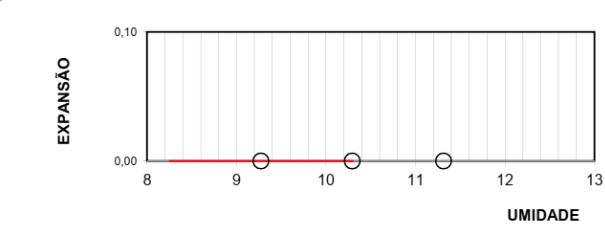
|  ENGTEC Controle Tecnológico Ltda | | ENGTEC CONTROLE TECNOLÓGICO LTDA | | | | | |
|--|---------------|----------------------------------|---------|------------------|-----------------|----------------------|-------|
| SERVIÇOS DE CONTROLE TECNOLÓGICO COMPACTAÇÃO NBR - 7182 | | | | | | REG. Nº: | |
| CIDADE: ANÁPOLIS-GO | | OBRA: AMOSTRA NATURAL | | | | DATA: 23/05/18 | |
| MATERIAL: CASCALHO LATERITICO | | ESTACA: | FURO: | PROP.: | ESTUDO: BASE | | |
| % MAT. RET. # Nº 4 | PROCTOR | N.A | GOLPES: | CALCULADOR: | OPERADOR: | | |
| | INTERMEDIARIO | - | 26 | MARCELE E MISAEL | LEANDRO | | |
| UMIDADE | | | | | | UMIDADE HIGROSCÓPICA | |
| CÁPSULA | Nº | | | | | 38 | 46 |
| C + S + A | (g) | | | | | 105,20 | 90,09 |
| C + S | (g) | | | | | 102,57 | 88,15 |
| A - ÁGUA | (g) | | | | | 2,63 | 1,94 |
| C - CÁPSULA | (g) | | | | | 14,35 | 14,35 |
| S - SOLO | (g) | | | | | 88,22 | 73,80 |
| UMIDADE - H (%) | | | | | | 3,0 | 2,6 |
| UMI. MÉDIA (%) | | | | | | 2,80 | |
| COMPACTAÇÃO | | | | | | | |
| ÁGUA ADICION. (g) | 340 | 400 | 460 | 520 | 580 | PESO MATERIAL | |
| % ÁGUA ADICION. | 5,7 | 6,7 | 7,7 | 8,7 | 9,7 | 6000 | |
| UMIDADE ADICION. % | 5,8 | 6,9 | 7,9 | 8,9 | 9,9 | PESO MAT. SECO | |
| UMIDADE COMPACTAÇÃO % | 8,6 | 9,7 | 10,7 | 11,7 | 12,7 | 5836 | |
| Nº DO MOLDE | 203 | 306 | 22A | 63 | 562 | CILINDROS | |
| M + S + A (g) | 9.016 | 8.502 | 9.470 | 9.954 | 9.188 | Nº | PESO |
| M - MOLDE (g) | 4.520 | 3.684 | 4.428 | 5.040 | 3.956 | 203 | 4520 |
| S + A (g) | 4.496 | 4.818 | 5.042 | 4.914 | 5.232 | 306 | 3684 |
| DENS. ÚMIDA kg/m³ | 2,227 | 2,290 | 2,334 | 2,329 | 2,310 | 22A | 4428 |
| DENS. CONVERT. kg/m³ | 2,107 | 2,147 | 2,168 | 2,143 | 2,106 | 63 | 5040 |
| DENS. SECA kg/m³ | 2,050 | 2,088 | 2,109 | 2,085 | 2,049 | 562 | 3956 |
| DENS. MÁXIMA kg/m³ = | 2109 | h. ótima % = | 10,6 | I.S.C % = | 59,4 | EXP. % = | 0,00 |


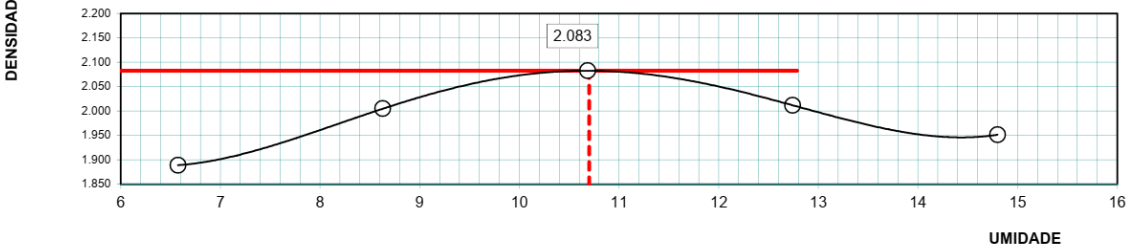
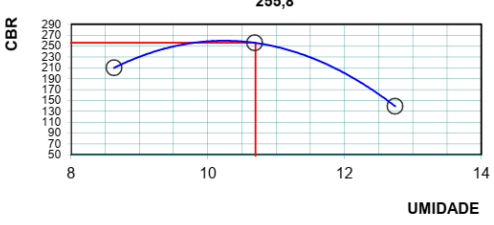
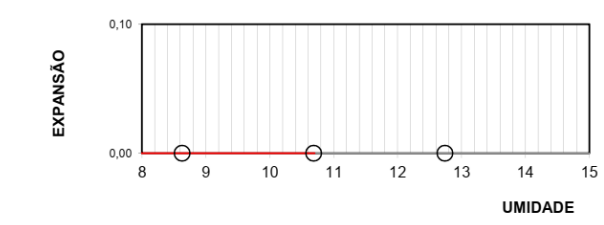
LABORATORISTA


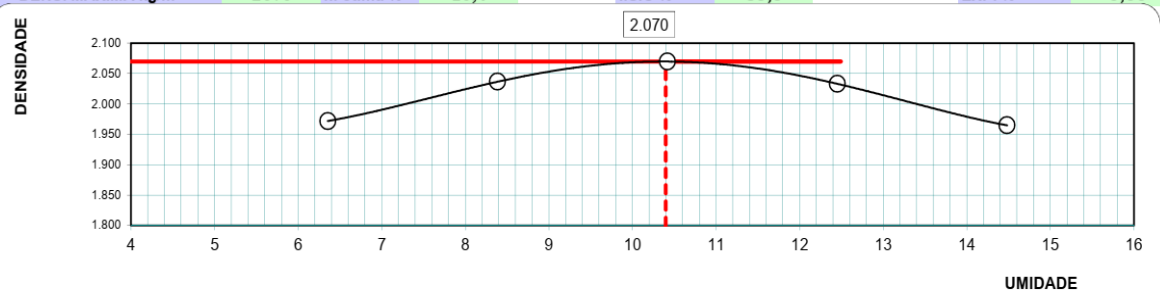
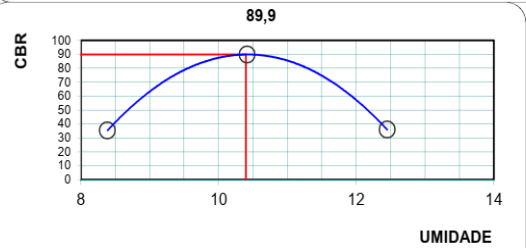
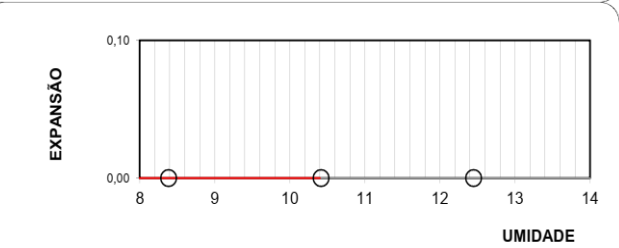
ENCARREGADO LABORATÓRIO


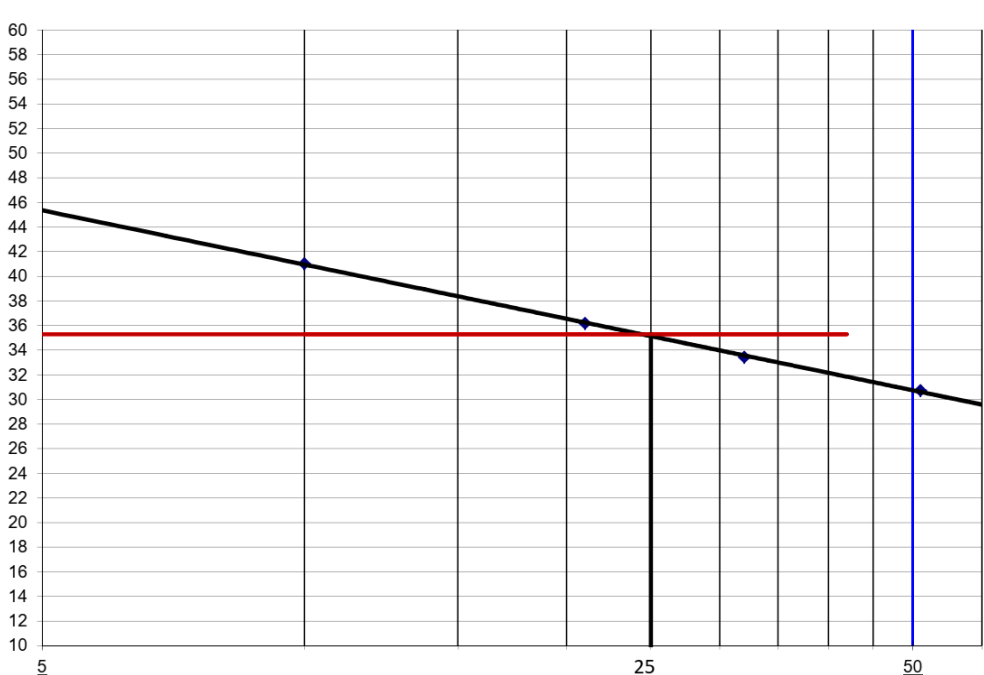
ENG. CIVIL

|  ENGTEC Controle Tecnológico Ltda | | ENGTEC CONTROLE TECNOLÓGICO LTDA | | | | | |
|--|-------|------------------------------------|---------|---|------------------------|----------------------|----------------------|
| SERVIÇOS DE CONTROLE TECNOLÓGICO COMPACTAÇÃO NBR - 7182 | | | | | | REG. Nº: | |
| CIDADE: ANÁPOLIS-GO | | OBRA: AMOSTRA COM 1% DE CIMENTO | | | | DATA: 23/05/18 | |
| MATERIAL: CASCALHO LATERITICO | | | ESTACA: | FURO: | PROFº: | ESTUDO: BASE | |
| % MAT. RET. # N° 4 | | PROCTOR INTERMEDIARIO | N.A | GOLPES: 26 | CALCULADOR: MARCELE | | OPERADOR: LEANDRO |
| UMIDADE | | | | | | UMIDADE HIGROSCÓPICA | |
| CÁPSULA | Nº | | | | | 38 | 46 |
| C + S + A | (g) | | | | | 105,20 | 90,09 |
| C + S | (g) | | | | | 102,57 | 88,15 |
| A - ÁGUA | (g) | | | | | 2,63 | 1,94 |
| C - CÁPSULA | (g) | | | | | 14,35 | 14,35 |
| S - SOLO | (g) | | | | | 88,22 | 73,80 |
| UMIDADE - H (%) | | | | | | 3,0 | 2,6 |
| UMI. MÉDIA (%) | | | | | | 2,80 | |
| COMPACTAÇÃO | | | | | | | |
| ÁGUA ADICION. (g) | 220 | 340 | 460 | 580 | 700 | PESO MATERIAL | |
| % ÁGUA ADICION. | 3,7 | 5,7 | 7,7 | 9,7 | 11,7 | 6000 | |
| UMIDADE ADICION. % | 3,8 | 5,8 | 7,9 | 9,9 | 12,0 | PESO MAT. SECO | |
| UMIDADE COMPACTAÇÃO % | 6,6 | 8,6 | 10,7 | 12,7 | 14,8 | 5836 | |
| Nº DO MOLDE | 188 | 454 | 507 | 597 | 114 | CILINDROS | |
| M + S + A (g) | 8.226 | 10.350 | 9.590 | 9.500 | 8.066 | Nº | PESO |
| M - MOLDE (g) | 3.706 | 5.727 | 4.718 | 4.515 | 2.990 | 188 | 3706 |
| S + A (g) | 4.520 | 4.623 | 4.872 | 4.985 | 5.076 | 454 | 5727 |
| DENS. ÚMIDA kg/m³ | 2,124 | 2,220 | 2,320 | 2,297 | 2,270 | 507 | 4718 |
| DENS. CONVERT. kg/m³ | 2,049 | 2,101 | 2,155 | 2,095 | 2,033 | 597 | 4515 |
| DENS. SECA kg/m³ | 1,993 | 2,044 | 2,096 | 2,038 | 1,977 | 114 | 2990 |
| DENS. MÁXIMA kg/m³ = | 2096 | h. ótima % = | 10,6 | I.S.C % = | 90,3 | EXP. % = | 0,00 |
|  <p>DENSIDADE</p> <p>UMIDADE</p> | | | | | | | |
|  <p>CBR</p> <p>UMIDADE</p> | | | |  <p>EXPANSÃO</p> <p>UMIDADE</p> | | | |
| LABORATORISTA | | ENCARREGADO LABORATÓRIO | | | ENG. CIVIL | | |

|  ENGTEC Controle Tecnológico Ltda | | ENGTEC CONTROLE TECNOLÓGICO LTDA | | | | | |
|--|--------------------------|------------------------------------|---------------|------------------------|------------|----------------------|------|
| SERVIÇOS DE CONTROLE TECNOLÓGICO COMPACTAÇÃO NBR - 7182 | | | | | | REG. Nº: | |
| CIDADE: ANÁPOLIS-GO | | OBRA: AMOSTRA COM 2% DE CIMENTO | | | | DATA: 23/05/18 | |
| MATERIAL: CASCALHO LATERITICO | | ESTACA: | FURO: | PROP.: | | ESTUDO: | |
| % MAT. RET. # Nº 4 | PROCTOR INTERMEDIARIO | N.A | GOLPES: 26 | CALCULADOR: MARCELE | | OPERADOR: LEANDRO | |
| UMIDADE | | | | | | UMIDADE HIGROSCÓPICA | |
| CÁPSULA | Nº | | | | | 7 42 | |
| C + S + A | (g) | | | | | 101,53 100,20 | |
| C + S | (g) | | | | | 99,30 98,85 | |
| A - ÁGUA | (g) | | | | | 2,23 1,35 | |
| C - CÁPSULA | (g) | | | | | 15,83 13,27 | |
| S - SOLO | (g) | | | | | 83,47 85,58 | |
| UMIDADE - H (%) | | | | | | 2,7 1,6 | |
| UMI. MÉDIA (%) | | | | | | 2,12 | |
| COMPACTAÇÃO | | | | | | | |
| ÁGUA ADICION. (g) | 360 | 420 | 480 | 540 | 600 | PESO MATERIAL | |
| % ÁGUA ADICION. | 6,0 | 7,0 | 8,0 | 9,0 | 10,0 | 6000 | |
| UMIDADE ADICION. % | 6,1 | 7,1 | 8,2 | 9,2 | 10,2 | PESO MAT. SECO | |
| UMIDADE COMPACTAÇÃO % | 8,3 | 9,3 | 10,3 | 11,3 | 12,3 | 5875 | |
| Nº DO MOLDE | 487 | 403 | 247 | 277 | 388 | CILINDROS | |
| M + S + A (g) | 7.580 | 7.710 | 8.146 | 7.844 | 9.074 | Nº PESO VOLUME | |
| M - MOLDE (g) | 2.994 | 2.938 | 3.806 | 2.956 | 4.470 | 487 2994 2221 | |
| S + A (g) | 4.586 | 4.772 | 4.340 | 4.888 | 4.604 | 403 2938 2210 | |
| DENS. ÚMIDA kg/m³ | 2,065 | 2,159 | 2,312 | 2,222 | 2,113 | 247 3806 1877 | |
| DENS. CONVERT. kg/m³ | 1,948 | 2,018 | 2,141 | 2,038 | 1,921 | 277 2956 2200 | |
| DENS. SECA kg/m³ | 1,907 | 1,976 | 2,096 | 1,996 | 1,881 | 388 4470 2179 | |
| DENS. MÁXIMA kg/m³ = | 2097 | h. ótima % = | 10,3 | I.S.C % = | 142,4 | EXP. % = | 0,00 |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| LABORATORISTA | | ENCARREGADO LABORATÓRIO | | | ENG. CIVIL | | |

|  ENGTEC Controle Tecnológico Ltda | | ENGTEC CONTROLE TECNOLÓGICO LTDA | | | | | | | |
|--|--------------------------|------------------------------------|---------------|------------------------|------------|----------------------|-------|--|--|
| SERVIÇOS DE CONTROLE TECNOLÓGICO COMPACTAÇÃO NBR - 7182 | | | | | | REG. Nº: | | | |
| CIDADE: ANÁPOLIS-GO | | OBRA: AMOSTRA COM 3% DE CIMENTO | | | | DATA: 23/05/18 | | | |
| MATERIAL: CASCALHO LATERITICO | | ESTACA: | FURO: | PROF.: | | ESTUDO: BASE | | | |
| % MAT. RET. # Nº 4 | PROCTOR INTERMEDIARIO | N/A | GOLPES: 26 | CALCULADOR: MARCELE | | OPERADOR: LEANDRO | | | |
| UMIDADE | | | | | | UMIDADE HIGROSCÓPICA | | | |
| CÁPSULA Nº | | | | | | 38 | 46 | | |
| C + S + A (g) | | | | | | 105,20 | 90,09 | | |
| C + S (g) | | | | | | 102,57 | 88,15 | | |
| A - ÁGUA (g) | | | | | | 2,63 | 1,94 | | |
| C - CÁPSULA (g) | | | | | | 14,35 | 14,35 | | |
| S - SOLO (g) | | | | | | 88,22 | 73,80 | | |
| UMIDADE - H (%) | | | | | | 3,0 | 2,6 | | |
| UMI. MÉDIA (%) | | | | | | 2,80 | | | |
| COMPACTAÇÃO | | | | | | | | | |
| ÁGUA ADICION. (g) | 220 | 340 | 460 | 580 | 700 | PESO MATERIAL | | | |
| % ÁGUA ADICION. | 3,7 | 5,7 | 7,7 | 9,7 | 11,7 | 6000 | | | |
| UMIDADE ADICION. % | 3,8 | 5,8 | 7,9 | 9,9 | 12,0 | PESO MAT. SECO | | | |
| UMIDADE COMPACTAÇÃO % | 6,6 | 8,6 | 10,7 | 12,7 | 14,8 | 5836 | | | |
| Nº DO MOLDE | 154 | 421 | 62 | 375 | 92 | CILINDROS | | | |
| M + S + A (g) | 8.720 | 9.288 | 9.308 | 9.922 | 7.932 | Nº | PESO | | |
| M - MOLDE (g) | 4.590 | 4.488 | 4.248 | 5.120 | 3.186 | 154 | 4590 | | |
| S + A (g) | 4.130 | 4.800 | 5.060 | 4.802 | 4.746 | 421 | 4488 | | |
| DENS. ÚMIDA kg/m³ | 2,013 | 2,178 | 2,305 | 2,268 | 2,240 | 62 | 4248 | | |
| DENS. CONVERT. kg/m³ | 1,942 | 2,061 | 2,141 | 2,068 | 2,006 | 375 | 5120 | | |
| DENS. SECA kg/m³ | 1,889 | 2,005 | 2,083 | 2,012 | 1,951 | 92 | 3186 | | |
| DENS. MÁXIMA kg/m³ = | 2083 | | h. ótima % = | 10,7 | | I.S.C % = | 255,8 | | |
| | | | | | | EXP. % = | | 0,00 | |
|  | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | |  | |
| LABORATORISTA | | ENCARREGADO LABORATÓRIO | | | ENG. CIVIL | | | | |

|  ENGTEC Controle Tecnológico Ltda | | ENGTEC CONTROLE TECNOLÓGICO LTDA | | | | | | |
|--|---|----------------------------------|-------------------------|-------------|-----------|----------------|----------------------|--|
| SERVIÇOS DE CONTROLE TECNOLÓGICO | | | | | | | REG. N.º: | |
| COMPACTAÇÃO NBR - 7182 | | | | | | | | |
| CIDADE: | OBRA: | | | | | DATA: | | |
| ANÁPOLIS-GO | Alargamento Av. Brasil | | | | | 27/02/18 | | |
| MATERIAL: | ESTACA: | FURO: | PROF.º: | ESTUDO: | | | | |
| cascalho laterítico / 2% cimento | | | | BASE | | | | |
| % MAT. RET. # Nº 4 | PROCTOR | N.A | GOLPES: | CALCULADOR: | OPERADOR: | | | |
| | INTERMEDIARIO | - | 26 | MARCELE | LEANDRO | | | |
| UMIDADE | | | | | | | UMIDADE HIGROSCÓPICA | |
| CÁPSULA N.º | | | | | | 24 | 29 | |
| C + S + A (g) | | | | | | 100,24 | 101,44 | |
| C + S (g) | | | | | | 99,02 | 99,94 | |
| A - ÁGUA (g) | | | | | | 1,22 | 1,50 | |
| C - CÁPSULA (g) | | | | | | 14,44 | 15,83 | |
| S - SOLO (g) | | | | | | 84,58 | 84,11 | |
| UMIDADE - H (%) | | | | | | 1,4 | 1,8 | |
| UMI. MÉDIA (%) | | | | | | 1,61 | | |
| COMPACTAÇÃO | | | | | | | | |
| ÁGUA ADICION. (g) | 280 | 400 | 520 | 640 | 760 | PESO MATERIAL | | |
| % ÁGUA ADICION. | 4,7 | 6,7 | 8,7 | 10,7 | 12,7 | 6000 | | |
| UMIDADE ADICION. % | 4,7 | 6,8 | 8,8 | 10,8 | 12,9 | PESO MAT. SECO | | |
| UMIDADE COMPACTAÇÃO % | 6,4 | 8,4 | 10,4 | 12,5 | 14,5 | 5905 | | |
| N.º DO MOLDE | 99 | 253 | 240 | 226 | 55 | CILINDROS | | |
| M + S + A (g) | 7.626 | 8.402 | 8.578 | 9.396 | 9.398 | N.º | PESO | |
| M - MOLDE (g) | 3.008 | 3.718 | 3.886 | 4.396 | 4.724 | 99 | 3008 | |
| S + A (g) | 4.618 | 4.684 | 4.692 | 5.000 | 4.674 | 253 | 3718 | |
| DENS. ÚMIDA kg/m³ | 2,097 | 2,207 | 2,285 | 2,286 | 2,249 | 240 | 3886 | |
| DENS. CONVERT. kg/m³ | 2,004 | 2,069 | 2,103 | 2,066 | 1,996 | 226 | 4396 | |
| DENS. SECA kg/m³ | 1,972 | 2,037 | 2,070 | 2,033 | 1,965 | 55 | 4724 | |
| DENS. MÁXIMA kg/m³ = | 2070 | | h. ótima % = | 10,4 | | I.S.C % = | 89,9 | |
| | | | | | | EXP. % = | 0,00 | |
| DENSIDADE |  | | | | | | | |
| | <p>2.100</p> <p>2.050</p> <p>2.000</p> <p>1.950</p> <p>1.900</p> <p>1.850</p> <p>1.800</p> <p>4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16</p> <p style="text-align: center;">UMIDADE</p> | | | | | | | |
| CBR |  | | | | | | | |
| | <p>100</p> <p>80</p> <p>60</p> <p>40</p> <p>20</p> <p>0</p> <p>8 10 12 14</p> <p style="text-align: center;">UMIDADE</p> | | | | | | | |
| EXPANSÃO |  | | | | | | | |
| | <p>0,10</p> <p>0,00</p> <p>8 9 10 11 12 13 14</p> <p style="text-align: center;">UMIDADE</p> | | | | | | | |
| LABORATORISTA | | | ENCARREGADO LABORATÓRIO | | | ENG. CIVIL | | |

|  | | | | | | ENGTEC CONTROLE TECNOLÓGICO LTDA | | | | |
|--|-------|-------|-------------------------|-------|-------|--------------------------------------|------|--------|------|---------------|
| CIDADE: ANÁPOLIS-GO | | | OBRA: AMOSTRA NATURAL | | | DATA: 24/05/2018 | | | | |
| MATERIAL: CASCALHO LATERITICO | | | | | | EST.OU JAZ.C/ LOCAL: | | PISTA: | | PROFUNDIDADE: |
| ESTUDO: BASE | | | SUB-TRECHO: | | | OPERADOR: LEANDRO | | | | |
| NBR - 6459 LIMITE DE LIQUIDEZ | | | | | | NBR - 7180 LIMITE DE PLÁSTICIDADE | | | | |
| CÁPSULA Nº | 222 | 240 | 253 | 231 | 242 | 250 | 244 | 248 | 236 | 239 |
| C + S + A g | 20,70 | 20,57 | 20,51 | 21,21 | 21,49 | 9,30 | 9,53 | 9,58 | 9,60 | 9,70 |
| C + SOLO g | 17,54 | 17,23 | 17,21 | 17,54 | 17,33 | 8,81 | 9,02 | 9,08 | 9,13 | 9,21 |
| CÁPSULA g | 7,26 | 7,11 | 7,34 | 7,40 | 7,19 | 7,02 | 7,13 | 7,22 | 7,34 | 7,39 |
| ÁGUA g | 3,16 | 3,34 | 3,30 | 3,67 | 4,16 | 0,49 | 0,51 | 0,50 | 0,47 | 0,49 |
| SOLO g | 10,28 | 10,12 | 9,87 | 10,14 | 10,14 | 1,79 | 1,89 | 1,86 | 1,79 | 1,82 |
| UMIDADE % | 30,7 | 33,0 | 33,4 | 36,2 | 41,0 | 27,4 | 27,0 | 26,9 | 26,3 | 26,9 |
| GOLPES | 51 | 42 | 32 | 21 | 10 | Umidade Média (LP) = | | | | 26,88 |
| ÍNDICE DE PLASTICIDADE | | | | | | | | | | |
| LIMITE DE LIQUIDEZ (LL) | | | | | | 35,3 | | | | |
| LIMITE DE PLASTICIDADE (LP) | | | | | | 26,9 | | | | |
| ÍNDICE DE PLASTICIDADE (IP = LL - LP) | | | | | | 8,4 | | | | |
| ÍNDICE DE GRUPO - IG | | | | | | 0 | | | | |
| CLASSIFICAÇÃO HRB | | | | | | A-2-4 | | | | |
| CLASSIFICAÇÃO SUCS | | | | | | GP-GM | | | | |
| GRÁFICO LIMITE DE LIQUIDEZ | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | |
| LABORATORISTA | | | ENCARREGADO LABORATÓRIO | | | ENG. CIVIL | | | | |



ENGTEC CONTROLE TECNOLÓGICO
LTDA

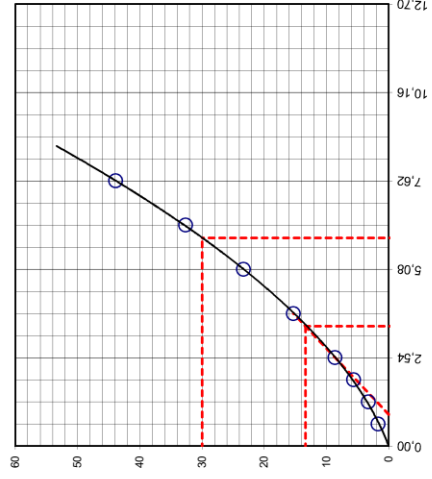
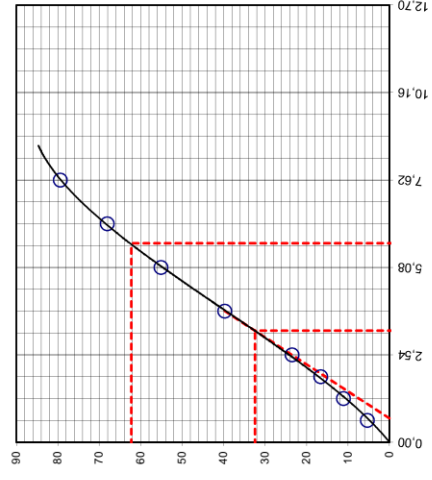
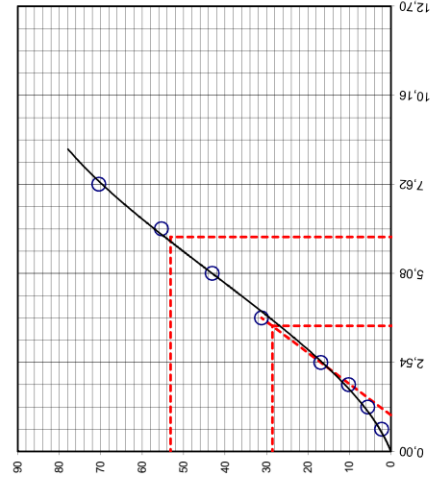
CIDADE: ANAPÓLIS-GO
OBRA: AMOSTRA NATURAL
NBR - 9895

FURO: F-01
DATA: 27/05/18
Constante (CBR):

PROF.: 0
0,1134 0

| ENSAIO DE EXPANSÃO | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------|--------------|-------------|---|--------------|-------------|------|--------------|-------------|------|-------------|-------------|------|
| Data | Hora | Molde nº 203 | | | Molde nº 306 | | | Molde nº 22A | | | Molde nº 63 | | |
| | | Leitura | Diferença % | % | Leitura | Diferença % | % | Leitura | Diferença % | % | Leitura | Diferença % | % |
| 23/05/2018 | 10:00 | | | | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 |
| 24/05/2018 | 10:00 | | | | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 |
| 25/05/2018 | 10:00 | | | | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 |
| 26/05/2018 | 10:00 | | | | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 |
| 27/05/2018 | 10:00 | | | | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | Altura em mm | | | 114 | | | 114 | | | 114 | | |
| | | Altura em mm | | | 114 | | | 114 | | | 114 | | |

| ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|------------|---------------|-------------------------|-------|-------------------------------------|-------------------------|-------|-------------------------------------|-------------------------|-------|-------------------------------------|-------------------------|-------|-------------------------------------|
| Data | Penetr. mm | Tempo minuto | Molde nº 203 | | | Molde nº 306 | | | Molde nº 22A | | | Molde nº 63 | | |
| | | | Leitura Extens. Kg/1cm² | ISC % | Pressão calculada corrigida Kg/1cm² | Leitura Extens. Kg/1cm² | ISC % | Pressão calculada corrigida Kg/1cm² | Leitura Extens. Kg/1cm² | ISC % | Pressão calculada corrigida Kg/1cm² | Leitura Extens. Kg/1cm² | ISC % | Pressão calculada corrigida Kg/1cm² |
| - | 0,63 | 0,5 | | | | 20 | 2,3 | 47 | 5,3 | 98 | 11,1 | 15 | 1,7 | |
| - | 1,27 | 1,0 | | | | 49 | 5,6 | 98 | 11,1 | 146 | 16,6 | 29 | 3,3 | |
| - | 1,90 | 1,5 | | | | 90 | 10,2 | 207 | 23,5 | 32,4 | 46,1 | 50 | 5,7 | |
| 70,31 | 2,54 | 2,0 | | | | 149 | 16,9 | 207 | 23,5 | 32,4 | 46,1 | 76 | 8,6 | |
| - | 3,81 | 3,0 | | | | 275 | 31,2 | 350 | 39,7 | 486 | 55,1 | 135 | 15,3 | |
| 105,46 | 5,08 | 4,0 | | | | 380 | 43,1 | 486 | 55,1 | 62,3 | 59,0 | 206 | 23,4 | |
| 131,58 | 6,35 | 5,0 | | | | 488 | 55,3 | 600 | 68,0 | 79,4 | 28,4 | 288 | 32,7 | |
| 161,71 | 7,62 | 6,0 | | | | 621 | 70,4 | 700 | 79,4 | | | 387 | 43,9 | |
| 182,8 | 12,70 | 10,0 | | | | | | | | | | | | |
| | | I.S.C.(C.B.R) | | | 50,4 | | | 59,0 | | | 28,4 | | | |
| | | I.S.C.(C.B.R) | | | 50,4 | | | 59,0 | | | 28,4 | | | |





ENGTEC CONTROLE TECNOLÓGICO
LTD A

CIDADE: ANÁPOLIS-GO

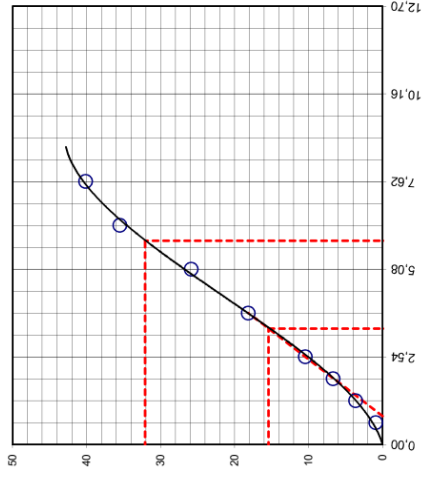
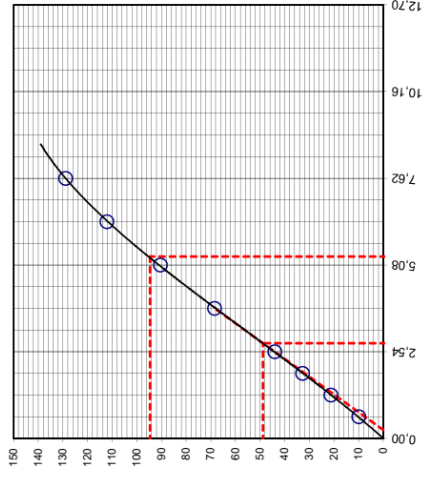
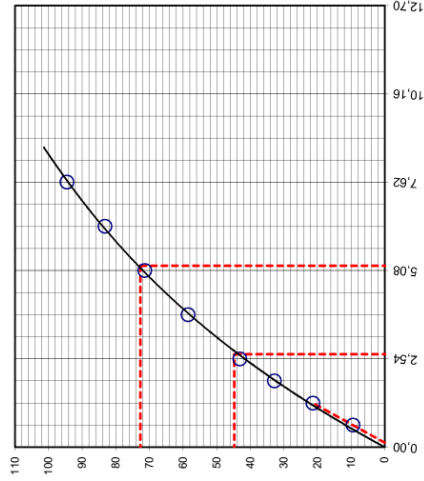
OBRA: AMOSTRA COM 1% DE CIMENTO
PROP.: 0

FURO: F-01
CONSTANTE (CBR): 0,1134

DATA: 27/05/18

| ENSAIO DE EXPANSÃO | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------|--------------|-----------|------|--------------|-----------|------|--------------|-----------|------|--------------|-----------|------|--------------|-----------|------|
| | | Molde nº 188 | | | Molde nº 454 | | | Molde nº 507 | | | Molde nº 597 | | | Molde nº 114 | | |
| Data | Hora | Leitura | Diferença | % | Leitura | Diferença | % | Leitura | Diferença | % | Leitura | Diferença | % | Leitura | Diferença | % |
| 23/05/2018 | 10:00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 |
| 24/05/2018 | 10:00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 |
| 25/05/2018 | 10:00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 |
| 26/05/2018 | 10:00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 |
| 27/05/2018 | 10:00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | Altura em mm | | | 114 | | | 114 | | | 114 | | | 114 | | |
| | | Altura em mm | | | 114 | | | 114 | | | 114 | | | 114 | | |

| ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|------------|---------------|-----------------------------------|--|--------------|-----------------|--|--------------|-----------------|--|--------------|-----------------|--|--------------|-----------------|--|------|--|--|
| | | Molde nº 188 | | | Molde nº 454 | | | Molde nº 507 | | | Molde nº 597 | | | Molde nº 114 | | | | | |
| Data | Penetr. mm | Tempo min:seg | Pressão Padrão Kg/cm ² | Pressão calculada corrigida Kg/cm ² | ISC % | Leitura Externa | Leitura Extens. corrigida Kg/cm ² | ISC % | Leitura Externa | Leitura Extens. corrigida Kg/cm ² | ISC % | Leitura Externa | Leitura Extens. corrigida Kg/cm ² | ISC % | Leitura Externa | Leitura Extens. corrigida Kg/cm ² | | | |
| - | 0,63 | 0,5 | - | 83 | 9,4 | 188 | 21,3 | 88 | 10,0 | 187 | 21,2 | 8 | 0,9 | 32 | 3,6 | | | | |
| - | 1,27 | 1,0 | - | 290 | 32,9 | 288 | 32,7 | 288 | 32,7 | 59 | 6,7 | 59 | 6,7 | 59 | 6,7 | | | | |
| 70,31 | 2,54 | 2,0 | - | 380 | 43,1 | 380 | 44,0 | 63,6 | 44,0 | 48,8 | 69,4 | 92 | 10,4 | 15,4 | 21,9 | | | | |
| - | 3,81 | 3,0 | - | 516 | 58,5 | 516 | 68,4 | 60,3 | 68,4 | 160 | 18,1 | 160 | 18,1 | 160 | 18,1 | | | | |
| 105,46 | 5,08 | 4,0 | - | 630 | 71,4 | 630 | 72,7 | 65,9 | 72,7 | 228 | 25,9 | 228 | 25,9 | 32,1 | 30,4 | | | | |
| 131,58 | 6,35 | 5,0 | - | 734 | 83,2 | 734 | 83,2 | 89,8 | 83,2 | 989 | 112,2 | 313 | 35,5 | 35,5 | | | | | |
| 161,71 | 7,62 | 6,0 | - | 834 | 94,6 | 834 | 94,6 | 113,6 | 128,8 | 354 | 40,1 | 354 | 40,1 | | | | | | |
| 182,8 | 12,70 | 10,0 | - | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | I.S.C(B.R) | | | 68,9 | | | I.S.C(B.R) | | | 89,8 | | | I.S.C(B.R) | | | 30,4 | | |





ENGTEC CONTROLE TECNOLÓGICO
LTDA

CIDADE: ANÁPOLIS-GO
NBR - 9895

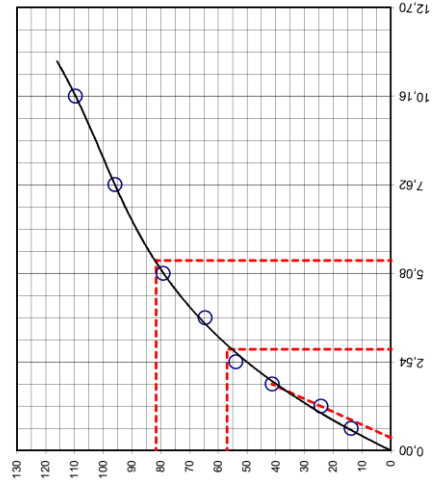
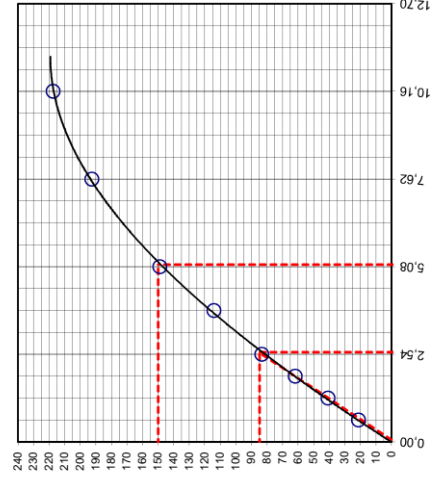
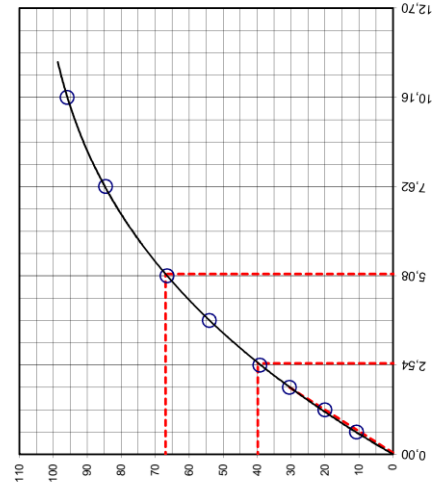
OBRA: AMOSTRA COM 2% DE CIMENTO
EST. OU JAZ. DATA: 27/05/18
Constante (GBR): 0

| 487 | | 403 | | 247 | | 277 | | 388 | |
|--------------|-----|--------------|-----|--------------|-----|--------------|-----|--------------|-----|
| Molde nº | % | Molde nº | % | Molde nº | % | Molde nº | % | Molde nº | % |
| Leitura | | Leitura | | Leitura | | Leitura | | Leitura | |
| Diferença | | Diferença | | Diferença | | Diferença | | Diferença | |
| % | | % | | % | | % | | % | |
| Altura em mm | 114 | Altura em mm | 114 | Altura em mm | 114 | Altura em mm | 114 | Altura em mm | 114 |

ENSAIO DE EXPANSÃO

| 487 | | 403 | | 247 | | 277 | | 388 | |
|--------------------------|-------|--------------------------|-------|--------------------------|-------|--------------------------|-------|--------------------------|-------|
| Molde nº | % | Molde nº | % | Molde nº | % | Molde nº | % | Molde nº | % |
| Leitura Extens. | | Leitura Extens. | | Leitura Extens. | | Leitura Extens. | | Leitura Extens. | |
| Pressão calculada Kg/cm² | | Pressão calculada Kg/cm² | | Pressão calculada Kg/cm² | | Pressão calculada Kg/cm² | | Pressão calculada Kg/cm² | |
| Pressão corrigida Kg/cm² | | Pressão corrigida Kg/cm² | | Pressão corrigida Kg/cm² | | Pressão corrigida Kg/cm² | | Pressão corrigida Kg/cm² | |
| ISC % | | ISC % | | ISC % | | ISC % | | ISC % | |
| Penetr. mm | | Penetr. mm | | Penetr. mm | | Penetr. mm | | Penetr. mm | |
| Tempo minuto | | Tempo minuto | | Tempo minuto | | Tempo minuto | | Tempo minuto | |
| Pressão Padrão Kg/cm² | | Pressão Padrão Kg/cm² | | Pressão Padrão Kg/cm² | | Pressão Padrão Kg/cm² | | Pressão Padrão Kg/cm² | |
| 0,63 | 0,5 | 1,27 | 1,0 | 1,90 | 1,5 | 2,54 | 2,0 | 3,81 | 3,0 |
| 5,08 | 6,0 | 7,62 | 8,0 | 10,16 | 10,0 | 15,24 | 12,0 | 22,86 | 18,0 |
| 101,6 | 101,6 | 152,4 | 152,4 | 228,6 | 228,6 | 354,3 | 354,3 | 531,8 | 531,8 |
| 182,8 | 182,8 | 274,3 | 274,3 | 407,4 | 407,4 | 611,1 | 611,1 | 916,7 | 916,7 |
| I.S.C.(C.B.R) | 63,5 | I.S.C.(C.B.R) | 142,1 | I.S.C.(C.B.R) | 81,0 | I.S.C.(C.B.R) | 81,0 | I.S.C.(C.B.R) | 81,0 |

ÍNDICE SUPORTE CALIFORNIA





ENGTEC CONTROLE TECNOLÓGICO
LTDA

CIDADE: ANÁPOLIS-GO

OBRA: AMOSTRA COM 3% DE CIMENTO
PROF.: 0

LABORATORISTA

ENCARREGADO LABORATÓRICO

ENG. CIVIL

DATA: 27/05/18

FUO: F-01

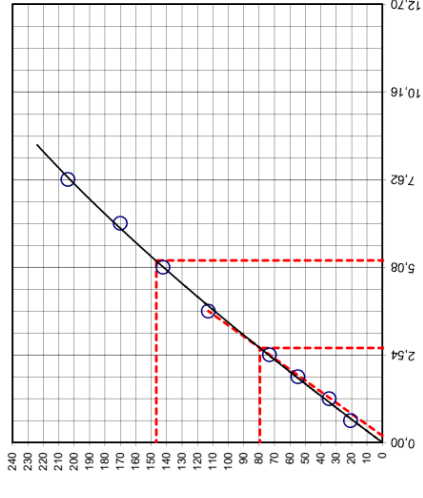
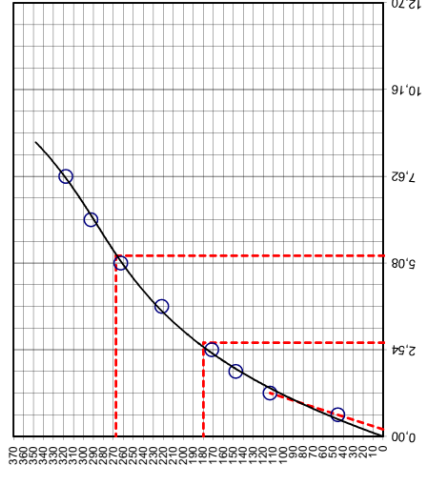
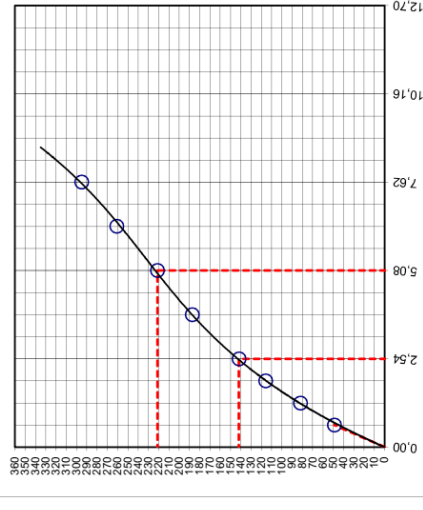
Constante (CBR): 0,1134

ENSAIO DE EXPANSÃO

| Data | Hora | Molde nº 154 | | Molde nº 421 | | Molde nº 62 | | Molde nº 375 | | Molde nº 92 | |
|------------|-------|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| | | Leitura | Diferença % | Leitura | Diferença % | Leitura | Diferença % | Leitura | Diferença % | Leitura | Diferença % |
| 23/05/2018 | 10:00 | | | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 |
| 24/05/2018 | 10:00 | | | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 |
| 25/05/2018 | 10:00 | | | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 |
| 26/05/2018 | 10:00 | | | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 |
| 27/05/2018 | 10:00 | | | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 |
| | | Altura em mm | | 114 | | 114 | | 114 | | 114 | |
| | | Altura em mm | | 114 | | 114 | | 114 | | 114 | |

ÍNDICE SUPORTE CALIFORNIA

| Data | Penetr. mm | Tempo min:seg | Molde nº 154 | | Molde nº 421 | | Molde nº 62 | | Molde nº 375 | | Molde nº 92 | |
|--------|------------|---------------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|
| | | | Leitura Extern. Kgf/cm² | ISC % | Leitura Extern. Kgf/cm² | ISC % | Leitura Extern. Kgf/cm² | ISC % | Leitura Extern. Kgf/cm² | ISC % | Leitura Extern. Kgf/cm² | ISC % |
| - | 0,63 | 0,5 | 431 | | 481,9 | | 400 | | 45,4 | | 183 | |
| - | 1,27 | 1,0 | 721 | | 81,8 | | 998 | | 113,2 | | 305 | |
| - | 1,90 | 1,5 | 1022 | | 115,9 | | 1300 | | 147,4 | | 484 | |
| 70,31 | 2,54 | 2,0 | 1250 | 141,8 | 141,8 | 201,7 | 1513 | 171,6 | 179,9 | 255,8 | 646 | 73,3 |
| - | 3,81 | 3,0 | 1650 | 187,1 | 187,1 | 221,5 | 1953 | 221,5 | 267,5 | 253,6 | 996 | 112,9 |
| 105,46 | 5,08 | 4,0 | 1950 | 221,1 | 221,1 | 209,8 | 2315 | 262,5 | 267,5 | 267,5 | 1255 | 142,3 |
| 131,56 | 6,35 | 5,0 | 2300 | 260,8 | 260,8 | 257,7 | 2577 | 292,2 | 292,2 | 292,2 | 1500 | 170,1 |
| 161,71 | 7,62 | 6,0 | 2600 | 294,8 | 294,8 | 2800 | 2800 | 317,5 | 317,5 | 317,5 | 1800 | 204,1 |
| 182,8 | 12,70 | 10,0 | | | | | | | | | | |
| | | | I.S.C.(C.B.R) | | 209,8 | | 256,8 | | 139,1 | | I.S.C.(C.B.R) | |





ENGTEC
Controle Tecnológico Ltda

ENGTEC CONTROLE TECNOLÓGICO
LTD

CIDADE:

ANÁPOLIS-GO

OBRA:

NBR - 9895

Alargamento Av. Brasil

ESTACIA:

0

DATA:

03/03/18

Constante (CBR):

0,1134

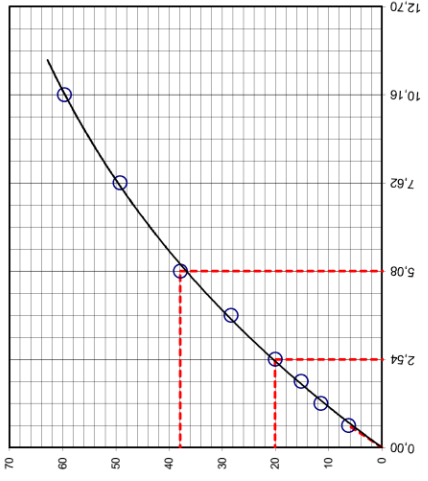
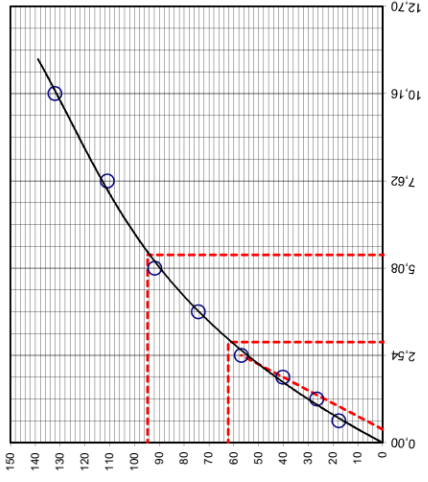
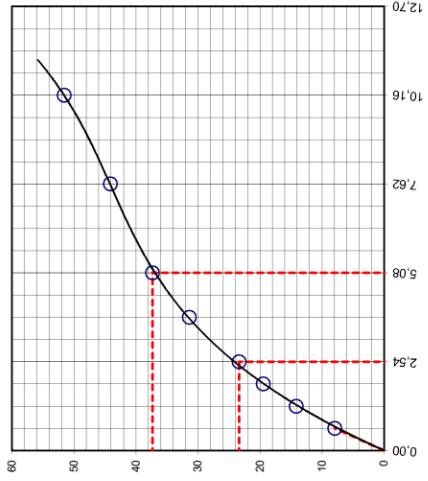
0

ENSAIO DE EXPANSÃO

| Data | Hora | Molde nº 99 | | Molde nº 253 | | Molde nº 240 | | Molde nº 226 | | Molde nº 55 | |
|------------|-------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| | | Leitura | Diferença % | Leitura | Diferença % | Leitura | Diferença % | Leitura | Diferença % | Leitura | Diferença % |
| 27/02/2018 | 10:00 | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 |
| 28/02/2018 | 10:00 | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 |
| 01/03/2018 | 10:00 | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 |
| 02/03/2018 | 10:00 | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 |
| 03/03/2018 | 10:00 | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 |
| | | Altura em mm | | 114 | | Altura em mm | | 114 | | Altura em mm | |
| | | | | 114 | | | | 114 | | 114 | |

ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA

| Data | Pressão Padrão Kg/cm² | Tempo minuto | Molde nº 99 | | Molde nº 253 | | Molde nº 240 | | Molde nº 226 | | Molde nº 55 | |
|--------|-----------------------|--------------|------------------------|-------|------------------------|-------|------------------------|-------|------------------------|-------|------------------------|-------|
| | | | Leitura Extens. Kg/cm² | ISC % | Leitura Extens. Kg/cm² | ISC % | Leitura Extens. Kg/cm² | ISC % | Leitura Extens. Kg/cm² | ISC % | Leitura Extens. Kg/cm² | ISC % |
| - | 0,63 | 0,5 | 70 | 7,9 | 156 | 17,7 | 234 | 26,5 | 55 | 6,2 | 101 | 11,5 |
| - | 1,27 | 1,0 | 125 | 14,2 | 354 | 40,1 | 502 | 56,9 | 134 | 15,2 | 177 | 20,1 |
| - | 1,90 | 1,5 | 206 | 23,4 | 655 | 74,3 | 810 | 91,9 | 250 | 28,4 | 334 | 37,9 |
| - | 3,81 | 3,0 | 329 | 37,3 | 978 | 110,9 | 1164 | 132,0 | 434 | 49,2 | 526 | 59,6 |
| 105,46 | 5,08 | 4,0 | 329 | 37,3 | 978 | 110,9 | 1164 | 132,0 | 434 | 49,2 | 526 | 59,6 |
| 131,58 | 7,62 | 6,0 | 389 | 44,1 | | | | | | | | |
| 161,71 | 10,16 | 8,0 | 455 | 51,6 | | | | | | | | |
| 182,8 | 12,70 | 10,0 | | | | | | | | | | |
| | | | I.S.C.(C.B.R) | | 35,4 | | I.S.C.(C.B.R) | | 89,9 | | I.S.C.(C.B.R) | |
| | | | | | | | | | 35,9 | | I.S.C.(C.B.R) | |



LABORATORISTA

ENCARREGADO LABORATÓRIO

ENG. CIVIL