UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – CAMPUS SERTÃO
POLO DELMIRO GOUVEIA.

AUGUSTO JOSÉ ANGELINO VENTURA

Desenvolvimento de um Projeto Básico de Pavimentação para uma Estrada Vicinal na Cidade de Arapiraca.

Delmiro Gouveia
2019

AUGUSTO JOSÉ ANGELINO VENTURA

Desenvolvimento de um Projeto Básico de Pavimentação para uma Estrada Vicinal na Cidade de Arapiraca.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Msc. David Anderson Cardoso Dantas.

Delmiro Gouveia
2019

Catalogação na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus Sertão
Sede Delmiro Gouveia
Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza – CRB-4/*2209*

V468d Ventura, Augusto José Angelino

Desenvolvimento de um projeto básico de pavimentação para uma estrada vicinal na cidade de Arapiraca / Augusto José Angelino Ventura. - 2019.
88 f. : il.

Orientação: Prof. Me. David Anderson Cardoso Dantas.
Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2019.

1. Engenharia rodoviária. 2. Estrada vicinal. 3. Pavimentação. 4. Arapiraca – Alagoas. I. Título.

CDU: 625.75

Folha de Aprovação

AUTOR: AUGUSTO JOSÉ ANGELINO VENTURA

(Desenvolvimento de um projeto básico de pavimentação para uma estrada vicinal na cidade de Arapiraca/ trabalho de conclusão de curso em engenharia civil, da Universidade Federal de Alagoas, na forma normalizada e de uso obrigatório)

.

Trabalho de conclusão de curso submetido ao corpo docente do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas e aprovado em 02 de Agosto de 2019.

David Anderson C. Dant-

Prof. Msc. David Anderson Cardoso Dantas, UFAL (Orientador).

Banca Examinadora:

David Anderson C. Dant-

Prof. Msc. David Anderson Cardoso Dantas, UFAL (Orientador).

Rogério de Jesus Santos

Prof. Msc. Rogério de Jesus Santos, UFAL (Examinador).

Victor Bezerra Falcão

Prof . Msc Victor Bezerra Falcão, UFAL (Examinador).

Dedico ao Painho, à Mainha, ao Gustavo, ao Gabriel e à Angélica, como também à tia Bernada e à tia Arlete. Todos estes sempre estiveram comigo me dando apoio, amor, força, oração, e motivando minha fé em Deus.

“E Maria disse: Minha alma glorifica ao Senhor, meu espírito exulta de alegria em Deus, meu Salvador, por que olhou para a sua pobre serva. Por isso, desde agora, me proclamarão bem-aventurada todas as gerações, por que realizou em mim maravilhas aquele que é poderoso e cujo nome é santo”. (Lc 1, 46-49)

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus por me amar e estar sempre comigo a me conceder a sabedoria necessária também para a realização deste projeto. À Virgem Maria, minha Mãe do Céu, pela sua intercessão na minha vida e na vida de toda a minha família.

A todos os meus familiares, meu pai e minha mãe, como também minhas tias, que não mediram esforços nem amor para que eu concluísse esse objetivo. Aos meus dois irmãos e minha cunhada que sempre estiveram ao meu lado a me apoiar e motivar.

Aos meus amigos, em especial aqueles com quem convivi diariamente por tanto tempo na república em Delmiro Gouveia por todo o companheirismo e amizade e por que tantas e tantas vezes foram para mim alegria, força e motivação.

À Dona Lúcia, que, muito mais do que a credora do nosso aluguel, foi para nós uma mãe a nos ajudar em Delmiro, auxiliando sempre e nos oferecendo o melhor que poderia.

A todos os professores e funcionários da Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão, que colaboraram com a minha formação acadêmica, de modo particular os seguranças patrimoniais com quem tantas vezes interagi e por quem fui auxiliado no bloco Anexo, o meu orientador, o professor David Anderson, e o técnico Arnon Berg, pela maneira com a qual ambos me trataram, me oferecendo as orientações e o suporte que me fizeram chegar até o fim desse estudo.

RESUMO

Todo e qualquer centro urbano tem como uma das principais ferramentas de seu desenvolvimento a sua malha viária pelo fato de possibilitar dentre outras coisas toda a chegada e saída de mercadorias e pessoas que movimentam a economia da cidade. As estradas vicinais, inseridas neste contexto, realizam importante trabalho na ligação dos povoados das zonas rurais até os centros urbanos, entretanto, a sua qualidade muitas vezes não condiz com sua importância, quando apresenta más condições de rolamento e tanto dificultam como encarecem as viagens.

Assim também é em Arapiraca, por exemplo na Rua Pedro Alexandre, estrada vicinal de má qualidade, apesar de ser de grande importância para a região. Por isso, sabendo que a pavimentação, em uma via, melhora subitamente as condições de rolamento, o conforto, a segurança, a rapidez e a economia das viagens, propõe--se para esta estrada um projeto básico de pavimentação como forma de auxílio na solução dos seus antigos problemas de locomoção.

Para a concretização deste projeto foram necessários vários estudos, a saber, em suma a análise do solo abaixo do leito da estrada até a profundidade de 60 cm, denominado subleito da estrada, o estudo do tráfego da estrada e da topografia que o traçado apresentasse, para, então, obter os parâmetros necessários, de modo que , tendo estes em mãos, foi efetuado o dimensionamento do pavimento, o projeto de terraplenagem e os levantamentos quantitativo e orçamentário da obra.

Obteve-se para esta estrada vicinal de 3,76 km um pavimento com revestimento de 5 cm de espessura, uma base de Brita Graduada Simples com 14 cm de espessura e uma sub-base de solo estabilizado com 33 cm de espessura. O custo mensurado para a realização desta obra foi de 1 milhão, 580 mil e 236 reais para preços unitários não desonerados, incluindo também os serviços técnicos, a sinalização e os custos com demandas ambientais.

Palavras chave: Estradas vicinais. Pavimentação. Engenharia rodoviária.

ABSTRACT

Every urban center has its main development tools, which is its road network, because it enables, among other things, the arrival and departure of goods and people, allowing the economic growth. The backroads, included in this context, do an important job by connecting the rural areas to the town. However, both quality and importance of these backroads are not on the same page, when it shows bad bearing conditions, which complicates the trip and enhances the cost.

The described fact happens in some Arapiraca backroads, such as the Pedro Alexandre street, containing a low-quality backroad, although its importance for the region must be mentioned. Therefore, knowing that the paving in one street improves not only its bearing conditions, but the comfort, the safety, the quickness and the costs, a basic paving project has been proposed in order to assist in the solution of their olden traffic problems.

To make this project, several studies were needed, namely, the soil analysis below the roadbed to a depth of 60 cm, called the road's subgrade. The street´s traffic study and the topography that the tracing would present, in order to obtain the necessary parameters to design the paving, to work on the earthmoving project and the quantitative and budgetary surveys.

The results got for this 3,76 km backroad a 5 cm thick pavement coating, a 14 cm thick base of simple graded gravel and a 33 cm thick subbase of stabilized soil. The budge to make this project is evaluable in 1 million 580 thousand and 236 reals for unencumbered unit prices, including technical services, signaling and the environmental costs.

Keywords: Backroads. Paving. Highway Engineering

Sumário

1.0 INTRODUÇÃO.....10
1.1 Objetivos.....11
2.0 O PAVIMENTO E SEU DIMENSIONAMENTO.....14
2.1 – Conceito e importância.....14
2.2 Composição do Pavimento.....15
2.3 O Projeto de Pavimentação.....21
2.4 – Dimensionamento do Pavimento.....31
3.0 METODOLOGIA.....35
3.1 Estudo do subleito – furos para coleta de amostras.....35
3.2 Estudo do subleito - ensaios de caracterização.....38
3.3 Estudo do subleito - ensaios de capacidade resistiva.....40
3.4 Obtenção de dados de tráfego.....46
3.5 Prospecção por materiais adequados para as camadas estruturais do pavimento.....51
3.6 Dimensionamento do Pavimento.....52
3.7 Topografia e movimentação de terra – obtenção de dados.....56
3.7 Cálculo Quantitativo.....62
4.0 A ESTRADA, OBJETO DE ESTUDO.....65
5.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....67
5.1 - Parâmetros geotécnicos da estrada.....67
5.2 Parâmetros de Tráfego.....72
5.3 – Dimensionamento do Pavimento – parâmetros e dimensões finais.....73
5.4 – Terraplenagem – volumes e distâncias, itinerário final.....74
5.5 Levantamento orçamentário – valores finais.....75
6.0 CONCLUSÃO.....76
REFERÊNCIAS.....78
ANEXOS.....81

1.0 INTRODUÇÃO

É sabido que para o desenvolvimento de uma nação, um dos grandes instrumentos colaboradores é a sua malha viária. No Brasil, sobressaem-se as rodovias no âmbito das vias de transporte com uma grande contribuição para a economia. Enfatizando e fundamentando esta afirmação, a Confederação Nacional dos Transportes (CNT) demonstra esta relevância em números e gráficos comparativos através de frequentes pesquisas que monitoram e expõem em seus resultados as mais diversas características das rodovias brasileiras e suas contribuições em aspectos socioeconômicos.

As rodovias e estradas em geral atuam incisivamente no funcionamento e no crescimento de pequenos e grandes centros urbanos através, por exemplo, do escoamento de diversos tipos de insumos produzidos como o agrícola e o industrial, além de facilitar o acesso da população de vilas, povoados e cidades circunvizinhas à zona urbana.

> Segundo dados do IBGE, o modal rodoviário foi responsável por 55,2% do PIB do setor de transporte em 2014, contribuindo significativamente para a geração de riquezas no país. Contudo, a relevância de transporte rodoviário não é percebida apenas em relação aos demais modais de transporte. Ele foi responsável por 12,7% do PIB do setor de serviços não financeiros, sendo o segundo que mais contribuiu para a geração de valor nesse segmento (CNT, 2017, p. 19).

Aqui merece destaque especial a enorme quantidade de estradas e rodovias vicinais e seu importante papel na sociedade, especialmente por ser a via de acesso de muitas comunidades rurais e até mesmo de pequenas cidades aos grandes centros, onde a população vai à procura de suprir necessidades básicas como a saúde, a educação e o próprio trabalho. Além disso, estas vias realizam um importante papel na intermediação entre as comunidades produtoras dos mais diversos insumos e as grandes rodovias pavimentadas, servindo de ligação para escoamento das mercadorias, favorecendo, assim, o comércio, a economia e, consequentemente, o crescimento da região (NUNES, 2003, p. 4)

Apesar desta grande importância, as estradas vicinais apresentam, em sua maioria, más condições de rolamento, uma vez que geralmente não são pavimentadas, ficando até mesmo intransitáveis ou transitáveis a muito custo em determinadas épocas do ano em consequência das chuvas. Essas más condições se refletem em um maior tempo e um maior custo de transporte, tanto de mercadorias como de passageiros, tornando dificultosas e onerosas estas atividades. Estes fatos evidenciam a necessidade de investimentos a fim de melhorar as condições destas vias por meio de procedimentos como a própria pavimentação asfáltica ou mesmo tratamentos superficiais adequados ao volume de tráfego existente.

Vale-se salientar que uma boa infraestrutura rodoviária rural favorece sobremaneira a manutenção das atividades econômicas e sociais de sua região. Se, entretanto, apenas os problemas emergenciais forem sanados por parte dos órgãos administradores destas vias, problemas e dificuldades no fluxo de veículos surgirão, e como consequência, haverá prejuízos para a produção agrícola. (VIVIANI, 1998, p. 1).

Não é diferente na mesorregião do agreste alagoano, cidade de Arapiraca, onde a malha viária vicinal desempenha importante papel na ligação das comunidades rurais com a zona urbana, sendo, por exemplo, a via por onde transitam muitos ônibus escolares que transportam os alunos destas comunidades para os centros educacionais da cidade e por onde os transportes coletivos e os veículos particulares transportam quem vai trabalhar ou realizar suas compras, buscar um serviço médico, etc.

Uma destas importantes estradas vicinais da cidade de Arapiraca é a Rua Pedro Alexandre, que realiza interligação entre povoados da zona rural, a começar pela vila Canaã, à zona urbana da cidade, chegando ao Bairro Senador Nilo Coelho. Trata-se de uma estrada de terra em más condições de rolamento e sujeita a considerável piora diante de alterações climáticas.

1.1 Objetivos

Geral

O que se propõe neste trabalho é a elaboração de um projeto básico de pavimentação para a Rua Pedro Alexandre a fim de oferecer soluções capazes de

melhorar as condições de rolamento da estrada, dando passos largos nos quesitos segurança, fluidez, economia e conforto aos transeuntes, além de colaborar com o desenvolvimento da região diretamente afetada e até mesmo de toda a cidade.

Específicos

- Dimensionamento do Pavimento – definição das espessuras e larguras de cada camada da estrutura do pavimento.
- Elaboração de um projeto de terraplenagem – Cálculo dos volumes corte e de aterro necessários à conformidade do terreno natural da estrada com um perfil vertical projetado. Definição do itinerário de terraplenagem.
- Elaboração de um levantamento quantitativo e orçamentário – Cálculo quantitativo de todos os tipos de materiais e serviços a serem realizados e dos quais for possível obter dados quantitativos para, através de consulta a fontes oficiais de referência de preços, estabelecer os valores relativos aos custos financeiros da obra.

Estrutura do Trabalho

O capítulo 2 se inicia já na próxima página e dispõe de uma revisão geral dos fundamentos teóricos necessários à correta realização deste projeto, desde os estudos preliminares até o dimensionamento final das camadas estruturais, trazendo, porém, antes, uma explanação sobre o pavimento em si.

O capítulo 3 descreve a forma como os estudos foram realizados, as adaptações que se fizeram necessárias, as citações dos normativos utilizados e os cálculos realizados.

O capítulo 4 traz uma descrição do trecho estudado, detalhando as condições atuais da estrada em termos de situação da pista de rolamento, existência ou não de acostamento, sinalização e acessórios afins, além de trazer o contexto ambiental e as construções e aglomerados urbanos que fiquem à margem do trecho.

O capítulo 5 apresenta o resultado final deste estudo, contendo o esboço gráfico de toda a estrutura do pavimento elaborada e também os valores de todos os parâmetros que balizaram o dimensionamento.

O capítulo 6 conclui o trabalho apresentando uma análise final sobre o que foi possível elaborar como também traz sugestões para trabalhos futuros.

2.0 O PAVIMENTO E SEU DIMENSIONAMENTO

2.1 – Conceito e importância.

O pavimento é a estrutura que se constrói sobre o leito carroçável de uma estrada com o objetivo de garantir aos transeuntes conforto e segurança nas viagens, absorver e distribuir os esforços verticais oriundos do tráfego de maneira adequada e tornar a superfície de rolamento mais resistente aos esforços horizontais e, consequentemente, mais durável. (SENÇO, 2008, p.7)

Quanto à função do pavimento de distribuir os esforços verticais ao longo de sua estrutura, é importante salientar que esta deve se dar para que tais esforços, ao transporem a interface entre o pavimento e a fundação, ou seja, o subleito[1], estejam atenuados suficientemente ao ponto de serem compatíveis com a capacidade suporte deste subleito.(SENÇO, 2008, p.10)

> Pavimentar uma via de circulação de veículos é obra civil que enseja, antes de tudo, a melhoria operacional para o tráfego, na medida em que é criada uma superfície *mais regular* (garantia de melhor conforto no deslocamento do veículo), uma superfície *mais aderente* (garantia de mais segurança em condições de pista úmida ou molhada), uma superfície *menos ruidosa* diante da ação dinâmica dos pneumáticos (garantia de melhor conforto ambiental em vias urbanas e rurais), seja qual for a melhoria física oferecida (BALBO, 2007, p. 15), (grifos do autor).

No que diz respeito à sua composição o pavimento se dá pela união de camadas que variam quanto ao material e a espessura de acordo com a intensidade da solicitação a que cada uma será submetida e com as características do subleito. Como a intensidade dos esforços diminui com a profundidade, as camadas superiores são, convencionalmente, constituídas de materiais mais nobres, decrescendo a qualidade do material conforme cresce a profundidade em que se encontra camada, até se chegar ao subleito, que deverá receber os esforços mitigados pelas camadas superiores, já compatíveis com sua capacidade de suporte. (SENÇO, 2008, p. 10 e 14).

No tópico 2.2, a seguir, será possível adentrar na estrutura do pavimento e analisar, como que em corte, camada por camada, suas diversas funções e

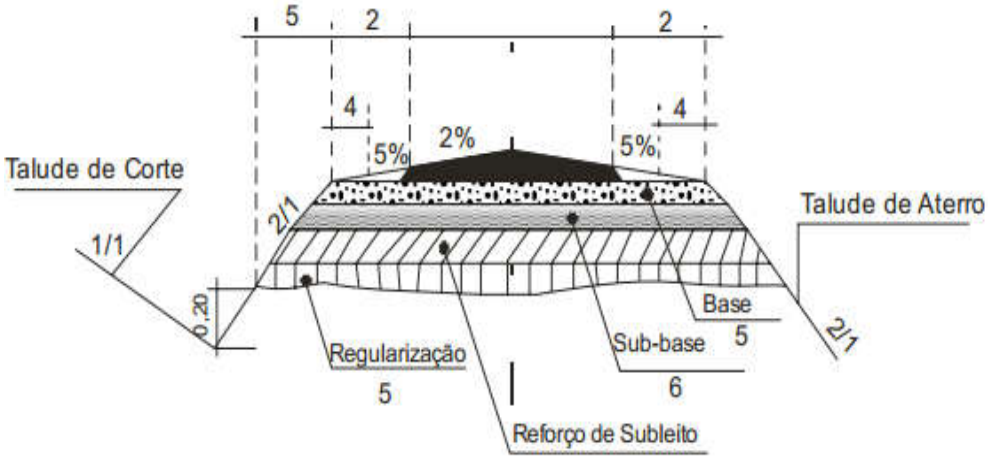
materiais empregados, para, assim, compreender melhor este importante componente de um projeto rodoviário.

2.2 Composição do Pavimento

O número e o tipo das camadas que vêm a compor o pavimento de uma determinada via dependem da solicitação de tráfego prevista, do tipo de solo que compõe o subleito no tocante à resistência, bem como da qualidade dos materiais a serem usados para a construção de cada camada estrutural, sejam estes materiais usinados ou provenientes de jazidas, como são denominados grandes depósitos de solos utilizáveis naturais.

As camadas que, via de regra, compõem obrigatoriamente um pavimento são o revestimento, a base e a regularização do subleito. A base, entretanto, pode necessitar de complementos de função estrutural, que vêm a ser a sub-base e o reforço do subleito (SENÇO, 2008, p. 20).

Figura 1: O pavimento e suas camadas.



Fonte: Manual de Pavimentação do DNIT (2006).

> Nos pavimentos flexíveis é comum utilizar camadas adicionais para evitar espessuras excessivas de bases e para reduzir custos de construção. Assim, são empregadas camadas de sub-bases e reforços de subleito para contribuir na distribuição de tensões e reduzir os esforços atuantes no subleito. (KLINSKY, 2013, p. 47).

Abaixo, segue uma descrição específica de cada camada no que diz respeito aos tipos mais comuns de cada uma e suas funções no conjunto geral da estrutura do pavimento.

Revestimento

Dentre as principais funções exercidas pela camada mais externa do pavimento, cita BERNUCCI et al. (2008, p. 157), “garantir impermeabilidade, flexibilidade (no tocante a pavimentos flexíveis), estabilidade, durabilidade, resistência à derrapagem, resistência à fadiga e ao trincamento térmico”. Tais atribuições advém do fato de que o revestimento é a camada que interage diretamente com as solicitações, tanto de clima quanto de tráfego.

Quanto ao tipo, os revestimentos podem ser rígidos, que são subdivididos em concreto de cimento e macadame cimentado, ou flexíveis, subdivididos em betuminosos e por calçamento.

Destacando os revestimentos betuminosos, por representarem o tipo de revestimento adotado para o estudo em questão, pode-se subdividi-los, definindo-os como aplicados por penetração ou preparados por mistura. O mais comum dentre os betuminosos é o revestimento betuminoso preparado por mistura e tem como exemplos representativos os pré-misturados e os concretos betuminosos. (Manual de Pavimentação DNIT, 2006, p. 98).

Para pavimentos flexíveis, o material mais usado no país no para o revestimento da estrutura e/ou capa de rolamento é o **Concreto Betuminoso Usinado a Quente**, identificado pela sigla CBUQ. Trata-se de uma mistura que envolve agregados minerais dotados de boa graduação, além material fino de enchimento (também denominado fíler), como o pó de pedra, e Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), que é o ligante asfáltico da mistura, também denominado simplesmente como asfalto. (BALBO, 2007, p. 168)

A fabricação do CBUQ é realizada em usina, a uma alta temperatura e com um elevado controle tecnológico, garantindo um material de boa qualidade para este fim. Sua aplicação na obra se dá a uma temperatura de aproximadamente 150ºC, com o auxílio de máquinas como as vibro-acabadoras e os rolos compactadores liso e pneumático (BALBO, 2007, p. 168).

Figura 2: aplicação de revestimento asfáltico em Arapiraca.

Fonte: o autor.

Base e sub-base.

Camada subsequente ao revestimento, recebe as cargas verticais transmitidas por este e também atua, por vezes, na drenagem subsuperficial da estrutura, devendo, para desempenhar bem ambas as atividades, ser constituída de materiais que atendam a específicos critérios de qualidade no que diz respeito, por exemplo, à capacidade de suporte, à distribuição granulométrica e ao índice de plasticidade. Como materiais comumente usados para este fim, tem-se solos encontrados em jazidas e materiais específicos como a brita graduada, brita graduada tratada com cimento, macadames hidráulico ou seco, etc. (BALBO, 2007, p. 38).

Figura 3: Camada de Base em fase de aplicação na cidade de Arapiraca.

Fonte: o autor.

Por vezes, a depender das características do subleito, faz-se necessária e viável, econômica e tecnicamente, a exemplo do que já se afirmou acima, uma camada adicional abaixo da base, de caráter complementar, denominada sub-base. (SENÇO, 2008, p. 19). Esta camada é denominada pela literatura como sub-base e os materiais que podem a compor são os mesmos materiais que podem compor uma camada de base, sendo sempre de qualidade inferior à do material usado para a base, não podendo, contudo, ter uma capacidade de suporte inferior a 20%. (Manual de Pavimentação do DNIT, 2006).

> Usualmente, as bases de pavimentos flexíveis estão constituídas por agregados granulares naturais, solos ou misturas de solos, conforme aparecem naturalmente *in situ* ou próximos do traçado geométrico da estrada. Contudo, muitas vezes, os materiais disponíveis nas proximidades da obra são considerados inadequados para seu emprego na construção de bases ou sub-bases, e precisam ser estabilizados com algum aditivo, como o cimento Portland, a cal hidratada ou o ligante asfáltico, entre outros (KLINSKY, 2013, p. 47).

Um dos materiais usados largamente como base e sub-base de pavimentos nas obras rodoviárias brasileiras é a brita graduada simples (BGS), material que será adotado para o estudo deste trabalho e que tem uma adequada variação granulométrica, é derivado de rochas, britado, com diâmetro máximo não excedendo 38 mm e com uma porcentagem de material passante na peneira 200 em torno de 3 a 9%. Após ser devidamente dosado e homogeneizado com o auxílio de água em uma usina, a aplicação do material é feita distribuindo-o sobre a superfície a ser contemplada com o auxílio de motoniveladoras e/ou vibroacabadoras para, logo após, compacta-lo com o uso de rolos lisos e/ou pneumáticos. (BERNUCCI et al. 2008, p. 357).

> O critério básico de dosagem da BGS abriga a seleção de faixa granulométrica a ser composta de maneira a resultar uma mistura bem graduada, sendo tal mistura submetida ao ensaio de compactação na energia modificada para a determinação da umidade ótima. (BALBO, 2007, p. 157).

Outro material comumente usado para base é o solo estabilizado, seja granulometricamente ou quimicamente, do qual Senço (2008, p. 24) afirma que trata-

se de “uma camada construída com solo satisfazendo determinadas especificações – Índice Suporte Califórnia, granulometria, limite de liquidez e índice de plasticidade – cuja estabilização pode ser conseguida de forma natural ou artificial”.

Se o solo apresenta características medíocres, uma opção é o incremento de agregados graúdos como o britado de rochas, enriquecendo assim as características de resistência do solo. A depender do tipo de solo que está sendo tratado, as exigências no tocante à distribuição granulométrica do material britado devem variar. Embora internacionalmente se reconheça a necessidade de que o material agregado graúdo seja de boa graduação granulométrica, a experiência em solos brasileiros, que estão submetidos a um clima tropical, além de frequentemente revelarem-se como solos finos lateríticos, tem dispensado o rigor presente nessa exigência. (BALBO, 2007).

Bernucci et al. (2008) classifica as misturas solo-agregado, importante forma de estabilização do solo, em 3 categorias, diferenciadas pelo contato entre os agregados graúdos e a permeabilidade da mistura. Na categoria “a”, predomina o “contato grão-grão” entre os agregados graúdos e esta camada caracteriza-se como permeável, de baixa densidade e difícil compactação.

A categoria “b”, por sua vez, representa uma camada de agregados graúdos estabelecendo contato grão-grão mas tendo, entretanto, seus vazios preenchidos por solos finos e, por isso, apresentando alta densidade, menor permeabilidade e maior resistência que a camada da categoria “a”.

Já a camada representante da categoria “c”, chamada também de “solo-brita descontínuo” ou “matriz de finos”, não garante em sua composição o contato entre os agregados graúdos grão a grão, como nas categorias anteriores, e apresenta a menor permeabilidade dentre as três, e embora tenha densidade menor que a da categoria “b”, tem apresentado resultados positivos e animadores em aplicações a nível de Brasil com relação a um tipo específico de solo, a saber, o solo laterítico.

Dentre os solos estabilizados quimicamente, são suficientemente representativos exemplos como o Solo-Cal, que consiste simplesmente em uma mistura de solo, cal hidráulica e água, devidamente homogeneizada, capaz de proporcionar à camada estrutural um melhor desempenho em contato com a água, estabilizando a expansibilidade do solo e aumentando, em muitos casos, a resistência, etc. Outro exemplo é o Solo – Cimento, que consiste também em uma mistura, dessa vez, de cimento com o solo, visando evitar a expansão de solos

sensíveis à umidade, uma vez que deve criar uma camada no entorno do grão de solo, envolvendo-o e funcionando como uma barreira que impossibilite o contato do mesmo com a água (BALBO, 2007, p. 198 e 201).

Reforço do subleito.

Camada que é por vezes necessária e adequada quando da existência de um subleito de qualidade inferior à esperada. É construída, quando viável econômica e tecnicamente, sobre a camada de regularização do subleito, de forma a atenuar os esforços que devem atingir a camada subsequente. Para que seja adequado à composição de uma camada de reforço de subleito, o solo deve possuir caraterísticas resistivas melhores que a do subleito, como também, naturalmente, deve ser menos nobre em suas propriedades em relação ao solo da camada localizada logo acima (Manual de Pavimentação DNIT, 2006, p. 106).

Regularização do subleito.

Conforme afirma o Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo, a regularização do subleito consiste em um conjunto de operações a ocorrerem sobre a camada final de terraplenagem a fim de conformá-la com as especificações de projeto, tanto no que concerne aos parâmetros geométricos estabelecidos, quanto às especificações relacionadas ao grau de compactação esperados (DER/SP, 2005).

Sobre o correto conceito da camada de regularização do subleito, o Manual de Pavimentação do DNIT (2006, p. 106), acrescenta: “a regularização não constitui, propriamente uma camada de pavimento, sendo, a rigor, uma operação que pode ser reduzida em corte do leito implantado ou em sobreposição a este, de camada com espessura variável”.

Tendo finalizado a descrição de todas as camadas do pavimento, segue-se o embasamento teórico relacionado à elaboração de um projeto de pavimentação em todas as suas etapas.

2.3 O Projeto de Pavimentação

Para a realização de um projeto de engenharia, primeiramente, devem ser realizados importantes estudos que venham a fundamentar sua elaboração. No caso de um projeto de pavimentação, são necessárias várias análises sobre a realidade da estrada em questão, como análises geotécnicas, topográficas e de tráfego. Após obtidos os dados necessários, passa-se à realização dos dimensionamentos e elaboração de todas as recomendações necessárias. (Manual de Pavimentação do DNIT, 2006).

Abaixo, seguem as descrições dos estudos necessários a um projeto de pavimentação, dando início com uma explanação sobre os estudos geotécnicos realizados no subleito da estrada.

- **Estudos Geotécnicos**

Para que seja elaborado de forma adequada um projeto de pavimentação, devem ser realizados estudos geotécnicos com dois objetivos principais, a saber, a caracterização do subleito da estrada e o estudo para caracterização dos materiais a serem usados nas camadas estruturais do pavimento. É sabido que tais materiais podem provir de prospecções na região de entorno, ou seja, eventuais jazidas ou jazidas já existentes, como também podem ser materiais usinados, como brita graduada simples, brita graduada tratada com cimento, etc. (Manual de Pavimentação do DNIT, 2006, p. 124)

As propriedades do solo que recebe sobre si toda a estrutura do pavimento são, obviamente, muito importantes, uma vez que dentre os principais objetivos de um pavimento está o de transferir ao solo natural uma carga compatível com sua capacidade de suporte (BALBO, 2007, p. 34). Igualmente importante é conhecer as características dos solos que virão a compor as camadas estruturais do pavimento, para que estas sejam dimensionadas adequadamente. Para saber, então, qual a capacidade de suporte, composição granulométrica, índice de plasticidade e diversas outras características, tanto do subleito da estrada como dos componentes

estruturais do futuro pavimento, são necessários ensaios que caracterizem o solo quanto aos parâmetros que serão relacionados abaixo.

Granulometria

Uma importante ferramenta para a identificação de um solo, bem como, consequentemente a previsão do comportamento deste solo, é a análise granulométrica, que, para as partículas com diâmetro maior ou igual a 0,075 mm, consiste na passagem do solo por uma série de peneiras, sendo, posteriormente, pesados os contingentes retidos em cada peneira. Para solos com diâmetro abaixo de 0,075 mm, a análise é realizada através de um ensaio de sedimentação.

A classificação de um solo pelo método TRB tem a composição granulométrica como um dos importantes parâmetros para a identificação do tipo de solo que se está sendo estudado. Em conjunto com os dados referentes aos limites de liquidez e plasticidade e o próprio índice de plasticidade, o resultado percentual do contingente das peneiras Nº 10, Nº 40 e Nº 200 constitui o principal meio de identificar o tipo de solo.

Além disso, existem as curvas granulométricas, que também podem ser obtidas com os resultados fornecidos pela análise granulométrica. O Manual de Pavimentação do DNIT (2006, p. 33), sobre isto, afirma que “traça-se a curva granulométrica em um diagrama semi-logarítmico que tem como abcissa os logaritmos das dimensões das partículas e como ordenadas as porcentagens, em peso, de material que tem dimensão média menor que a dimensão considerada (porcentagem de material que passa)”.

Acerca das curvas granulométricas, Senço (2008, p. 88), afirma que “podem apresentar diversas formas, as quais identificam não só prováveis aplicações, mas também o comportamento das camadas com elas constituídas, inclusive em misturas com aglutinantes”.

Índice de plasticidade

Pode-se afirmar que é de grande importância o conhecimento do grau de plasticidade que apresenta um solo, de forma especial quando da presença de solos finos, pois, figurando entre as mais importantes propriedades das argilas, a plasticidade quantificada funciona como uma eficaz ferramenta na caracterização de um solo, permitindo, através de seu valor numérico, quando não a definição clara do

tipo de solo estudado, um considerável direcionamento neste sentido. Essa definição é viabilizada pelos métodos de classificação de solos a exemplo do TRB e do MCT, que têm o índice de plasticidade como um de seus principais parâmetros (CAPUTO, 2016, p. 56).

Para a obtenção do Índice de Plasticidade, como afirma o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), são realizados dois ensaios, que fornecem outros dois índices, chamados de Limites de Atteberg. Um deles é o ensaio para a determinação do Limite de Liquidez (LL), com o uso do aparelho de Casagrande, que objetiva determinar o teor de umidade que marca a mudança de consistência do solo do estado líquido denso para o estado plástico, quando passa a conservar sua forma com facilidade ao ser moldado.

O outro é o ensaio para a determinação do Limite de Plasticidade (LP), que objetiva determinar o teor de umidade que marca a mudança de comportamento do solo quanto à sua capacidade de manuseio, estando, a partir deste nível de umidade, incapaz de ser moldado, esfarelando-se diante de alguma tentativa. O Índice de Plasticidade é, também segundo afirmação do Manual de Pavimentação do DNIT (2006), a diferença entre os dois índices supracitados e caracteriza de forma quantitativa o nível de plasticidade de um solo, sendo, então, representado pela seguinte equação:

$$IP = LL - LP$$

Sendo:

LL = Limite de Liquidez;

LP= Limite de Plasticidade;

IP = Índice de Plasticidade.

Estudos feitos por Artur Casagrande resultaram na elaboração do gráfico de plasticidade, amplamente usado, e que, relacionando o Limite de Liquidez ao Índice de Plasticidade, possibilita uma detalhada classificação da fração fina de uma massa de solo, com destaque para dados relacionados ao nível de compressibilidade, de considerável importância para os estudos de pavimentação. (Manual de Pavimentação do DNIT, 2006, p. 60).

> Este índice define a zona em que o terreno se acha no estado plástico e, por ser máximo para as argilas e mínimo para as areias, fornece um valioso critério para se avaliar o caráter argiloso de um solo. Quanto maior o IP, tanto mais plástico será o solo. O índice de plasticidade é função da quantidade de argila presente no solo, enquanto o limite de liquidez e o limite de plasticidade são funções da quantidade e do tipo de argila. Quando o material não tem plasticidade (areia, por exemplo), escreve-se IP = NP (não plástico) (Manual de Pavimentação DNIT, 2006, p. 35 e 36).

Determinação do teor de umidade ótima - Compactação

Sendo de grande importância em obras como aterros, rodovias, barragens, dentre outras, o processo de compactação foi estudado primariamente na década de 30 quando Proctor analisou a relação entre a umidade do solo e seu processo de densificação. Sabe-se hoje, seguramente, que o processo de compactação de um solo, realizado em campo por meio de rolos compactadores e equipamentos manuais com adição de água em quantidades calculadas produz melhoria em importantes propriedades como rigidez, resistência, impermeabilidade, prevenção a recalques, etc. (PINTO, 2006, p. 65).

A água é muito importante no processo de compactação, pois, em quantidades adequadas, ela facilita a densificação de um contingente de solo quando este é submetido a uma determinada energia de compactação. Isso acontece pelo fato de a água funcionar como uma espécie de “lubrificante” ao diminuir o atrito entre as partículas e favorecer o rearranjo entre estas. A partir disso, pode-se, então, definir o ensaio de compactação como o método utilizado para encontrar o nível de umidade que possibilite ao solo obter a máxima densificação possível, de forma que, sendo esta umidade ultrapassada, o processo de compactação comece a receber, ao invés de um auxílio, um prejuízo. (PINTO, 2006, p. 65).

> A compactação aumenta a densidade do solo, melhorando sua resistência e sua durabilidade. Isto é obtido pela redução dos vazios da mistura, por meio da energia de compactação imposta. A redução dos poros também inibe a percolação de água e a erosão, aumentando a durabilidade (ORIOLI 2018, p. 16).

Para que a compactação em um solo seja realizada da melhor maneira, é necessário que se conheça e se aplique, então, a sua umidade ótima. Para se

chegar a esse valor deve ser realizado um ensaio de compactação com o objetivo de detectar com que teor de umidade o solo atinge a máxima densificação, através da confecção de uma curva de compactação com o auxílio de recursos computacionais. O teor de umidade que promove a condição desejada é chamado de umidade ótima.

Em obras rodoviárias, tal ensaio é crucial para otimizar e facilitar o processo de compactação propriamente dito na fase de execução e, também, para o processo de dimensionamento do pavimento, uma vez que o Índice Suporte Califórnia (ISC ou CBR) de um determinado solo, fundamental para a fase de projeto, é determinado para um corpo de prova que esteja na umidade ótima. (Manual de Pavimentação do DNIT, 2006).

Expansividade

A expansividade é o crescimento do volume de um determinado solo, acontecendo principalmente na categoria dos solos argilosos, fato este que está atrelado à causa do fenômeno. Dentre as principais causas da expansão de um solo quando submetidos à saturação de umidade estão tanto a entrada de água nas interfaces das suas estruturas mineralógicas, em se tratando de solos argilosos, como a liberação de pressões de sucção que tenham sido causadas, por exemplo, por ocasião, por exemplo, do ressecamento do solo (PINTO 2006, p.16).

Um importante exemplo é a incongruência entre a análise tradicional europeia sobre o comportamento de solos lateríticos e o real comportamento observado no decorrer da execução de obras em países de clima tropical, como o Brasil, motivou a criação, em 1981, de uma nova classificação de solos denominada classificação MCT, visto que os solos lateríticos de clima tropical, apresentam, em vez disso, uma alta resistência e bom comportamento no quesito expansão e deformabilidade. (BERNUCCI et al., 2011).

Motivados pelo frequente e bem sucedido uso deste tipo de solo, os engenheiros desenvolvedores do Manual de Pavimentação do DNIT discorreram no referido manual sobre as instruções adequadas para seu uso, sendo uma delas a recomendação de ensaio de expansibilidade.

Índice Suporte Califórina (ISC)

Essencialmente empírica, a análise deste parâmetro é atribuída a O. J. Porter e foi desenvolvida na década de 1920, tendo como motivação inicial a necessidade

de analisar rupturas do solo do subleito de rodovias, que eram as falhas mais recorrentes da época (BALBO, 2007, p. 377). Ainda hoje, o ISC é usado em métodos de dimensionamento como um dos mais importantes parâmetros. Um exemplo é o método mais usado em obras rodoviárias brasileiras, o do DNER, presente atualmente no Manual de Pavimentação do DNIT.

O valor do ISC é dado em porcentagem e representa uma relação entre o comportamento de duas amostras submetidas ao mesmo carregamento, sendo uma a amostra de solo que se quer analisar e outra uma amostra padronizada de pedra britada que já tem o comportamento representado por resultados pré-definidos. Compara-se a pressão necessária para se fazer penetrar um pistão a determinadas profundidades na amostra de solo com os valores de pressão padronizados relacionados às penetrações na amostra de pedra britada e o resultado desta comparação é representado em porcentagem.

Este importante parâmetro é, por exemplo condicionante para a admissão de um solo como subleito de uma rodovia, definindo que para isto o mesmo deve apresentar um ISC mínimo de 2%. Já para servir como base, o mínimo é de 80%. O valor do ISC também entra nos cálculos próprios ao dimensionamento do pavimento, como se verá na seção 3.5 (Manual de Pavimentação do DNIT, 2006, pg 142).

Índice de grupo (IG)

Conforme consta no Manual de Pavimentação do DNIT (2006, p. 37), trata-se de um índice que expressa conjuntamente os aspectos da plasticidade e da granulometria de um solo, sendo determinado pela expressão:

$$IG = 0{,}2.a + 0{,}005.a.c + 0{,}01.b.d \qquad [1]$$

As variáveis “a” e “b” estão relacionados à granulometria, valendo o valor percentual passante na peneira de nº 200 menos 35 e menos 15, respectivamente. Já as variáveis “c” e “d” representam, respectivamente, o valor do LL menos 40 e o valor do IP menos 10.

O Índice de Grupo é usado em conjunto com o Índice Suporte Califórnia quando se prefere usar como dado representativo para a capacidade de suporte, em vez do próprio ISC, o chamado Índice de Suporte (IS), que consiste na média aritmética da soma de dois índices, um relacionado ao Índice de Grupo (IS_{IG}), valor

tabelado, e o outro é o valor numérico do ISC (IS_{ISC}) (SENÇO, 2007, p. 466). Abaixo, segue a fórmula do IS.

$$IS = \frac{(IS_{IG} + IS_{ISC})}{2} \quad [2]$$

- **Classificação de solos pelo método TRB.**

A respeito da importância da classificação de um solo na elaboração de um projeto de engenharia, o Manual de Pavimentação do DNIT, (2006), destaca que “o solo, sendo um material que ocorre na natureza nas mais diferentes formas, para ser utilizado como fundação ou material de construção, necessita ser classificado de modo que se possam formular métodos de projeto baseados em algumas propriedades de cada grupo”.

Tendo sido, portanto, a este momento, descritos os estudos de cunho geotécnico a serem realizados para a elaboração deste projeto de pavimentação e conhecida a importância de uma classificação para cada solo, propõe-se neste trabalho o método de classificação TRB (Transportation Reseach Board).

Este método consiste em classificar o solo com base em três parâmetros, sendo eles a granulometria, os limites de consistência e o valor do índice de grupo. De posse dessas informações, deve-se se consultar a tabela que será exposta a seguir e, a partir dela, se obtém a classe correta do solo como sendo a primeira cujos valores, procedendo-se a análise da esquerda para a direita, coincidirem.

A classificação possibilita, por exemplo, que se tenha um parecer qualitativo do solo para o uso como subleito, podendo ser “de excelente a bom” e “de sofrível a mau”, sendo pior conforme se aproxima do lado direito da tabela.

Figura 4: Tabela geral para a classificação pelo método TRB.

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

Fonte: Manual de Pavimentação do DNIT (2006).

- **Estudos de Tráfego**

Como já citado anteriormente, o dado final e principal, para o qual todos os estudos e análises de tráfego estão direcionados quando do dimensionamento de um pavimento é o número “N”, que é utilizado como dado representativo final de tráfego no dimensionamento do pavimento. Este número “N” é um valor que indica quantas vezes um eixo padrão de 8,2 toneladas deveria passar sobre a rodovia em questão para que viesse a causar o efeito a ser sofrido pela rodovia considerando todos os veículos que passarão por ela em toda a vida útil do pavimento (Manual de Estudos de Tráfego do DNIT, 2006, p. 245).

Para que este valor seja determinado, várias análises e correlações devem ser feitas, chegando a importantes dados que, tratados da devida forma, conduzirão a ele. Os principais dados a serem obtidos são:

- Volume médio diário anual (VMDa) para o período de projeto;
- Fatores de Eixo (FE);
- Fatores de Carga (FC).

O Volume Médio Diário anual é o número de veículos que percorre determinada estrada, intersecção ou determinado trecho de uma estrada durante um dia inteiro, sendo, para o ano inteiro, determinado o valor médio representativo deste índice para cada tipo de veículo.

O Fator de Eixo é um índice a ser aplicado separadamente aos diferentes tipos de veículos que passarem pelo trecho estudado, devendo ser multiplicado pelo número correspondente à quantidade de veículos de determinado tipo que passaram pela estrada durante o dia. O valor correspondente ao FE para determinado veículo é simplesmente a quantidade de eixos de determinado tipo presentes neste veículo, podendo um veículo ter mais de um tipo de eixo. Dessa forma, ao ser multiplicado um Fator de Eixo pelo número de veículos que passam e que contêm aquele tipo de eixo, se obterá a quantidade não de veículos, mas de eixos daquele tipo que passaram durante o dia no trecho estudado.

O Fator de Carga atua sobre a quantidade de cada tipo de eixo que passa pelo trecho, ou seja, sobre o resultado das aplicações de Fator de Eixo citadas no parágrafo anterior, de modo que, ao multiplicar-se o FC pelo quantidade de um determinado tipo de eixo, se obtenha o número de eixos padrão, de 8,2 toneladas que corresponde às passagens do eixo em questão durante o dia, ou seja, que produzam o mesmo efeito que as passagens do eixo sobre a estrada. A determinação do FC se dá por uma fórmula que muda para cada tipo de eixo, seja o eixo simples, de rodagem dupla, em tandem, etc. O cálculo se dá pela substituição da única incógnita da fórmula, representada por “P”, que diz respeito ao peso do eixo estudado em toneladas-força (Manual de Estudos de Tráfego – DNIT, 2006).

Figura 5: Fatores de carga

Tipos de eixo	Equações (P em tf)
Simples de rodagem simples	$FC = (P / 7{,}77)^{4{,}32}$
Simples de rodagem dupla	$FC = (P / 8{,}17)^{4{,}32}$
Tandem duplo (rodagem dupla)	$FC = (P / 15{,}08)^{4{,}14}$
Tandem triplo (rodagem dupla)	$FC = (P / 22{,}95)^{4{,}22}$

P = Peso bruto total sobre o eixo

Fonte: Manual de Estudos de Tráfego - DNIT (2006).

Pode-se, também, multiplicar-se os Fatores de Eixo e de Carga entre si para um determinado veículo, o que resulta no chamado Fator de Veículo (FV), de modo que este, ao ser multiplicado pela quantidade de veículos que passaram pelo trecho em estudo, se obtenha diretamente o número de eixos correspondentes ao eixo padrão de 8,2 tf.

Após terem sido obtidos esses dados, se prossegue, à luz do Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006) com a seguinte multiplicação:

$$N_a = \sum_{i=1}^{i=k} V_{ia} \,.\, FV_i \,.\, 365 \,.\, c \qquad [3]$$

Em que:

- N_a = Número total de passagens do eixo padrão de 8,2 ton. sobre a via estudada durante o ano inicial de funcionamento que representa o tráfego anual para a estrada.
- V_{ia} = Volume Total Anual correspondente ao tráfego do veículo representativo de categoria “i”.
- FV_i = Fator de Veículo (FE x FC) referente ao veículo representativo de categoria “i”.
- C = Valor em percentagem de veículos comerciais na faixa de projeto, definido de acordo com o número de faixas de tráfego a partir de uma tabela disponível no mesmo manual, na pg 246.

Após obter-se o número “N” referente ao ano inicial, como indicado na equação [3], conclui-se o estudo com a definição de uma taxa de crescimento anual para o tráfego, a partir da análise de dados econômicos, sociais, etc.

Tendo encontrado esta taxa, basta que ela seja aplicada a cada ano e, assim, ao final, se obtém o número “N” que corresponde ao tráfego de toda a vida útil da estrada.

- **Estudos topográficos**

De acordo com o documento Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários (DNER, 1999), pode-se afirmar que desde a fase preliminar, com a concepção do projeto, incluindo a escolha do melhor traçado no caso de novas rodovias, passando pela fase de anteprojeto até a fase de projeto, os dados obtidos por realização de análises topográficas na região de uma estrada a ser construída ou melhorada são fundamentais. No caso de uma estrada a ser pavimentada, a importância da topografia do terreno se evidencia principalmente na fase do desenvolvimento do perfil vertical que a estrada deve apresentar, realizado à luz das diretrizes do Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (DNER, 1999). Este perfil vertical precisa ser sobreposto ao perfil natural do terreno pelo qual passa o traçado da estrada, para que, através das diferenças entre os níveis de elevação natural e projetado, possam ser calculados os volumes de terraplenagem e, a partir daí, parte dos custos da obra. O perfil natural, por sua vez, só é obtido a partir de um estudo topográfico do terreno, pelo qual se obtém as curvas de nível que abrangem a região a ser estudada.

Os principais instrumentos utilizados para a realização deste estudo são as cartas topográficas da região, eventualmente existentes, a obtenção de dados virtuais topográficos obtidos por meio de satélites, a realização de levantamentos *in loco* com o uso de estação total, teodolito e outros acessórios, etc.

2.4 – Dimensionamento do Pavimento.

Abaixo, serão descritos os procedimentos indicados pela literatura para a determinação da espessura de cada uma das camadas do pavimento, iniciando a seguir com explanação sobre o dimensionamento do revestimento.

Dimensionamento da camada de revestimento.

Para definir a espessura da camada de revestimento, o Manual de Pavimentação do DNIT disponibiliza, na página 147, a seguinte tabela padronizada, que deve ser utilizada tendo em mãos o valor correspondente ao número “N” para este caso, definido por ocasião do estudo de tráfego realizado.

Figura 6: Tabela para dimensionamento do revestimento do pavimento

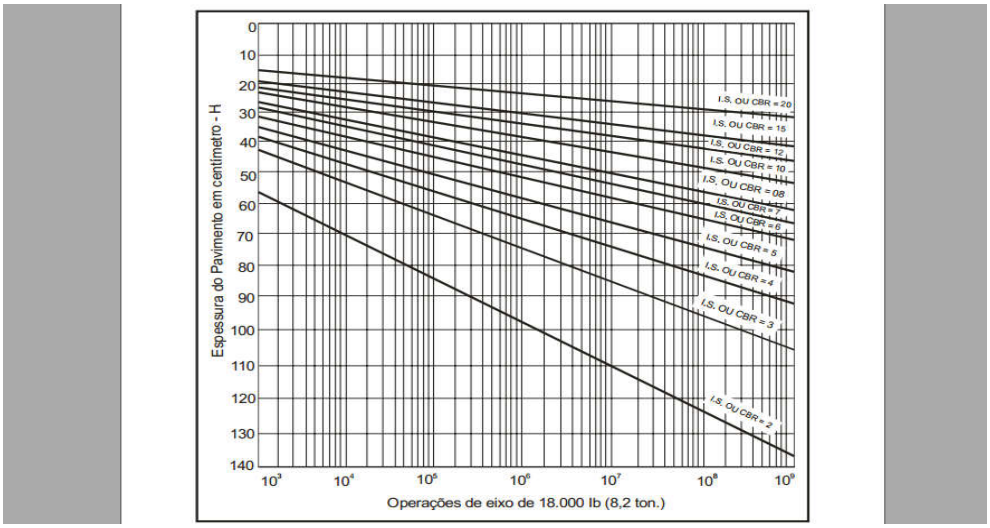
N	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Fonte: Manual de Pavimentação DNIT (2006)

Dimensionamentos da base e da sub-base.

Já para o dimensionamento da base e da sub-base é recomendado pelo mesmo manual que, primeiramente, com o uso do número “N” e do ISC, obtenha-se do ábaco representado abaixo, obtido do mesmo manual na página 149, o valor de suas respectivas espessuras.

Figura 7: Ábaco para determinação das espessuras do pavimento.



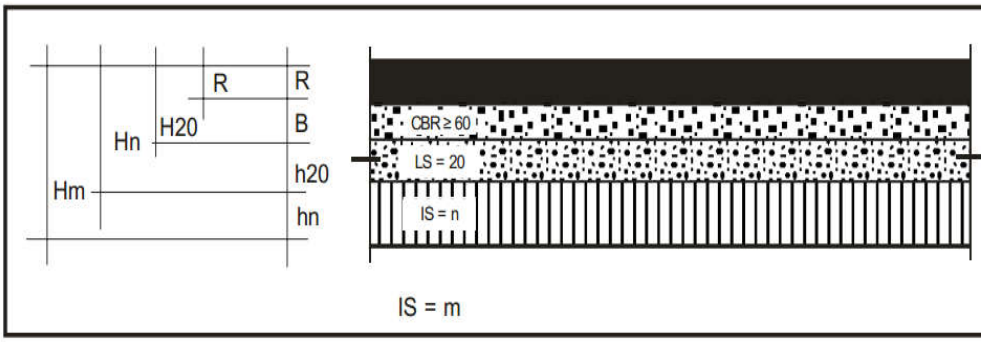
Fonte: Manual de Pavimentação - DNIT (2006)

Deve-se, a partir do número “N” no eixo das abcissas, traçar uma reta vertical até que esta intercepte a reta diagonal que represente o ISC do material da camada subsequente à que se está dimensionando. A partir do ponto de interceptação, traça-se uma reta horizontal em direção ao eixo das ordenadas, de onde será obtido o valor da espessura conforme a reta horizontal cruze o eixo vertical.

Três valores de espessura são obtidos do ábaco acima: a espessura geral de toda a estrutura do pavimento, denominada Hm, a espessura do pavimento que deve haver acima de uma camada de reforço de subleito eventualmente necessária, representada por Hn, e a espessura de pavimento que deve haver acima da camada de sub-base, denominada H20.

Na página a seguir encontra-se a representação gráfica de um pavimento, em corte e com as siglas representativas de cada espessura citada.

Figura 8: Pavimento em corte, com representação das espessuras.



Fonte: Manual de Pavimentação - DNIT (2006)

Tendo-se encontrado os valores de H_m, H_n, e H_{20}, devem ser resolvidas as inequações a seguir, obtidas também do Manual de Pavimentação do DNIT (2006, p. 148), ordenadamente, para, assim, encontrar os valores das espessuras de cada camada isoladamente, sendo o revestimento representado por R, com seu coef. de equivalência estrutural representado por K_R e a base representada por B, com seu coeficiente de equivalência estrutural representado por K_B. A sub-base, por sua vez, está representada por h_{20}, e seu coeficiente de equivalência estrutural representado por Ks. O reforço do subleito, se houver, é representado por h_n e seu coeficiente de equivalência estrutural por $K_{Ref.}$

- Inequação 1 – $RK_R + BK_B \geq H_{20}$ [4]
- Inequação 2 - $RK_R + BK_B + h_{20}K_S \geq H_n$ [5]
- Inequação 3 - $RK_R + BK_B + h_{20}K_S + h_nK_{Ref} \geq H_m$ [6]

Tendo sido apresentados os fundamentos teóricos que embasaram este estudo, passa-se, a seguir, ao estudo em si, com a descrição metodológica das diversas atividades realizadas, desde os estudos em campo até o tratamento dos dados e o dimensionamento.

3.0 METODOLOGIA.

Como método de obtenção dos parâmetros necessários à realização deste trabalho foram realizados vários estudos e ensaios laboratoriais, sempre de acordo com o indicado pelo Manual de Pavimentação do DNIT, do ano de 2006, e pelos diversos métodos de ensaio disponíveis. Os estudos realizados, de maneira geral, são os seguintes:

- Estudo geotécnico do subleito;
- Estudo topográfico;
- Estudo de tráfego;
- Prospecção para empréstimo de materiais.

Com estes estudos, foi possível que se realizassem:

- Dimensionamento do pavimento;
- Elaboração do projeto de terraplenagem;
- Realização de levantamento quantitativo/financeiro.

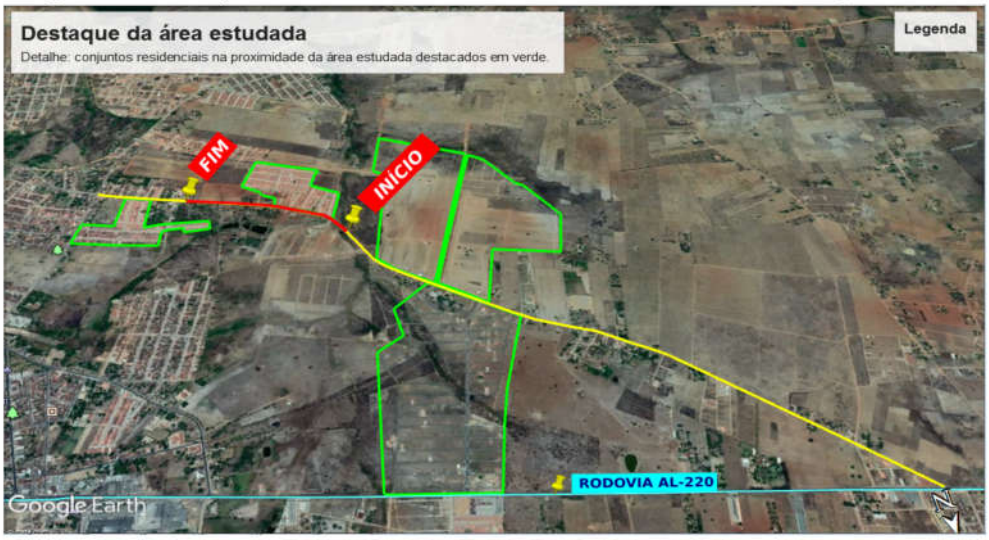
Segue, abaixo, o detalhamento da forma como foram realizados cada um dos estudos, bem como cada um dos objetivos para os quais estes estudos foram realizados.

3.1 Estudo do subleito – furos para coleta de amostras.

Para que o solo que compunha o subleito fosse devidamente caracterizado quanto às suas propriedades foi necessária a realização de furos para coleta de amostras a cada 200 m durante toda a extensão a ser estudada, a fim de serem coletadas amostras para realização de ensaios em laboratório.

Em decorrência das dificuldades enfrentadas para efetuar os furos, recolher o material, bem como o transporte e os próprios ensaios em laboratório, determinou-se um trecho de 800 m da estrada para análise completa do solo que compunha o subleito. Assim, este trecho, para efeitos deste estudo, representará toda a extensão da estrada. Como se pode observar na figura da página seguinte, o trecho aproxima-se do início da zona urbana da cidade e de conjuntos residenciais, destacados em verde.

Figura 9: Destaque da extensão onde seriam realizados os estudos geotécnicos.



Fonte: Google Earth Pro® (Adaptado)

Para esta extensão, foi determinado um estaqueamento com intervalo de 20 m e, a partir da estaca 0, foram realizados furos a cada 200 m, de modo que, ao percorrer toda a extensão de estudo se tinham realizado 4 furos no leito da estrada, precisamente nas estacas 00, 10, 20 e 30

Figura 10: Localização em estaca de cada ponto de furo para coleta de amostras.

Fonte: Google Earth Pro® (Adaptado)

Após terem sido determinados os locais onde deveriam ser realizados os furos, passou-se à realização das mesmas, desde a estaca 00 até a estaca 30, tendo como objetivo, basicamente, obter amostras em quantidade suficiente para que cada ensaio a ser realizado em laboratório ocorresse de forma satisfatória.

Em cada furo a escavação foi realizada com o auxílio de uma alavanca e um cavador manual, além de dispositivos auxiliares como trena métrica, pá, balança, sacolas plásticas para o devido acondicionamento, etc.

Figura 11: Realização de furo no leito da estrada.

Fonte: o autor

Seguindo as instruções fornecidas pelo Manual de Pavimentação do DNIT (2006, p. 125), os furos foram realizados sempre até uma profundidade próxima dos 60 cm, e o material de cada furo, após pesado e devidamente armazenado em sacola plástica, foi recolhido e guardado para posterior transporte até o laboratório de solos da UFAL – Campus do Sertão.

Figura 12: Amostras coletadas, acondicionadas e devidamente etiquetadas.

Fonte: o autor.

Depois de as amostras terem sido transportadas para o laboratório, deu-se início às análises geotécnicas de cada amostra, para, assim, caracterizar adequadamente o solo que compunha o subleito em estudo.

3.2 Estudo do subleito - ensaios de caracterização

- **Análise Granulométrica**

A primeira análise realizada com as amostras de solo em laboratório foi a Análise Granulométrica, seguindo o método de ensaio DNER-ME 051/94, que consiste basicamente em buscar conhecer a composição granulométrica de uma amostra de solo com o auxílio de várias peneiras de aberturas diferentes, de modo que, após a passagem do solo por todas as peneiras, se pese o contingente de solo que ficar retido em cada peneira.

Após preparada a amostra segundo a norma específica DNER-ME 041/94 (Solos - preparação de amostras para ensaios de caracterização), a mesma foi pesada e, registrado o seu peso inicial, passada pelas peneiras de 50 mm, 32mm, 25mm, 19mm, 9,5mm, 4,8mm, 2,0mm, 1,20mm, 0,6mm, 0,420mm, 0,300mm, 0,150mm e 0,075mm, respectivamente, até que estivesse suficientemente separada em diferentes porções de grãos com diâmetros próximos.

Depois de peneirada a amostra, cada uma de suas porções resultantes foi pesada separadamente, uma a uma, sendo anotado o valor do peso, para que, assim, fosse possível relacionar-se o peso correspondente a cada uma das porções representativas com o peso total da amostra. Dessa forma, foi possível inferir das operações realizadas valores em percentagem com os quais cada faixa de diâmetros foi representada em relação ao todo da amostra.

- **Limite de Liquidez (LL)**

Seguindo as recomendações do método de ensaio do DNIT, DNER-ME 122/94, intitulado “Solos - determinação do limite de liquidez – método de referência e método expedito”, o ensaio foi realizado com o devido equipamento, chamado de Aparelho de Casagrande, que consiste numa concha sobre a qual é acondicionada uma quantidade de solo e que está apoiada sobre uma base firme. A concha, por um

mecanismo presente no aparelho, deve sofrer golpes contra a base como parte do ensaio.

Figura 13: Aparelho Casagrande, utilizado para o ensaio do Limite de Liquidez.

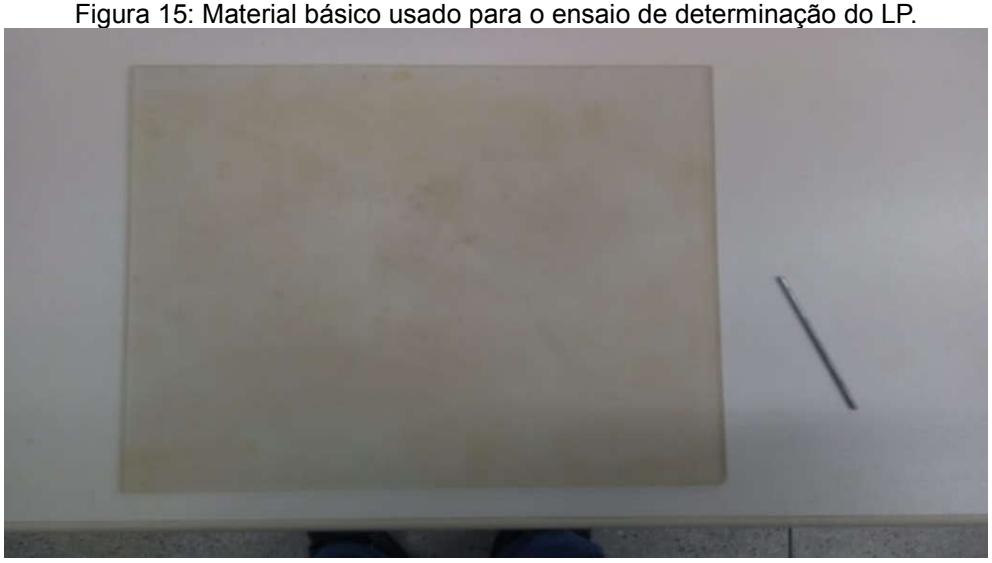
Fonte: o autor.

Iniciou-se o ensaio com a umidificação por água destilada de uma porção de todo o solo peneirado passante na peneira com abertura de 0,42 mm. Após homogeneização do solo umidificado, realizou-se, com o uso do Aparelho Casagrande, de uma balança de precisão e de uma estufa o procedimento prescrito no método de ensaio supracitado, de forma que, ao final, encontrou-se por interpolação o valor do teor de umidade pretendido, ou seja, o teor de umidade para o qual a ranhura feita no solo fecha ao sofrer exatamente 25 golpes, sendo este teor considerado, então, o limite de liquidez do solo.

- **Limite de Plasticidade (LP)**

À luz do método de ensaio pertencente ao DNIT , DNER-ME 082/94, intitulado “Solos – determinação do limite de plasticidade”, realizou-se este ensaio utilizando uma base de vidro esmerilado, um tubo metálico de 3 mm de diâmetro, a estufa para medição do teor de umidade e o solo em questão, que foi devidamente homogeneizado após ter sido umedecido com água destilada.

Figura 15: Material básico usado para o ensaio de determinação do LP.



Fonte: o autor.

A fim de se determinar em qual teor de umidade o solo apresentaria impossibilidade de manuseio, o método de ensaio supracitado indica que se molde o solo inicialmente em forma elipsoidal e, depois, busque-se formar um cilindro rolando a massa sobre o vidro esmerilado. O objetivo é que, ao mesmo tempo em que se busque formar o cilindro, o solo perca umidade pelo contato com a textura do vidro. Quando o cilindro chega ao diâmetro de 3 mm e ao comprimento mínimo de 10 cm, deve ser repartido e remisturado para uma nova moldagem do cilindro. Ao chegar no ponto em que o solo se torna incapaz de ser moldado, repartindo-se ou esfarelando-se antes de atingir as dimensões determinadas, deve ser recolhida uma porção do solo para ensaio de umidade. Realizando este processo por no mínimo 5 vezes, faz-se a média aritmética dos teores de umidade e obtém-se o valor aproximado do teor de umidade que representa o Limite de Plasticidade do solo.

3.3 Estudo do subleito - ensaios de capacidade resistiva.

Para chegar a parâmetros indicadores da resistência do subleito da estrada em questão em relação às solicitações de tráfego, recorreu-se a dois ensaios primordiais e interdependentes, sendo o primeiro deles o ensaio de compactação, realizado, para este trabalho, à luz da norma do DNIT 164/2013-ME.

- **Compactação**

Para a realização deste ensaio, foi antes preparada a amostra a ser utilizada, segundo instruções da mesma norma com a realização de processos como pesagem, quarteamento e peneiramento.

Em posse da amostra adequadamente preparada, deu-se início ao ensaio a partir da umidificação do solo, observando-se continuamente por meio de análise tátil visual a situação da amostra, a fim de se chegar a uma umidade 5% abaixo da umidade ótima, aproximadamente.

Figura 16: Preparação de amostra - fase de quarteamento.

Fonte: o autor.

Após constatar-se que se tinha chegado à umidade pretendid
a, deu-se início então ao processo de compactação, com o uso de um molde cilíndrico e metálico de dimensões pré determinadas pela norma em uso. O processo deu-se de forma que o material foi compactado no interior do molde em 5 camadas, efetuando-se, sobre cada camada, com um soquete, o número de golpes correspondente à energia normal de compactação.

O número de golpes teve de ser alterado em relação ao normatizado, pois, nos dias da realização do ensaio, o campus ainda não dispunha do soquete de 4,536 kg indicado pela norma para o ensaio de compactação usando o molde já referido, tendo-se disponível apenas um soquete menor, de 2,5 kg, destinado para o ensaio pelo método Proctor da ABNT.

Assim, diante desta pendência, foi utilizado o conceito base de energia de compactação, que, de acordo com PINTO (2006), é calculado pela seguinte fórmula:

$$EC = \frac{M . H . N_g . N_c}{V} \quad [7]$$

Em que:

- M = massa do soquete;
- H = Altura de queda do soquete;
- N_g = Número de golpes por camada;
- N_c = Número de camadas;
- V = Volume de solo compactado.

Figura 17: Pesagem do soquete disponível.

Fonte: o autor.

Substituindo, na equação 7, os parâmetros já determinados M, H, N_c e V, foi possível efetuar-se o cálculo do número de golpes que corresponderiam à energia normal de compactação para o peso e a altura de queda correspondentes ao soquete disponível para obter o mesmo efeito do soquete em falta sobre o solo a ser compactado.

Depois de calculado o número de golpes, passou-se, de fato, ao processo de compactação, efetuando-se 36 golpes com o soquete de 2,5 kg sobre cada uma das cinco camadas de solo a serem compactadas.

Figura 18: Realização de compactação.

Fonte: o autor.

Quando da conclusão da compactação de um corpo de prova, seu peso era conferido e registrado. Além disso, amostras de solo na umidade utilizada eram colhidas, pesadas e levadas à estufa para posterior cálculo do teor de umidade. Após anotados todos os dados, o corpo de przova era extraído do molde, bem como desintegrado e destorroado para, em seguida, ser acrescido de água em quantidade equivalente a 2% do peso inicial da amostra e, após homogeneização, dava-se início, novamente, ao processo de compactação.

A sequência de atividades descrita acima repetiu-se para teores crescentes de umidade, sendo efetuada pelo menos em 5 oportunidades por tipo de solo, tendo como base, também, o momento em que o peso do corpo de prova compactado, ao invés de aumentar, passava a diminuir, garantindo-se assim que a umidade ótima se tinha ultrapassado.

Tendo em mãos os dados obtidos na realização do ensaio de compactação à luz das instruções constantes na norma já citada nos parágrafos anteriores, foi possível calcular, para cada corpo de prova compactado, sua densidade e a umidade do solo no momento da compactação e, relacionando estes dois parâmetros, determinar a densidade seca, ou seja, a massa específica das partículas sólidas do solo.

Este cálculo foi realizado para cada teor de umidade específico a que foram submetidos os solos estudados, e, ao fim, foi efetuado o cálculo da umidade ótima do solo, ou seja, o teor de umidade que torna possível ao solo chegar ao seu maior

valor de densidade seca. Com os cinco pares de valores densidade seca e teor de umidade, foi possível, para cada solo, confeccionar a curva de compactação.

- **Índice Suporte Califórnia (ISC) e Expansividade.**

Para a realização do ensaio que determinaria o ISC da estrada, de grande importância para a definição da capacidade do subleito, foi utilizado o método de ensaio DNIT 172/2016 e, segundo suas determinações, primeiramente, foi seca ao ar a amostra a ser utilizada, para, então, após secagem, adicionar sobre a mesma a quantidade de água que equivalesse ao teor de umidade ótima ora já revelado pelo ensaio de compactação. Com o solo já umidificado e homogeneizado, deu-se início ao processo normal de compactação, até completarem-se as cinco camadas. Estando compactado o solo no interior do molde cilíndrico, seu peso foi registrado e amostras de solo foram colhidas para secagem em estufa a fim de conferir o teor de umidade.

Figura 19: Corpos de prova devidamente equipados para os ensaios de expansão e CBR.

Fonte: o autor.

Depois disso, os acessórios que constam na norma foram devidamente adicionados e ajustados ao molde com o corpo de prova, como mostra a imagem acima, sendo eles o prato perfurado de haste central ajustável, o disco anelar bipartido, o extensômetro e seu tripé de suporte, sendo estes últimos dois para o ensaio de expansão, que foi realizado simultaneamente.

Após ajustados como acima, os moldes com corpos de prova foram submersos em água por 96 horas, como determina o método de ensaio usado, e de 24 em 24

horas, anotou-se a medição de cada um dos relógios extensômetros, para que a expansão do solo fosse mensurada. Ao fim das 96 horas, os moldes foram retirados da água e seguiram para o ensaio do Índice Suporte Califórnia.

Figura 20: Corpos de prova submersos em água para ensaios de expansão e CBR

Fonte: o autor.

Após retirados da água, os corpos de prova ficaram escorrendo por 15 minutos e depois seguiram para a prensa Marshall-CBR, onde foram devidamente ajudados e ensaiados, assim como os resultados anotados. Os dados obtidos dos equipamentos da prensa, para cada ensaio, era uma série de pares de valores compostos pela penetração ocorrida sobre o corpo de prova, em mm, e a correspondente carga aplicada no mesmo em kgf. Assim, para cada corpo de prova, eram anotadas as cargas aplicadas correspondentes aos seguintes valores de penetração: 0.63mm, 1.27mm, 1.9mm, 2.54mm, 3.81mm, 5.08mm, 7.62mm, 10.16mm, 12.7mm.

Depois disso, os valores de carga foram convertidos em valores de pressão em kgf/cm², através da divisão dos mesmos pela área de seção transversal do pistão e, tendo em mãos os valores de pressão calculados, foram estes relacionados com os valores de pressão padrão constantes na norma, sendo expressa essa relação em porcentagem.

Já as medições citadas que tiveram como objetivo determinar a expansão sofrida pelo solo mediante sua submersão foram realizadas através da anotação da posição do ponteiro do extensômetro instalado em cada corpo de prova, que

indicava a expansão sofrida pelo solo em milímetros. Ao final das 96h obteve-se um valor final da expansão para cada solo e foi então esse valor comparado à altura inicial do corpo de prova, obtendo como resultado um valor em porcentagem, não podendo este ultrapassar os 2%.

3.4 Obtenção de dados de tráfego.

Com o objetivo final de se obter um número “N” que representasse o tráfego da Rua Pedro Alexandre por toda a vida útil do novo pavimento a ser dimensionado, o passo inicial, verificado junto ao Manual de Estudos de Tráfego (2006), foi uma contagem volumétrica de veículos segundo o método (2), escolhido dentre os disponíveis na tabela 21 da página 120 do mesmo manual.

Figura 21: Trecho da tabela que baseou a contagem manual de tráfego para este projeto.

	Método	Nível de Precisão	Variações aceitáveis	Observações
(1)	- Contagem durante 1 hora, em um dia de semana, entre 9 a.m. e 6 p.m.	D	A contagem pode ser estendida	
(2)	- Contagem em um dia de semana, de 6 a.m. até 10 p.m.	C ou D		
(3)	- Contagem entre 6 a.m. e 10 p.m. de 5ª Feira até Domingo	C	Pode ser estendida para dias incluindo 2ª Feira	Para a semana use 5 x 5ª + Sábado + Domingo
(4)	- Contagem entre 6 a.m. e 10 p.m. em 7 dias consecutivos	C		
(5) (6) (7) (8)	- Métodos (1) a (4) em 4 vezes - em intervalos de 3 meses - (usando para (1) e (2) diferentes horas - e dias)	C C B B	O número de vezes pode ser 2,3 ou 6 em vez de 4, alterando de forma semelhante o espaçamento	Calcule os totais de cada semana e então a média das 4 semanas
(9)	- Contagem das 6 am às 10 pm de 52 em 52 dias durante 1 ano (7 contagens)	B		
(10)	- Contagem das 6 am às 10 pm de 26 em 26 dias durante 1 ano (14 contagens)	A ou B		
(11)	- Contagem das 6 am às 10 pm de 13 em 13 dias durante 1 ano (28 contagens)	A		

Fonte: Manual de Estudos de Tráfego - DNIT (2006)

O método (2) consiste em contagem dos veículos que passarem pela estrada, iniciando às 6h da manhã e encerrando às 22h, em um dia de semana, tendo um nível de precisão entre o “C” e o “D”.

Este método foi aplicado no dia 22 de abril de 2019, uma segunda-feira, dia da semana com maior movimento em Arapiraca por ocasião da tradicional feira livre que ocorre no centro da cidade. Foram contabilizados separadamente e por sentido de trajeto os seguintes tipos de veículos:

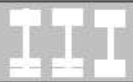
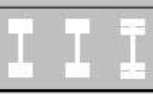
- Carros de Passeio.
- Caminhonetas.

- Ônibus de dois eixos, sendo o traseiro duplo.
- Caminhão médio de dois eixos, sendo o traseiro duplo.
- Caminhão pesado de 2 eixos, sendo o traseiro tandem.

Os dados foram, então, tratados segundo os cálculos que constam no tópico de estudo de tráfego, da seção 2.3, na página 28.

Vale destacar a forma como foram calculados os fatores de carga (FC) e de veículo (FV) para, então, se chegar ao valor do número “N” correspondente ao ano corrente de projeto. Como se sabe do tópico de estudos de tráfego da seção 2.3, para o cálculo do FC, deve-se ter uma estimativa do peso por eixo do veículo em toneladas, para, a partir daí, definir o FV convertendo a quantidade de eixos daquele veículo específico na quantidade de eixos padrão de 8,2 toneladas correspondente. Foi, para isso, consultada a figura 12 do manual de estudos de tráfego (2006), representada abaixo.

Figura 22: Quadro com valores máximos de carga por tipo de eixo.

Configuração	Distância entre eixos (ee)	Qtde. de Eixos	Qtde. de Pneus	Suspensão	Carga máxima autorizada
	- - - - - - - - -	1	2	- - - - - - - - -	6
	- - - - - - - - -	1	4	- - - - - - - - -	10
	- - - - - - - - -	2	4	- - - - - - - - -	12
	Menor que 1,20m	2	6	Especial	9
	De 1,20 a 2,40m	2	6	Especial	13,5
	Maior que 1,20 e menor que 2,40 m	2	8	Tandem	17
				Não Tandem	15
	Maior que 1,20 e menor que 2,40 m	3	12	Tandem	25,5
	Maior que 2,40 m	2	8	- - - - - - - - -	20
	Maior que 2,40 m	3	12	- - - - - - - - -	30

Fonte: Manual de Pavimentação DNIT (2006)

Esta imagem traz a tabela de carga máxima por tipo de eixo. Para fins da elaboração deste projeto, foi admitida uma carga sempre de duas a três toneladas abaixo da carga máxima admitida para o eixo, de modo a evitar o superdimensionamento da estrutura do pavimento.

Após calculados os fatores de carga e de veículo, foi calculado o número “N” anual para cada tipo de veículo representado e, logo depois, foram somados os valores correspondentes a cada um dos veículos para se obter o número “N” geral da estrada previsto para o ano corrente. A tabela com os valores resultantes encontra-se na seção 5.2.

- **Cálculo das taxas de crescimento anual – Fatores intervenientes.**

Tendo obtido o valor anual do número “N” para cada tipo de veículo, foram então analisadas as possibilidades de crescimento anual do tráfego em porcentagem, segundo parâmetros diversos e utilizando como modelo para esta análise o estudo de tráfego realizado na elaboração do Projeto Básico para Melhoria e Restauração da Rodovia AL-145, em Delmiro Gouveia (2009)

Assim, também no estudo da nossa estrada, foram estabelecidas hipóteses de crescimento de tráfego com base em informações obtidas de fontes como a série Brasil em Síntese, do IBGE e a Projeção da População dos Municípios Alagoanos, do governo do estado de Alagoas. Obteve-se destas fontes dados sobre o crescimento populacional da região, o crescimento da frota de veículos e o crescimento da economia regional. Houve também análises com base em situações particulares do trecho, sendo elas o desvio de tráfego em decorrência da melhoria da estrada, a presença de conjuntos residenciais e a construção de empreendimentos que tenham a estrada como uma das rotas, a exemplo do Aeroporto de Arapiraca.

Abaixo, descreve-se o levantamento destes dados balizadores e os resultados obtidos, bem como a forma com a qual os mesmos foram utilizados no cálculo do número “N”.

Evolução da frota de veículos.

Abaixo, segue a tabela para uso no elaboração desta taxa de crescimento que apresenta o crescimento anual em valores percentuais da frota de veículos na cidade de Arapiraca a partir do ano de 2010.

Tabela 1: Frota de Veículos e seu crescimento.

Ano	Quantidade	Crescim. Percentual
2010	55920	-
2011	62079	11,0139484978541
2012	68913	11,0085536171652
2013	76264	10,6670729760713
2014	83445	9,41597608307983
2015	89428	7,16999221043801
2016	94237	5,37751039942747

Fonte: IBGE, 2017.

Observa-se um decréscimo no crescimento, e a partir de 2014 verificou-se 2% de decréscimo por ano. Considerando a hipótese de que este decréscimo seja em virtude da crise econômica que afeta o país, como também a atual conjuntura, podemos estimar a continuidade do decréscimo, chegando a 3% em 2017. Este valor foi mantido para efeitos de cálculo, sendo a taxa de crescimento do tráfego na estrada **estimada em 3%**, quando relacionada ao crescimento da frota de veículos.

Evolução da população residente em Arapiraca.

A exemplo do dado anterior, obteve-se, também, para o contexto populacional uma estimativa para o crescimento entre 2011 e 2016, tendo como resultado a tabela abaixo que expõe os valores em termos percentuais.

Tabela 2: Crescimento da população de Arapiraca.

População		
Ano	Quantidade	Cresc, Perc,
Censo 2010	214006	
2011	223162	4,278384718185
2012	225746	1,157903227252
2013	225746	0
2014	236184	4,623780709293
2015	232811	-1,42812383565
2016	234980	0,931657009334

Fonte – Projeção da população dos Municípios Alagoanos (Dados.al.gov.br), 2011.

Pode-se observar uma variação heterogênea, mostrando-se até negativa entre 2014 e 2015. Por isso, para efeitos de cálculo e de acordo com os valores observados, foi adotada **uma taxa de 2%** de crescimento de tráfego.

Crescimento da Economia (PIB)

Assim como para a evolução da Frota de Veículos, o IBGE também fornece dados sobre o crescimento da economia que podem ser observadas na tabela abaixo em valores percentuais entre 2010 e 2016.

Tabela 3: Evolução da economia na cidade.

Economia – PIB A PREÇOS CORRENTES (X R$ 1000,00)		
Ano	Quantidade	Crescim. Percentual
2010	1908879	
2011	2187572	14,5998253425178
2012	2789061	27,4957349975224
2013	2973621	6,61728086979811
2014	3436666	15,5717557819238
2015	3935791	14,5235236709066
2016	4012631	1,9523394407884

Fonte: IBGE

Observando o decréscimo predominante da economia a partir de 2014 e analisando a conjuntura atual do município, viu-se razoabilidade na adoção de uma taxa de crescimento do tráfego de 2%, relacionado com este dado.

Desvio de tráfego em decorrência da melhoria das condições de rolamento

Observando a situação da estrada no dia da contagem manual, percebeu-se que as más condições de rolamento do trecho, que não possui nenhum tipo de pavimentação, influíram diretamente no baixo volume de tráfego verificado na estrada, especialmente no que diz respeito a caminhões e outros veículos pesados.

Para estimar um crescimento imediato do tráfego na estrada por ocasião da melhoria das condições do pavimento e dada a ausência de dados consistentes como pesquisas de origem e destino, usou-se com base a forma como se procedeu na elaboração do projeto básico de melhoria da AL-145, pg 29, já citado no início deste tópico.. Neste, utilizou-se um coeficiente “k” a ser multiplicado pela quantidade levantada de cada tipo de veículo, e que para a situação foi estimado em 1,5, o que,

em termos percentuais, se caracteriza como um aumento imediato de 50% sobre o resultado da contagem inicial da quantidade de passagens de cada tipo de veículo.

A partir disto, e considerando-se a cautela necessária por não haver nenhum estudo da situação real da estrada para basear com mais propriedade este cálculo, foi considerado que após a reativação do trecho, quando concluída sua pavimentação, haveria de se observar um crescimento **da ordem não de 50%, mas de 25%** sobre o tráfego atual, o que corresponde à aplicação de um coeficiente "k" igual a 1,25.

Loteamentos e conjuntos residenciais

Tendo em vista a presença de grandes conjuntos residenciais já instalados e em início do processo de habitação, além de loteamentos no curso da estrada, tanto à direita como à esquerda, também foi considerado um crescimento do tráfego de 7,5% durante os 5 primeiros anos de funcionamento da rodovia, período durante o qual se espera que tais loteamentos e conjuntos sejam devidamente ocupados.

Aeroporto de Arapiraca

Em virtude da previsão de que o aeroporto de Arapiraca seja construído nas imediações do povoado Canaã, que tem um dos acessos como sendo a estrada estudada, foi estimado que a partir do 3º ano de funcionamento da rodovia houvesse um crescimento anual de 0,5% do tráfego, como contribuição já do funcionamento do aeroporto.

A partir das informações listadas acima, foram, então, elaboradas quatro hipóteses de combinação dos fatores intervenientes, de modo que obtiveram-se quatro modelos de acréscimos percentuais e, consequentemente, quatro números "N" finais para toda a vida útil do novo pavimento. A descrição de cada hipótese e os valores finais estão disponíveis no capítulo de resultados, o capítulo 5.

3.5 Prospecção por materiais adequados para as camadas estruturais do pavimento.

Tendo entrado em contato com empresas que atuam na região da cidade de Arapiraca, a informação que se obteve é que os locais que seriam adequados para obtenção de materiais para as camadas de base e sub-base, como as jazidas

existentes, estão interditados pelo órgão ambiental estadual, o Instituto do Meio Ambiente (IMA).

Diante desta situação, o material indicado pelas empresas para a composição da base foi a Brita Graduada Simples (BGS), que é obtida em pedreiras nas proximidades da cidade de Arapiraca. Apesar do custo elevado, foi a solução encontrada pelas empresas da região e, portanto, foi a solução escolhida para este trabalho.

No que diz respeito à sub-base, a prática da empresa L. Pereira, consultada sobre este assunto, foi a de promover um melhoramento do solo do próprio leito da estrada através da estabilização do solo na obra em que estava realizando. Por isso, o que foi proposto neste trabalho foi que se promovesse um melhoramento do solo da forma que fosse possível, de modo que se chegasse p solo a um CBR de 25%, cumprindo limite inferior que o DNIT preconiza que é de 20%.

3.6 Dimensionamento do Pavimento.

Para efetuar o dimensionamento do pavimento, já se deve ter em mãos os dados referentes à capacidade de suporte do subleito e dos materiais a serem usados nas camadas estruturais, quantificada pelo Índice de Suporte Califórnia. Além disso, deve-se ter disponível o número “N”, referente ao tráfego da estrada na vida útil prevista.

Tendo disponível o ISC do subleito e o número “N”, estimou-se, para efeitos de cálculo, um ISC para eventual sub-base, que, tendo o mínimo permitido de 20%, ficou em 25%.

Análise inicial.

Inicialmente, ao analisar o valor do Índice Suporte Califórnia do Subleito, constatou-se a aptidão do solo natural da estrada para receber um pavimento construído segundo os padrões estabelecidos no Manual de Pavimentação do DNIT (2006). Tal índice variou entre 2,65% e 12,41% com média de 5,81% na extensão de terreno em que foi realizada a coleta de amostras, estando todo o intervalo acima do valor mínimo de 2%.

Diante destas informações preliminares, prosseguiu-se o dimensionamento pela observância dos métodos já citados no tópico 2.3.2.

Procedimentos e análises relacionadas à quantidade e à espessura das camadas do pavimento.

Para o cálculo do revestimento, foi usada a tabela exposta na figura 7, do tópico 3.3.2.2, que estabelece espessuras para revestimentos asfálticos a partir do valor do número “N” para a estrada em questão. No caso da estrada aqui estudada, a espessura foi de 5 cm, visto que o material escolhido foi o concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) e o número “N” está entre 10^6 e 5 x 10^6.

Para calcular as espessuras das camadas subsequentes ao revestimento, primeiramente foi necessário calcular a espessura total correspondente a toda a estrutura do pavimento e, para isso, reuniu-se as informações do Índice Suporte Califórnia referente ao subleito e do número “N” para aplica-los na fórmula abaixo, que é alternativa ao uso do ábaco mostrado na página 31:

$$H_t = 77{,}67 . N^{0{,}0482} . CBR^{-0{,}598} \qquad [8]$$

Sendo:

- H_t = Altura ou espessura total do pavimento;
- N = Número “N” representativo do tráfego de toda a vida útil do pavimento;
- CBR = Valor do Índice de Suporte Califórnia do solo abaixo em termos percentuais.

Tendo sido aplicada esta fórmula, o valor encontrado para a espessura total do pavimento foi de exatos 56,7 cm, valor que foi arredondado nas contas para 57 cm. A partir deste dado, verificou-se a necessidade da utilização de uma camada de sub-base abaixo da camada de base, dada a clareza com a qual se observa quão onerosa seria a execução de um pavimento desta dimensão apenas com a camada de base, que tem custo elevado e que precisaria ter espessura superior a 45 cm.

Foi considerado, então, pelas razões descritas acima, que a estrada teria uma sub-base com CBR de 25%, haja vista a exigência de CBR mínimo com 20% para esta camada.

Considerando a altura H_n, representada na figura 9, do tópico 3.3.2.3, como a altura ou espessura total do pavimento, ou seja, considerando $H_n = H_t$, tendo o valor

resultante de 57 cm, o próximo passo neste caso é efetuar o cálculo da espessura H_{20}, que é a soma das espessuras do revestimento e da base do pavimento. O cálculo é realizado da mesma forma que o da espessura total, com a diferença de que o CBR para este caso é o da sub-base, que fica imediatamente abaixo:

$$H_{20} = 77{,}67 . N^{0{,}0482} . CBR_{(subbase)}^{-0{,}598} \quad [9]$$

Depois de obtido o resultado de H_{20}, que foi de 23,7 cm, sendo arredondado neste caso para 24 cm, inicia-se o cálculo das espessuras de cada camada, a começar pela base, usando a seguinte inequação:

$$RK_R + BK_B \geq H_{20} \quad [10]$$

Sendo:

- R = espessura do revestimento;
- K_R = coeficiente de equivalência estrutural para o material do revestimento;
- B = espessura da base;
- K_B = coeficiente de equivalência estrutural para o material da base.
- H_{20} = valor da espessura que compreende as camadas de revestimento e base somadas.

Os valores usados como coeficientes de equivalência estrutural neste trabalho foram obtidos da instrução de projeto IP 004/2004, produzida pela Prefeitura Municipal da cidade de São Paulo, intitulada Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis para Tráfego Leve e Médio, que no quadro 4.4, apresenta diversos tipos de material e seus respectivos coeficientes:

Figura 23: Coeficientes de equivalência estrutural.

Coeficientes de equivalência estrutural

CAMADA DO PAVIMENTO	COEFICIENTE ESTRUTURAL (K)
Base ou Revestimento de Concreto Asfáltico	2,00
Base ou Revestimento de Concreto Magro/Compactado com Rolo	2,00
Base ou Revestimento de Pré-Misturado a Quente, de Graduação Densa / Binder	1,80
Base ou Revestimento de Pré-Misturado a Frio, de Graduação Densa	1,40
Base ou Revestimento Asfáltico por Penetração	1,20
Paralelepípedos	1,00
Base de Brita Graduada Simples, Macadame Hidráulico e Estabilizadas Granulometricamente	1,00
Sub-bases Granulares ou Estabilizadas com Aditivos	≤ 1,00
Reforço do Subleito	≤ 1,00
Base de Solo-Cimento ou BGTC, com resistência á compressão aos 7 dias, superior a 4,5 MPa	1,70
Base de BGTC, com resistência à compressão aos 7 dias, entre 2,8 e 4,5 MPa	1,40
Base de Solo-Cimento, com resistência à compressão aos 7 dias, menor que 2,8 e maior ou igual a 2,1 MPa	1,20
Base de Solo melhorado com Cimento, com resistência à compressão aos 7 dias, menor que 2,1 MPa	1,00

Fonte: IP 004/2004, Prefeitura Municipal de São Paulo.

Desta forma, sendo o revestimento de CBUQ, $K_R = 2$, e sendo a base de brita graduada simples, $K_B = 1$. Tendo sido resolvida a inequação, descobriu-se que:

$$B \geq 13{,}68\,\text{cm} \qquad [11]$$

Tendo descoberto o valor mínimo da espessura da base e adotando para esta a espessura de 14 cm, passa-se ao cálculo da espessura da base pela seguinte inequação:

$$RK_R + BK_B + h_{20}K_S \geq Hn \qquad [12]$$

Sendo h_{20} a espessura da camada de sub-base e K_s o coeficiente de equivalência estrutural para o material usado na sub-base, e considerando que esta camada deva ser construída por melhoramento do próprio leito da estrada, com o objetivo de chegar-se a um CBR de 10%, o valor de K_s pode ser igualado a 1, segundo indicações do IP 004/2004. Assim, como resultado final da inequação acima, temos que:

$$h_{20} \geq 31{,}7\,\text{cm} \qquad [13]$$

A espessura de sub-base, obedecendo a exigência mínima calculada, foi definida, portanto, em 32 cm.

Determinação das larguras das camadas estruturais.

Como se sabe, por se tratar de camadas construídas em formas de aterro, é necessário que haja uma inclinação lateral para as camadas de base e sub-base, ficando assim as camadas com larguras diferentes em seu topo e em sua base. Dessa forma, foi escolhida uma inclinação lateral de 2V/3H para estas duas camadas, tomando com exemplo o Projeto Básico para Melhoria e Restauração da Rodovia AL-145, em Delmiro Gouveia (2009).

A largura superior da camada base foi determinada somando-se 15 cm à largura da camada de revestimento. Como a largura inferior da camada de revestimento foi fixada em 8,15 m, a camada de base em sua largura superior ficou com 8,30 m. Já a sua largura inferior, por conta das inclinações laterais, para uma espessura de 14 cm, chegou ao valor de 8,72 m.

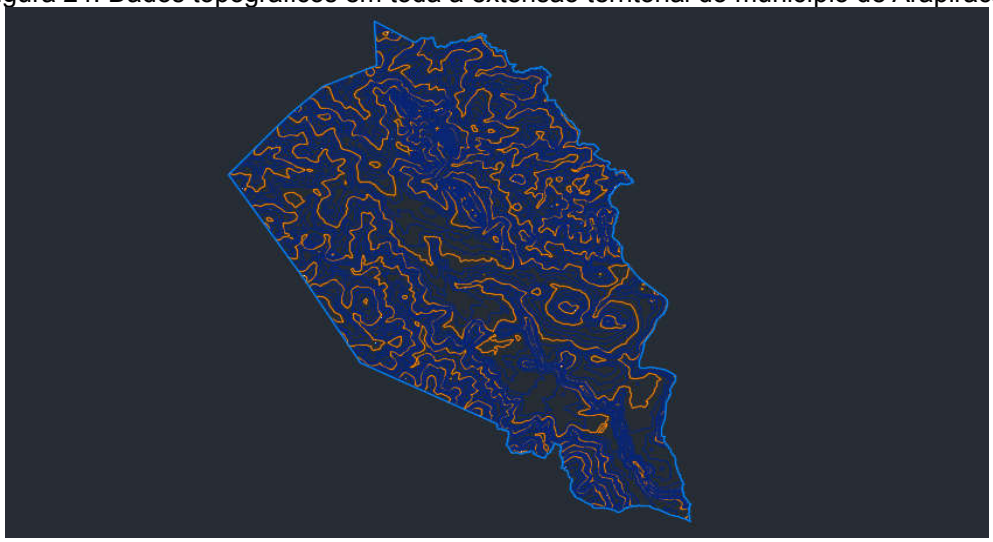
Para a largura superior da camada de sub-base, adicionou-se à largura inferior da base o valor 28 cm para que chegasse ao valor exato de 9m. Para sua espessura de 33 cm, a inclinação lateral fez com que sua largura inferior chegasse ao valor de 10 m.

3.7 Topografia e movimentação de terra – obtenção de dados.

Para que fosse possível realizar trabalhos como o projeto de terraplenagem e o levantamento quantitativo/financeiro deste projeto, foi imprescindível uma análise da topografia do terreno. Com este estudo, pôde-se, por exemplo, obter o perfil topográfico natural da estrada existente e estabelecer um greide, ou seja, um perfil vertical adequado para a estrada obedecendo as restrições da norma no que concerne a limite de inclinação das rampas, comprimento de curvas verticais, etc.

Para a obtenção dos dados topográficos, foi consultado o site geo.arapiraca.gov.br, que dispõe de várias informações geográficas, com mapeamentos de variados gêneros. De lá, obteve-se o mapa topográfico com precisão de 5m para toda a extensão territorial do município de Arapiraca.

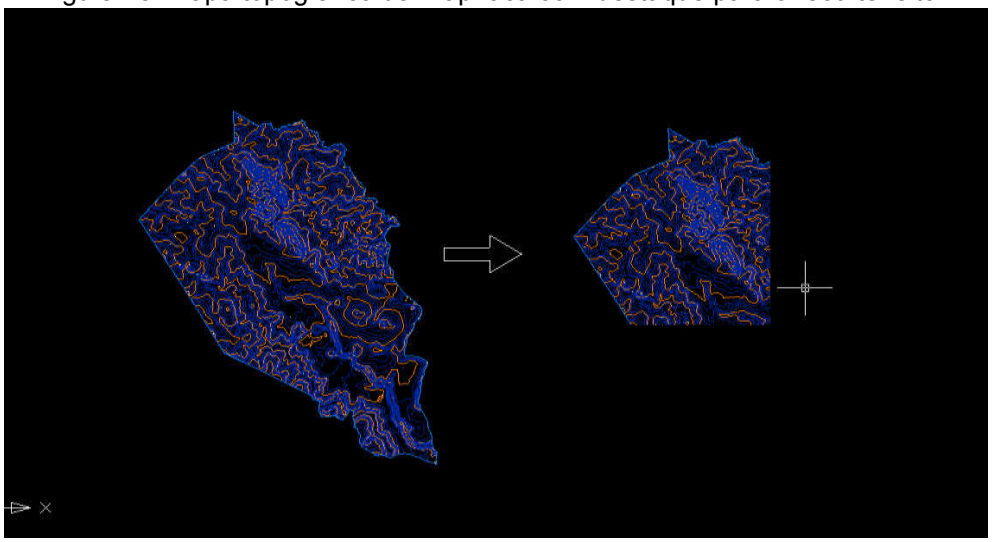
Figura 24: Dados topográficos em toda a extensão territorial do município de Arapiraca.



Fonte: geo.arapiraca.al.gov.br

Obtido que foi o mapa acima, identificou-se, dentro desta extensão territorial, o local das proximidades da estrada e foi feito um recorte deste para que se trabalhasse com mais facilidade.

Figura 25: Mapa topográfico de Arapiraca com destaque para o recorte feito.



Fonte: geo.arapiraca.al.gov.br (Adaptado)

Para localizar o traçado da estrada sobre o mapa topográfico acima citado, contou-se com o auxílio dos softwares Google Earth Pro® e QGIS®. Com o uso do software QGIS, foi gerado um arquivo KML, formato compatível com o Google Earth Pro, contendo o recorte do mapa topográfico onde deveria ser localizado o traçado da estrada. Abrindo o arquivo, verificou-se com sucesso a projeção do recorte do

mapa topográfico sobre a imagem de satélite da cidade de Arapiraca, conforme ilustrado abaixo.

Figura 26: Recorte topográfico da estrada sobreposto à imagem de satélite.

Fonte: Google Earth Pro® (Adaptado).

Abaixo, segue uma imagem aproximada do recorte topográfico em relação à estrada.

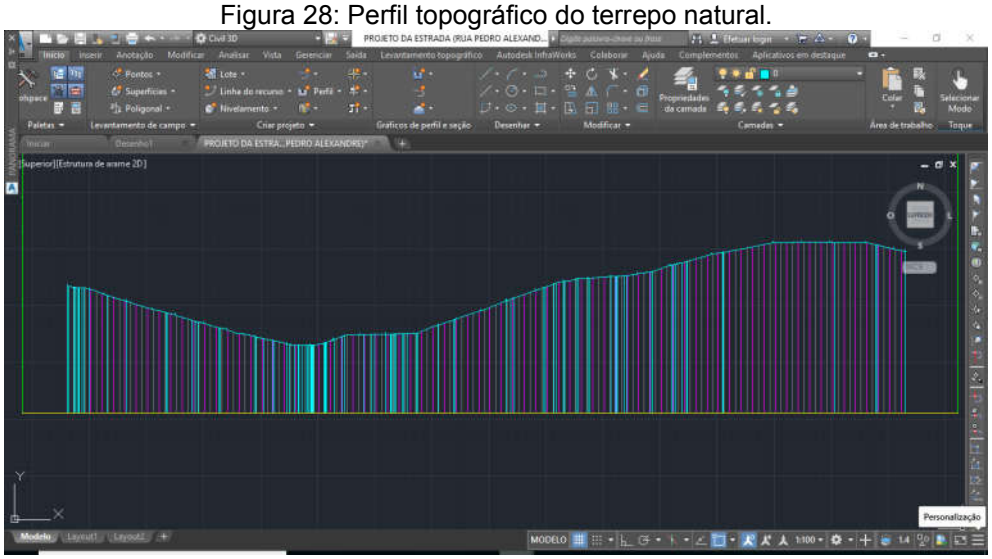
Figura 27: Imagem aproximada do mapa topográfico sobre a imagem de satélite.

Fonte: Google Earth Pro®

A partir da sobreposição referida e ilustrada acima, foi possível posicionar o traçado da estrada corretamente sobre os dados topográficos, para, a partir daí, transferir estes dados para o software Autodesk Autocad Civil 3D® e, já neste

software, gerar o perfil topográfico do projeto. A figura abaixo ilustra o perfil topográfico do terreno por onde passa a estrada.

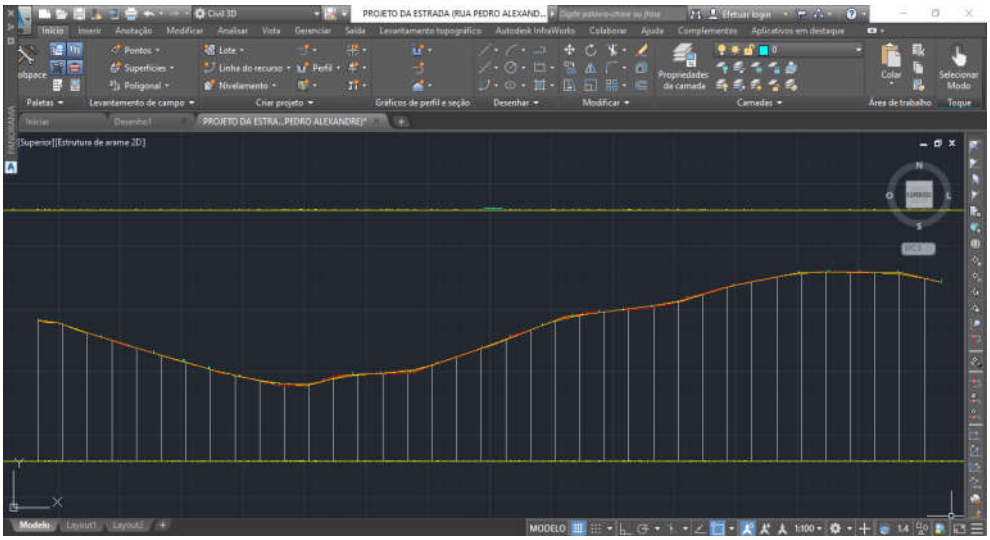
Figura 28: Perfil topográfico do terrepo natural.



Fonte: Autocad Civil 3D®

Com esta informação, foi possível corrigir as inclinações elevadas e sinuosidades inadequadas da estrada, de forma a estabelecer então um greide de terraplenagem de acordo com os padrões determinados pelos manuais do DNIT.

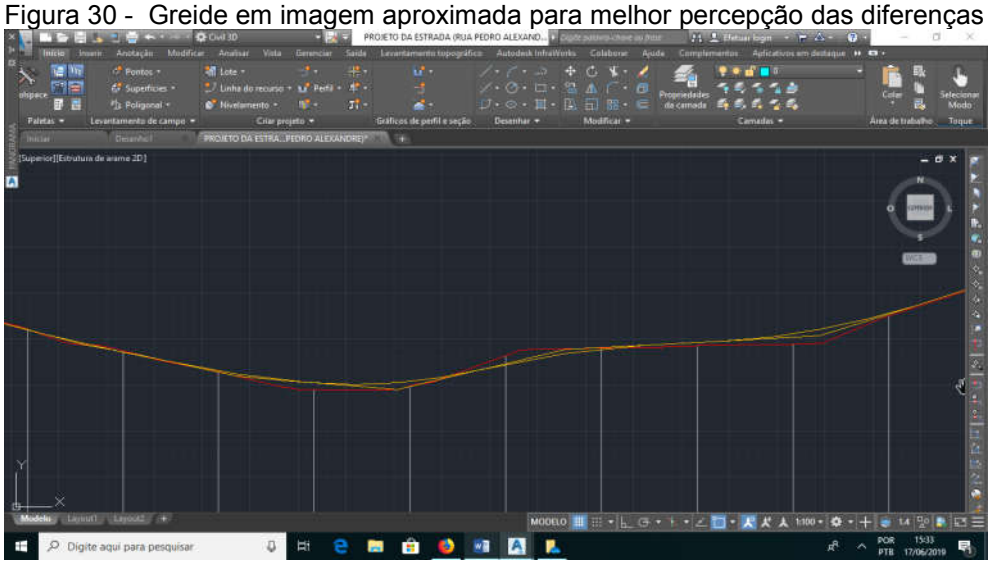
Figura 29: Greide (amarelo) projetado sobre o perfil do terreno natural da estrada (vermelho).



Fonte: Autodesk Autocad Civil 3D ®

Abaixo, uma imagem aproximada evidencia algumas diferenças entre o greide e o terreno natural, merecendo destaque a atenuação das inclinações.

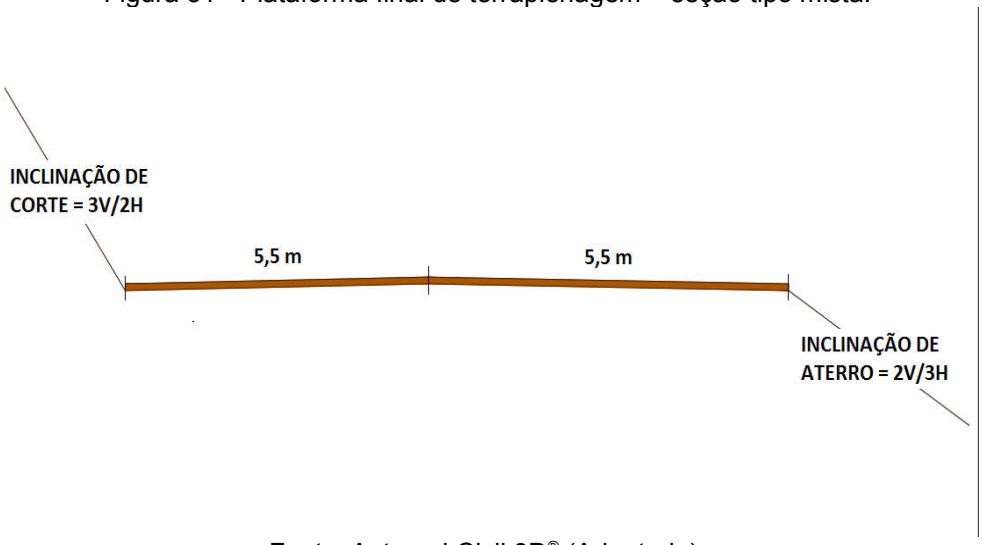
Figura 30 - Greide em imagem aproximada para melhor percepção das diferenças



Fonte: Autocad Civil 3D®

Para início do projeto de terraplenagem foram definidas as dimensões da plataforma de terraplenagem que deveria ser construída, determinando-se largura e inclinações de corte e de aterro. A seção tipo mista abaixo ilustra a plataforma adotada e suas características.

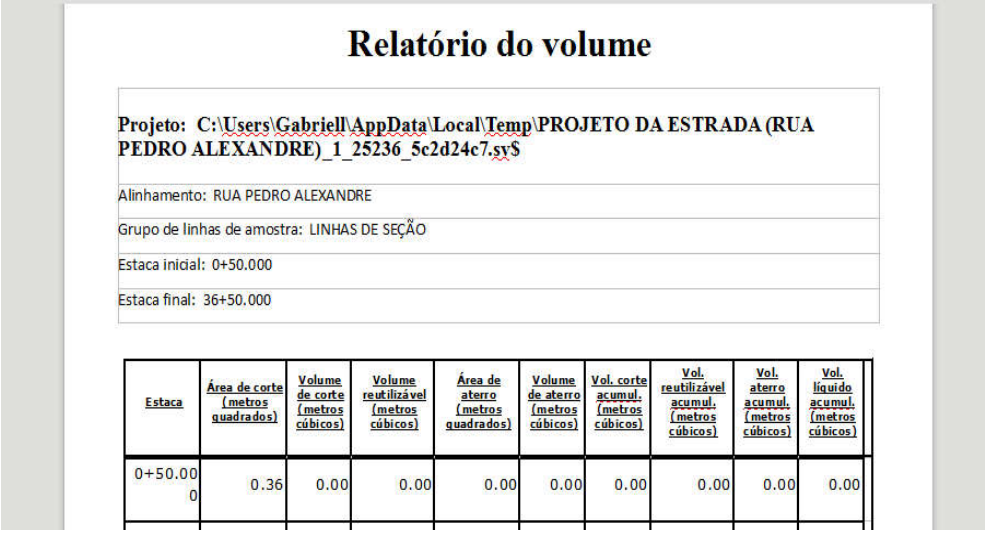
Figura 31 - Plataforma final de terraplenagem – seção tipo mista.



Fonte: Autocad Civil 3D® (Adaptado).

Dando prosseguimento ao projeto de Terraplenagem e ainda com o auxílio do Autocad Civil 3D, também foi possível gerar um relatório de volumes de corte e aterro para toda a estrada, obtendo informações como área de corte, área de aterro e volumes de corte e de aterro estaca por estaca e também valores acumulados.

Figura 32: Tabela de volumes de movimentação de terra gerada pelo Autocad Civil 3D.



Relatório do volume

Projeto: C:\Users\Gabriell\AppData\Local\Temp\PROJETO DA ESTRADA (RUA PEDRO ALEXANDRE)_1_25236_5c2d24c7.sy$

Alinhamento: RUA PEDRO ALEXANDRE

Grupo de linhas de amostra: LINHAS DE SEÇÃO

Estaca inicial: 0+50.000

Estaca final: 36+50.000

Estaca	Área de corte (metros quadrados)	Volume de corte (metros cúbicos)	Volume reutilizável (metros cúbicos)	Área de aterro (metros quadrados)	Volume de aterro (metros cúbicos)	Vol. corte acumul. (metros cúbicos)	Vol. reutilizável acumul. (metros cúbicos)	Vol. aterro acumul. (metros cúbicos)	Vol. líquido acumul. (metros cúbicos)
0+50.000	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fonte: Autocad Civil 3D®

Com estes dados foi desenvolvida uma outra tabela onde se pôde, comparando os volumes de corte e de aterro para cada intervalo entre estacas, calcular as compensações laterais possíveis a cada um destes, facilitando, assim, a identificação de áreas onde haveria necessidade de aterro por empréstimo e áreas onde haveria necessidade de transferência de materiais excedentes para um bota-fora, sempre conforme o valor indicativo do saldo volumétrico após compensação fosse positivo ou negativo. Um pequeno trecho da tabela está representado abaixo, para facilitar a compreensão do leitor. A versão completa encontra-se na seção de Anexos deste trabalho.

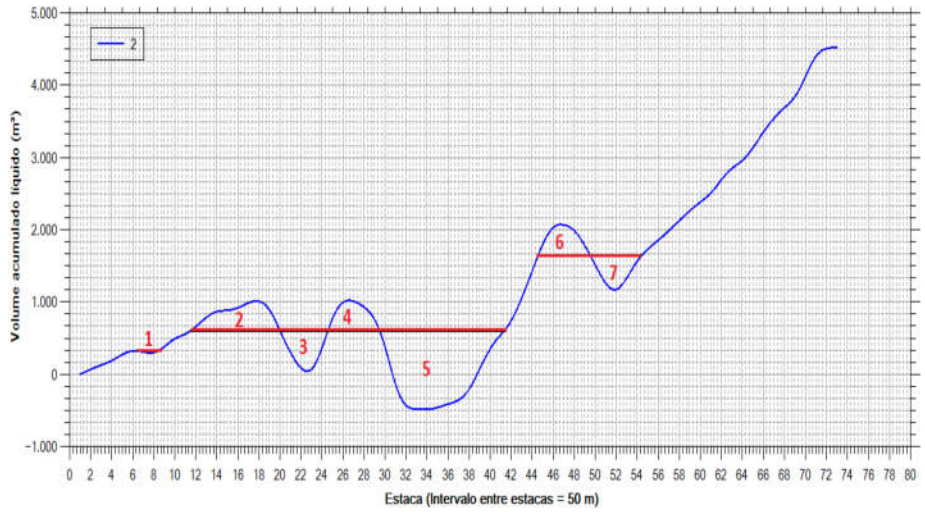
Tabela 4: Volumes correspondentes à movimentação de terra.

ESTACA	Volumes (m³)		Compensação Lateral (m³)	Saldo volumétrico de material por estaca (m³)	Volume acumulado líquido (m³)
	Corte	Aterro			
1	0	0	0	0	0
2	67,86	0,15	0,15	67,71	67,71
3	60,11	1,52	1,52	58,59	126,3
4	62,02	1,52	1,52	60,5	186,8
5	84,12	0	0	84,12	270,92
6	55,74	4,79	4,79	50,95	321,87
7	14,87	30,01	14,87	-15,14	306,73
8	17,14	25,51	17,14	-8,37	298,36
9	82,06	0,29	0,29	81,77	380,13
10	111,42	0	0	111,42	491,55

Fonte: o autor.

Utilizando os dados da coluna volume acumulado líquido, foi possível, com o auxílio do software QTI PLOT®, obter o diagrama de Bruckner, que é o gráfico de volumes representado na figura abaixo (em azul). Este diagrama apresenta a variação em m³ de volume de terra acumulado (eixo das ordenadas) ao longo de todo o estaqueamento da obra (eixo das abcissas). Com o diagrama esboçado, traçaram-se as linhas de terra (em vermelho), com as quais se define o itinerário dos movimentos de terra, bem como os volumes e as distâncias envolvidas.

Figura 33: Diagrama de Bruckner desenvolvido com as informações deste projeto.



Fonte: Desenvolvido pelo autor com o auxílio do software QTI PLOT®.

Visando sempre a economia, foram estabelecidos, através das linhas de terra, os locais de saída e de chegada de material, os volumes totais a serem transferidos em metros cúbicos e as correspondentes distâncias médias de transporte (DMT) envolvidas, chegando-se, então, a um itinerário de terraplenagem com todas estas informações e que será apresentado no capítulo de resultados, o capítulo 5, na seção 5.4.

3.7 Cálculo Quantitativo.

Dentre os estudos realizados para incremento deste projeto rodoviário, está o levantamento quantitativo e orçamentário dos principais insumos da obra. Foram quantificados os volumes e distâncias de terraplenagem, os volumes concernentes aos materiais utilizados nas camadas estruturais do pavimento, o volume e o peso do material de revestimento e do material de imprimação e a área correspondente a toda a regularização do subleito.

Após quantificados os insumos, foram obtidos do Sistema de Custos Referenciais de Obras, o SICRO – 2, os valores unitários correspondentes e calculado o valor final dos custos.

- *Movimentação de terra.*

As informações quantitativas da movimentação de terra necessária para esta obra já foram definidas na tabela 2, do tópico 4.2.4. Abaixo, segue uma tabela resumo apenas com as informações necessárias.

Tabela 5 - Movimentação de terra em termos quantitativos

Num	VOLUME m³	CATEGORIA	DMT (m)
1	23,51	1ª	50
2	403,68	1ª	310
3	536,62	1ª	160
4	629,83	1ª	210
5	865,8	1ª	410
6	554,77	1ª	200
7	341,23	1ª	150

Fonte: o autor.

- *Materiais para as camadas estruturais do pavimento.*

Para obter o volume do material necessário em cada camada do pavimento, foi consultada a espessura de cada camada, a largura superior e a largura inferior de cada camada e o comprimento da estrada, fazendo, naturalmente, a multiplicação da área da seção transversal da estrada pelo seu comprimento. Abaixo, uma tabela com os resultados para cada camada.

Tabela 6 – Camadas estruturais do pavimento – volumes

Camada	Material	Comp. Superior (m)	Comp. Inferior (m)	Esp. da Camada (m)	Área da Seção Transversal (m²)	Comp. da Estrada (m)	Volume de Material Necessário (m³)
REVEST.	Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)	8	8,15	0,05	0,40375	3760	1518,1
BASE	Brita Graduada Simples	8,3	8,72	0,14	1,1914	3760	4479,664
SUB-BASE	Solo estabilizado in loco	9	10	0,33	3,135	3760	11787,6
ÁREA PARA IMPRIMAÇÃO	Emulsão Asfáltica	(Comprimento da Estrada) * (Largura Superior da Base) = 8,30 m					30461 m²

Fonte: o autor.

Utilizando, então, as referências de preços SICRO-2 e Custos Médios Gerenciais, ambas fornecidas pelo DNIT, foi desenvolvida uma planilha orçamentária para os serviços e materiais acima quantificados e os demais possíveis, de modo a

obter-se um custo parcial para a obra, haja vista a necessidade de quantificar ainda alguns outros serviços como os serviços preliminares, os dispositivos de drenagem, os valores relativos à mão de obra que não foi inclusa nos dados acima mencionados, etc.

Um dado importante diz respeito ao critério usado para estabelecer um valor para o BDI desta obra, relacionado aos benefícios e também aos custos indiretos associados à realização do empreendimento pela empresa responsável. Para a determinação deste valor, foi consultado o Estudo Sobre Taxas Referenciais de BDI de Obras Públicas e de Materiais e Equipamentos Relevantes, que teve seu Ato Originário no Acórdão 2.369/2011-TCU, do Tribunal de Contas da União. O valor adotado para este estudo foi o valor médio para obras rodoviárias e ferroviárias, que corresponde a 20,97%.

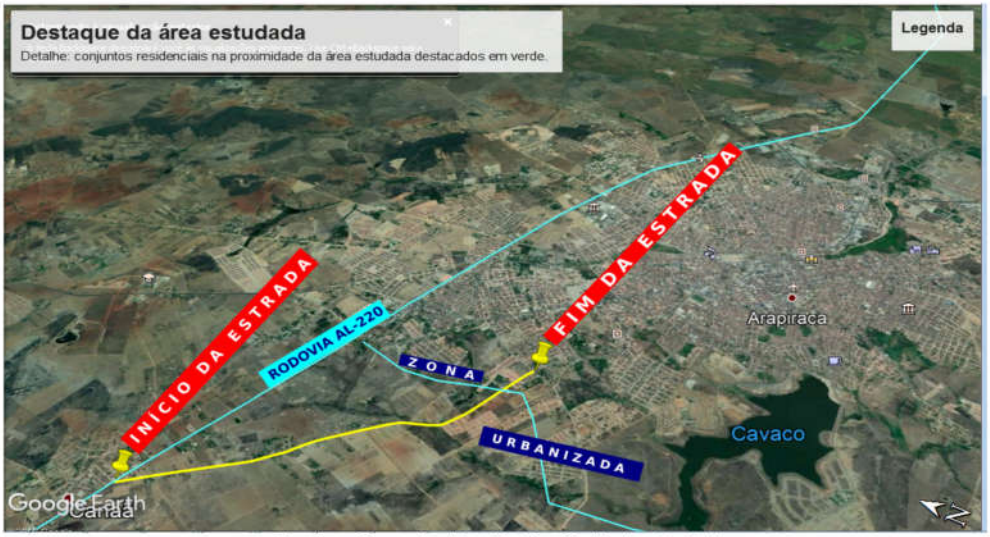
Uma tabela com o resumo geral dos custos encontra-se no capítulo 5, seção 5.5.

4.0 A ESTRADA, OBJETO DE ESTUDO.

A Rua Pedro Alexandre tem uma extensão 3,76 km e interliga a rodovia estadual AL – 220 na altura do povoado Canaã, zona rural do município, com a zona urbana da cidade, na altura dos bairros Senador Nilo Coelho e Cavaco, passando a apresentar-se pavimentada por calçamento apenas a partir da fronteira do bairro Senador Nilo Coelho com o bairro Cavaco, local onde já se observa plena urbanização.

Na próxima página, apresenta-se uma imagem de satélite que mostra toda a extensão do trecho estudado, podendo-se observar a sua localização em relação à zona urbana da cidade de Arapiraca e o seu início partindo de uma rodovia estadual.

Figura 34: Localização da Rua Pedro Alexandre.



Fonte: Google Earth Pro® (Adaptado)

Atualmente, a estrada encontra-se em más condições de rolamento e em completa vulnerabilidade em relação aos fatores climáticos, piorando sobremaneira em épocas chuvosas, quando a quantidade de buracos aumenta consideravelmente e o trânsito só se dá de forma extremamente lenta.

Figura 35: Trecho da Rua Pedro Alexandre em época chuvosa.

Fonte: o autor.

No que diz respeito ao contexto de urbanização, observa-se já a presença de vários conjuntos residenciais importantes e já habitados, dentre eles o loteamento Luar do Cavaco, com aproximadamente 260 residências construídas, o loteamento Sonho Verde, com 92 residências construídas, como também outros com obras de infraestrutura e residências em andamento. Além destes de pequeno porte, dois grandes conjuntos residenciais têm um de seus acessos como a Rua Pedro Alexandre, sendo eles o Residencial Porto Vitória e os Residenciais Colorado 1 e 2.

Figura 36: Localização de conjuntos residenciais em relação à estrada.

Fonte: Google Earth Pro® (Adaptado)

5.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO.

5.1 - Parâmetros geotécnicos da estrada

Neste tópico serão apresentados os resultados obtidos quando da realização dos estudos geotécnicos com os materiais recolhidos através dos furos efetuados sobre o leito da estrada para alcançar seu subleito, como foi dito na seção 3.1. Na seção de Anexos deste trabalho encontram-se tabelas com informações mais detalhadas sobre os ensaios descritos a seguir.

Ensaios de caracterização geotécnica do subleito – Resultados

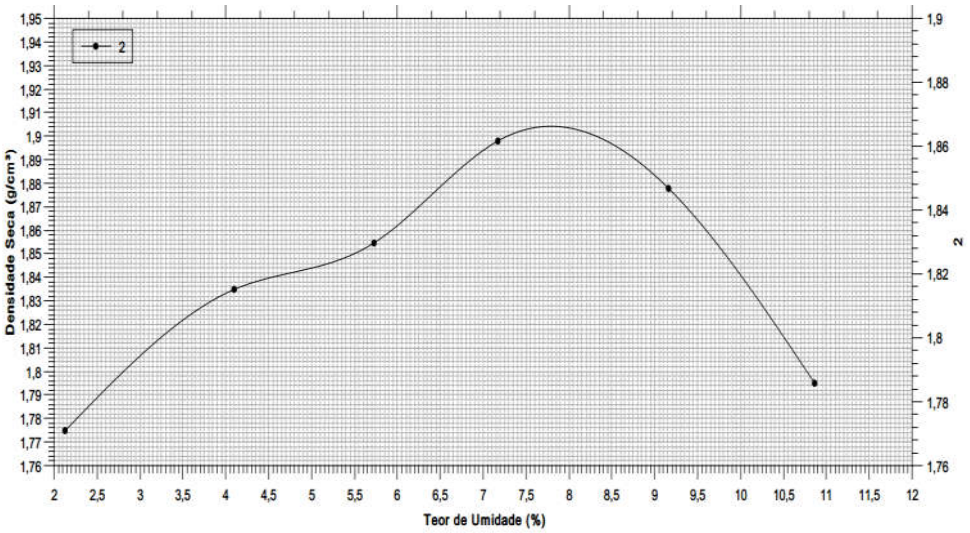
Estaca 00 – Resultados para os estudos geotécnicos.	
Granulometria	Predominância de solo *arenoso*, com 67,75%.
Índice de Plasticidade	Solo não plástico (NP)
Classificação pelo método TRB	Solo A-3 – Areia - excelente a bom.
Compactação	Densidade Seca: 1,901 g/cm³; Umidade Ótima: 7,67%.
Índice Suporte Califórnia	12,42% - *apto* para uso como subleito.

Pela análise do resultado do *ensaio de granulometria* realizado para esta amostra, pôde-se concluir que ela é predominantemente arenosa, pois possui 24,39 % de seu contingente retido na peneira de 0,3 mm e um percentual de 67,75% de seu contingente retido entre as peneiras de 2,0 mm e 0,075 mm.

Já no quesito *plasticidade*, pelo fato de este solo ser muito arenoso, não foi detectada nele plasticidade alguma, podendo ele ser classificado como solo não plástico.

No que diz respeito à *compactação*, com os dados resultantes da realização do ensaio, obteve-se a curva de compactação este solo e também os valores da umidade ótima e da densidade máxima.

Figura 37: Curva de compactação para o solo da estaca 00.



Fonte: Desenvolvido pelo autor com o auxílio do software QTI PLOT®.

Para *Índice de Suporte Califórnia*, foi encontrado o valor de 12,42%, se maior valor dentre todos os solos estudados. Este valor percentual atende com folga à exigência do valor mínimo de ISC para um solo de subleito. Por outro lado, uma alternativa de utilizar este mesmo solo já como sub-base só será possível caso haja um melhoramento por processos de estabilização que elevem o percentual aqui analisado para um valor mínimo de 20%.

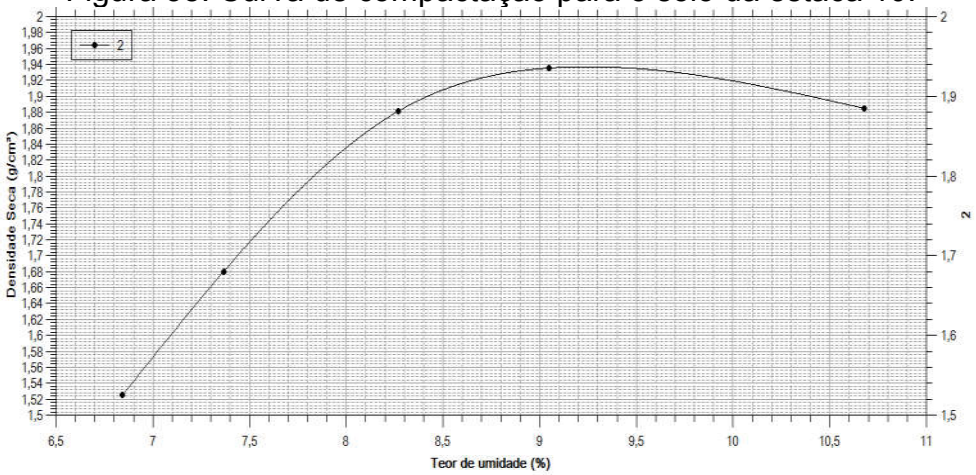
Estaca 10 – Resultados para os estudos geotécnicos.	
Granulometria	Predominância de solo *arenoso*, com 82,72%.
Índice de Plasticidade	LL = 11,16%; LP = 2,56%; IP = 8,6%
Classificação pelo método TRB	Solo A-2-4 – Areia siltosa ou argilosa - excelente a bom.
Compactação	Densidade Seca: 1,936 g/cm³; Umidade Ótima: 9,20%.
Índice Suporte Califórnia	2,65% - *apto* para uso como subleito.

Sobre a *granulometria* da estaca 60, observou-se que o solo desta amostra tem como predominante a fração arenosa, tendo 82,72% do solo retido entre as peneiras de 2,0 mm e 0,075 mm, com destaque para a quantidade de solo retido na peneira de abertura 0,15 mm, que representa 28,66% do total.

Já sobre a *plasticidade* do solo, observa-se na tabela resumo um valor de 8,6% para o índice de plasticidade, caracterizando-se este solo como um solo medianamente plástico.

Para o quesito *compactação*, os valores de teor de umidade e densidade seca determinados no ensaio correspondente estão relacionados abaixo, na curva de compactação obtida para o solo desta estaca.

Figura 38: Curva de compactação para o solo da estaca 10.



Fonte: Desenvolvido pelo autor com o auxílio do software QTI PLOT®.

Já observando os resultados do ensaio de *Índice Suporte Califórnia* para o solo desta estaca, verifica-se que com índice de 2,65% este solo está beirando o limite percentual inferior admitido para a construção de um pavimento, que é de 2%, sem, contudo, mostrar-se inadequado.

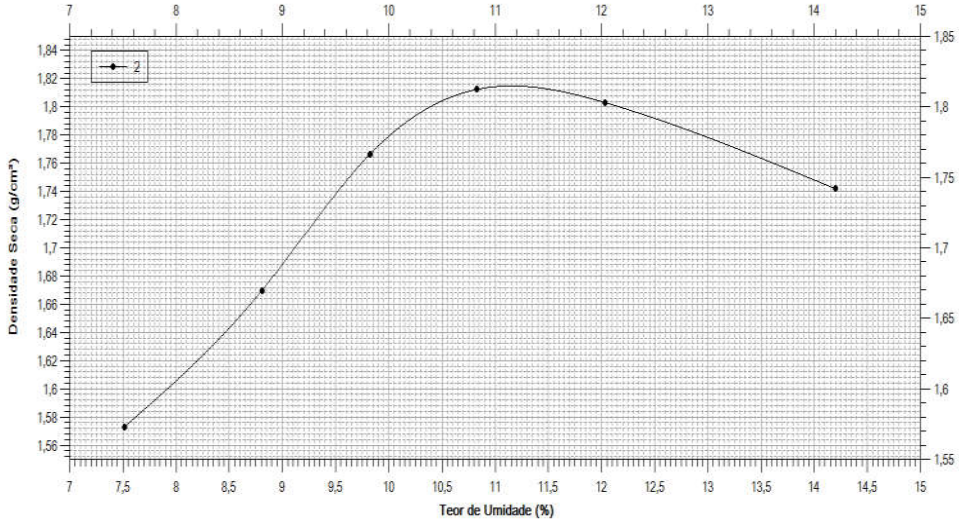
Estaca 20 – Resultados para os estudos geotécnicos.	
Granulometria	Predominância de solo *arenoso*, com 68,21%.
Índice de Plasticidade	LL = 10,32%; LP = 4,42%; IP = 5,9%
Classificação pelo método TRB	Solo A-2-4 – Areia siltosa ou argilosa - excelente a bom.
Compactação	Densidade Seca: 1,81 g/cm³; Umidade Ótima: 11,12%.
Índice Suporte Califórnia	3,68% - *apto* para uso como subleito.

Observa-se, a partir dos dados de *granulometria* obtidos, que o solo da estaca 70 tem predominância da fração arenosa, com 68,21% de solo retido entre as peneiras 2,0 mm e 0,075 mm destacando-se os 28,6% do solo retido na peneira com abertura de 0,15 mm.

A análise da *plasticidade* deste solo indica um valor para o índice de plasticidade equivalente a 5,9%, podendo ser caracterizado como um solo fracamente plástico.

Já com os dados de *compactação* deste solo foi obtida mais uma curva de compactação para que se obtivesse de forma exata e ilustrativa os valores pretendidos.

Figura 39: Curva de compactação para a estaca 20.



Fonte: Desenvolvido pelo autor com o auxílio do software QTI PLOT®.

Já para o *Índice Suporte Califórnia,* o valor obtido de 3,80% indica também a aptidão do subleito a receber uma estrutura de pavimentação por superar os 2% exigidos.

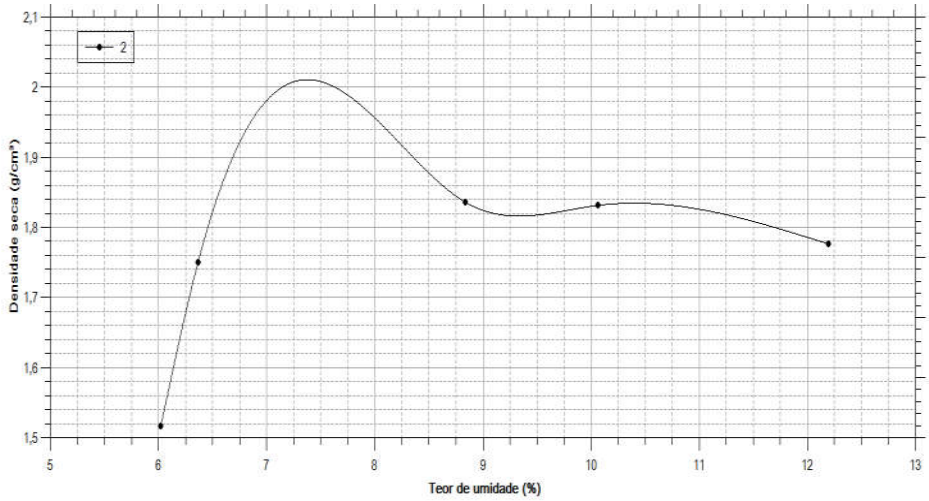
Estaca 30 – Resultados para os estudos geotécnicos.	
Granulometria	Predominância de solo *arenoso*, com 88,84%.
Índice de Plasticidade	LL = Não encontrado; LP = 1,85; IP = X
Classificação pelo método TRB	Características próximas de um solo A-3.
Compactação	Densidade Seca: 2,00 g/cm³; Umidade Ótima: 7,38%.
Índice Suporte Califórnia	4,49% - *apto* para uso como subleito.

No que concerne à *granulometria*, verifica-se, assim como nas amostras anteriores, predominância de solo arenoso, tendo uma quantidade de 88,84% do total retido entre as peneiras 2,0 mm e 0,075 mm, com destaque para o solo retido na peneira de 0,15mm, com 26,72% do total.

Para a análise da *plasticidade* do solo não se obteve resultado conclusivo pelo fato de não se ter encontrado o Limite de Liquidez para este solo.

A curva de *compactação* foi também obtida segundo os dados obtidos no ensaio, como se pode observar na imagem abaixo.

Figura 40: Curva de compactação para a estaca 30.



Fonte:Desenvolvido pelo autor com o auxílio do software QTI PLOT®.

Já o *índice Suporte Califórnia* para o solo da estaca 80, tendo o valor de 4,49%, indica, como nas outras amostras, aptidão para solo de subleito.

5.2 Parâmetros de Tráfego

Como indicado no tópico 3.4.1, segue abaixo a tabela que traz os parâmetros e resultados relacionados aos cálculos que culminaram na determinação do número N_a, que corresponde ao número de passagens do eixo de 8,2 toneladas sobre a estrada que correspondem a todo o tráfego atuante no ano inicial de operação.

Tabela 6: Fator de Veículo e Tráfego Anual

Tipo de Veículo	Nº de eixos	Peso médio ocupado	Fator de Carga	Fator de Veículo	Vol. de tráfego	Na
Automóvel	2	1,4	0,000803	0,001606	270	7914,315
Caminhoneta	2	2,4	0,007001	0,014003	23	5877,6904
Caminhão Leve 2 eixos simples	2	1,7	0,001752	0,003504	1	63,9453
Caminhão Médio, 2 eixos com traseiro Rodagem dupla	Eixo simples e rodagem simples	4	0,054508	0,869271	4	63456,7522
	Eixo Simples e Rodagem dupa	8	0,814762			
Caminhão Pesado, 2 eixos sendo o traseiro em tandem	Eixo Simples	4	0,054508	3,002251	2	109582,1473
	Eixo Tandem	14	2,947742			
Ônibus 2 eixos, sendo o traseiro duplo	Eixo simples e rodagem simples	4	0,054508	0,869271	4	63456,7522
	Eixo Simples e Rodagem dupa	8	0,814762			
				N_a Total		250351,6028

Fonte: o autor.

Estudo de Tráfego – Números Finais

Tendo em mãos os dados de todos os fatores intervenientes mencionados na seção 3.4 e baseando-se nos procedimentos adotados no Projeto Básico para Melhoria e Restauração da Rodovia AL-145, em Delmiro Gouveia (2009), foram elaboradas quatro hipóteses combinando tais fatores de forma a obter estimativas coerentes para as taxas de crescimento anual a serem aplicadas sobre o valor de N_a, correspondente ao tráfego anual para a situação atual, chegando, assim a valores para o número “N”, correspondente a toda a vida útil do novo pavimento. Abaixo segue uma tabela com as hipóteses e os respectivos números “N” resultantes.

Tabela 7: Hipóteses formuladas para taxa crescimento anual e N correspondente.

Hipótese	Descrição	N
1	Desvio de Tráfego (Acréscimo de 25% no tráfego atual) + Loteamentos (7,5% ao ano pelos primeiros 5 anos) + Aeroporto (0,5% ao ano a partir do 3º ano)	4373322,2
2	Desvio de tráfego no 1º ano + Loteamentos (45%) + 3% ao ano devido ao Crescimento da frota de veículos	4410725,5
3	Desvio de tráfego no 1º ano + Loteamentos (45%) + 2% ao ano devido ao crescimento da população	3851422,0
4	Desvio de tráfego no 1º ano + Loteamentos (45%) + 2% ao ano devido ao Crescimento da economia + 0,5% ao ano a partir do 3º ano devido à operação do novo Aeroporto.	3894586,3

Fonte: o autor.

Dentre as quatro hipóteses, foi escolhida a número 2, em que a solicitação de tráfego se mostrou mais intensa, portanto, o resultado final deste estudo de tráfego, o valor a ser usado no dimensionamento do pavimento foi:

$$N = 4410725,5. \qquad [14]$$

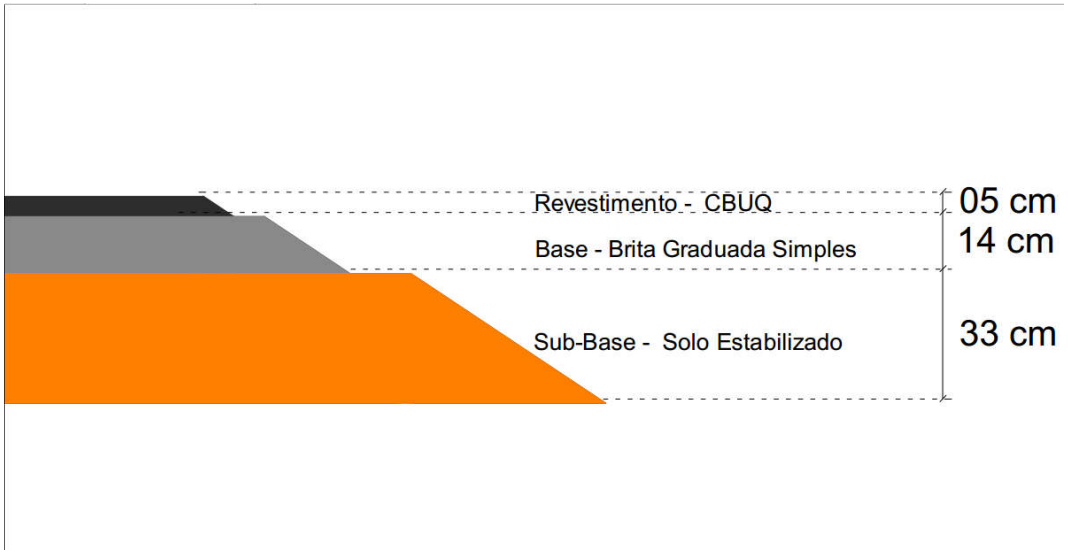
5.3 – Dimensionamento do Pavimento – parâmetros e dimensões finais.

Para um subleito com ISC de 5,81%, uma sub-base com ISC esperado de 25%, um número “N” equivalente a $4,4107255 \times 10^6$ e um revestimento em CBUQ, obteve-se, aplicando a metodologia exposta no tópico 4.3, as seguintes espessuras finais para o pavimento flexível proposto a esta estrada:

O valor final da espessura do pavimento foi de 52 cm, abaixo do valor calculado inicialmente, em decorrência do uso dos coeficientes de equivalência estrutural. Abaixo, segue uma representação gráfica dos valores finais para as espessuras do pavimento.

Espessura total calculada	Revestimento	Base	Sub-Base	Espessura total final.
56,70 cm	5,0 cm	14,00 cm	33,00 cm	52 cm

Figura 41 - camadas do pavimento e suas espessuras.



Fonte: desenvolvido pelo autor com auxílio do software NanoCad.

Na seção de Anexos deste trabalho segue um esboço detalhado com todas as dimensões finais encontradas para o pavimento.

5.4 – Terraplenagem – volumes e distâncias, itinerário final.

Para apresentar estes dados, foi desenvolvida a tabela abaixo, enumerando as movimentações de terra conforme está representado no diagrama de Bruckner do tópico 3.6 e descrevendo as principais informações de cada uma.

Tabela 8: Itinerário das movimentações de terra com volumes e distâncias.

Num	VOL. m³	CATEG.	ORIGEM APROX.	DESTINO APROX.	DMT (m)
1	23,51	1ª	Corte realizado na estaca 09	Aterro a ser realizado entre as estacas 6 e 8	50
2	403,68	1ª	Corte realizado no intervalo entre as estacas 12 e 18.	Aterro a ser realizado entre as estacas 19 e 20.	310
3	536,62	1ª	Corte realizado no intervalo entre as estacas 23 e 25.	Aterro a ser realizado entre as estacas 20 e 23.	160
4	629,83	1ª	Corte realizado no intervalo entre as estacas 24 e 27	Aterro a ser realizado entre as estacas 27 e 30.	210
5	865,8	1ª	Corte realizado no intervalo entre as estacas 35 e 42	Aterro a ser realizado entre as estacas 30 e 35.	410
6	554,77	1ª	Corte realizado no intervalo entre as estacas 45 e 47	Aterro a ser realizado entre as estacas 47 e 50.	200
7	341,23	1ª	Corte realizado no intervalo entre as estacas 52 e 54	Aterro a ser realizado entre as estacas 50 e 52.	150

Fonte: o autor.

5.5 Levantamento orçamentário – valores finais.

Conforme o que se observa no tópico 3.7, os cálculos orçamentários foram realizados para os valores de volumes, áreas e toneladas encontradas quando do levantamento quantitativo. Para estes cálculos, mais uma vez, serviu como referência o Projeto Básico para Melhoria e Restauração da Rodovia AL-145, em Delmiro Gouveia (2009).

A tabela abaixo traz um resumo geral com os custos totais principais para os itens levantados, tendo como referência de precificação a tabela SICRO 2 datada de novembro de 2016, a mais recente disponibilizada pelo DNIT. Na seção de Anexos deste trabalho encontra-se disponível a planilha orçamentária completa, contendo os custos unitários, a origem e demais dados importantes.

Tabela 9 - Resumo Geral Orçamentário: Projeto Básico de Pavimentação da Rua Pedro Alexandre. Referência – SICRO 2, Novembro de 2016.

	Ítem	Descrição	Custo – Desonerado	Custo - Não Desonerado
1.0	Movimentação de Terra	Construção da plataforma de terraplenagem por meio de compensações laterais e longitudinais através de cortes, transportes de materiais e compactação de aterros.	R$ 44.079,72	R$ 47.596,23
2.0	Pavimentação	Construção das camadas estruturais do pavimento.	R$ 855.931,65	R$ 887.657,50
3.0	Sinalização	Implantação das sinalizações vertical e horizontal.	R$ 52.640,00	R$ 52.640,00
4.0	Serviço Técnico	Desenvolvimento de projetos de engenharia rodoviária	R$ 200.523,13	R$ 200.523,13
5.0	Meio Ambiente	Estudos ambientais e implantação de programas e compensações ambientais obrigatórias.	R$ 62.391,89	R$ 62.391,89
6.0	BDI = 20,97%	Valor médio obtido para o BDI, obtido do acórdão 2369/2011 do TCU.	R$ 254.904,27	R$ 262.294,60
		TOTAL	R$ 1.470.470,67	R$ 1.513.103,35

Fonte: o autor.

6.0 CONCLUSÃO

Para que este projeto fosse elaborado, foram, antes, como se observou no decorrer deste trabalho, realizadas análises nas áreas de geotecnia, topografia e tráfego, como também, ao final, um balanço quantitativo e orçamentário.

Considerando os estudos em geotecnia, realizados em relação ao subleito da estrada, os resultados indicaram aptidão do solo para a recepção da estrutura do pavimento, uma vez que cumpre o que preconiza para este fim o Manual de Pavimentação do DNIT do ano de 2006. Mais precisamente, o solo apresenta, no trecho analisado por amostras, um ISC sempre superior a 2%, tendo uma média aritmética entre os quatro resultados de 5,81%, valor a ser adotado como parâmetro no dimensionamento do pavimento. Dessa forma, os resultados indicam que não haverá necessidade de substituição do solo do subleito do trecho.

Reforçando esta classificação positiva e ainda sobre os estudos geotécnicos, considerando a classificação de cada solo pelo método TRB, resguardadas as limitações pelo fato de alguns parâmetros terem resultados inconclusivos, sempre resultou em solo com qualificação “de excelente a bom” para o uso como subleito.

Tendo sido, portanto, realizados os principais estudos recomentados pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e por outras importantes referências citadas neste trabalho para a realização do projeto, obtiveram-se os parâmetros necessários e, então, através dos cálculos e considerações pertinentes e indicados pela literatura, pôde-se finalizar este estudo tendo em mãos os mais importantes elementos componentes de um projeto básico de pavimentação, a saber, as dimensões transversais e longitudinais para o novo pavimento, um itinerário de terraplenagem com volumes e distâncias definidas, além de uma estimativa do valor financeiro a ser dispensado pelo poder público para a realização desta obra.

A partir das limitações constatadas e apresentadas no decorrer do estudo, haja vista ter sido realizado apenas pela pessoa do autor e sem nenhum patrocínio ou apoio, entende-se existir a necessidade de estudos mais consistentes e dotados de recursos humanos e financeiros em maior número para, então, se obterem resultados mais precisos.

Sugere-se, por fim, que seja elaborado um projeto de drenagem para esta estrada, de modo a proteger a estrutura do pavimento e proporcionar aos transeuntes maior conforto e segurança nas viagens em tempos chuvosos. Além disso, sugere-se que seja também elaborado um projeto que contemple em detalhes toda a sinalização vertical e horizontal necessária para este trecho.

Outra recomendação é que seja estudada a situação de outro trecho da mesma rua, estando este porém mais adiante, já imerso na zona urbana, cerca de 800 m adiante, não contemplado pelo estudo deste trabalho. Este trecho frequentemente apresenta buracos que, quando consertados, em pouco tempo estão de volta e dificultam muito o tráfego, sendo ocasionados por diversos fatores e sendo o principal deles o que parece ser presença de água provinda de lençóis freáticos no nível da superfície. Propõe-se uma intervenção neste trecho que permita encontrar as razões pelas quais os buracos persistem em aparecer e que sugira soluções para o problema.

REFERÊNCIAS

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

BERNUCCI, Liedi Bariani et. al. **Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros.** Rio de Janeiro: Petrobras, ABEDA, 2006.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações, Volume 1: Fundamentos.** 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Instrução de Projeto IP-DE-P00/001, Projeto de Pavimentação.** São Paulo, 2006.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual Básico de Estradas e Rodovias Vicinais:** Volume 1-Planejamento, projeto, construção e operação. São Paulo, 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários.** Rio de Janeiro, 1999.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Custos Médios Gerenciais.** Disponível em:<://189.9.128.64/download/servicos/custo-medio-gerencial/custos-medios-ger.novembro-14.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Estudos de Tráfego**. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Pavimentação.** 3 ed. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **SICRO2 – Sistema de Custos Rodoviários para Alagoas.** Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/custos-e-pagamentos/sicro-2/nordeste/alagoas/2016/novembro/alagoas-novembro-2016 > Acesso em 10 jun. 2019.

KLINSKY, Luis Miguel Gutiérrez. **Avaliação do reaproveitamento de areia de fundição residual em camadas de pavimentos.** Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

NUNES, Tércia Valfridia Lima. **Método de previsão de defeitos em estradas vicinais de terra com base no uso das redes neurais artificiais: trecho de Aquiraz – CE.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

ORIOLI, Monigleicia Alcade. **Estudo do uso de agregado reciclado de resíduos de construção e demolição em misturas solo-agregado.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas.** 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. Especificação Técnica **ET-DE-P00/001, Melhoria e Preparo do Subleito.** São Paulo, 2005.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. **Instrução de Projeto IP-04/2004, Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis para Tráfego Leve e Médio.** São Paulo, 2004.

SEINFRA-AL, DER-AL, CETERA CONSULTORIA E PROJETOS. **Projeto de engenharia para melhoramento e restauração de rodovia (Trecho BR-243/Delmiro Gouveia/AL-220).** Maceió: CETERA, 2009.

TRANSPORTE RODOVIÁRIO: DESEMPENHO DO SETOR, INFRAESTRUTURA E INVESTIMENTOS. Brasília, CNT, 2017.

VIVIANI, Eliane. **A utilização de um sistema de informação geográfica como auxílio à gerência de manutenção de estradas rurais não - pavimentadas.** Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

ANEXOS

1. Quadros contendo a composição granulométrica das amostras de solo colhidas in situ para análise.

ESTACA 00		
Peneiras	Peso	% que fica
Total	3017	100
50 mm	0	0
38 mm	94,1	3,12
25 mm	185,1	6,14
19 mm	51,19	1,70
9,5 mm	154	5,10
4,8 mm	175	5,80
2 mm	236,2	7,83
1,2 mm	163,8	5,43
0,6 mm	484,7	16,07
4,2 mm	348,1	11,54
0,3 mm	735,7	24,39
0,15 mm	254,1	8,42
0,075 mm	57,5	1,91
Argila/Silte	26,4	0,88

Fonte: o autor, 2019.

ESTACA 10		
Peneiras	Peso	% que fica
Total	2673 g	100,00%
50 mm	0 g	0,00%
38 mm	0 g	0,00%
25 mm	0 g	0,00%
19 mm	0 g	0,00%
9,5 mm	57 g	2,13%
4,8 mm	89 g	3,33%
2 mm	111 g	4,15%
1,2 mm	164 g	6,14%
0,6 mm	453 g	16,95%
4,2 mm	311 g	11,63%
0,3 mm	339,7 g	12,71%
0,15 mm	766,1 g	28,66%
0,075 mm	177,3 g	6,63%
Argila/Silte	78,7 g	2,94%

Fonte: o autor, 2019.

ESTACA 20		
Peneiras	Peso	% que fica
	2630 g	100,00%
50 mm	0 g	0,00%
38 mm	0 g	0,00%
25 mm	0 g	0,00%
19 mm	0 g	0,00%
9,5 mm	10,8 g	0,41%
4,8 mm	126,5 g	4,81%
2 mm	115,2 g	4,38%
1,2 mm	159,6 g	6,07%
0,6 mm	316 g	12,02%
4,2 mm	176 g	6,69%
0,3 mm	269 g	10,23%
0,15 mm	751 g	28,56%
0,075 mm	122 g	4,64%
Argila/Silte	100 g	3,80%

Fonte: o autor, 2019.

ESTACA 30		
Peneiras	Peso	% que fica
	2671 g	100,00%
50 mm	0 g	0,00%
38 mm	0 g	0,00%
25 mm	0 g	0,00%
19 mm	0 g	0,00%
9,5 mm	4,3 g	0,16%
4,8 mm	25,5 g	0,95%
2 mm	64,2 g	2,40%
1,2 mm	153,4 g	5,74%
0,6 mm	529,3 g	19,82%
4,2 mm	404,7 g	15,15%
0,3 mm	458,9 g	17,18%
0,15 mm	713,8 g	26,72%
0,075 mm	113 g	4,23%
Argila/Silte	61,9 g	2,32%

Fonte: o autor, 2019.

2. Quadros contendo os dados relativos aos ensaios de compactação das amostras de solo colhidas in situ para análise.

Dados do ensaio de compactação – Estaca 00.						
Parâmetros	Fase de Umidade					
	1	2	3	4	5	6
Massa do conjunto Molde + CP (g)	8343	8558	8670	8832	8867	8735
Massa do CP (g)	4004	4219	4331	4493	4528	4396
Massa da Amostra 1 Úmida (g)	134,2365	139,6819	120,2345	128,1461	131,8474	151,3048
Massa da Amostra 1 Seca (g)	131,35	134,1545	113,738	119,1712	120,77	136,2
Massa da Amostra 2 Úmida (g)	85,7178	93,9	97,658	97,6128	113,4846	103,0913
Massa da Amostra 2 Seca (g)	83,99	90,225	92,3603	91,3886	103,978	93,184
Teor de Umidade (%)	2,13	4,10	5,72	7,17	9,16	10,86
Densidade (g/cm³)	1,81	1,91	1,96	2,03	2,05	1,99
Densidade Seca (g/cm³)	1,77	1,83	1,85	1,90	1,88	1,80

Fonte: o autor, 2019.

Dados do ensaio de compactação – Estaca 10.					
Parâmetros	Fase de Umidade				
	1	2	3	4	5
Massa do conjunto Molde + CP (g)	7938	8323	8838	9001	8947
Massa do CP (g)	3599	3984	4499	4662	4608
Massa da Amostra 1 Úmida (g)	111,7233	97,1973	79,1903	-	80,8955
Massa da Amostra 1 Seca (g)	104,44	90,52	73,3671	-	73,0932
Massa da Amostra 2 Úmida (g)	116,4736	109,2935	85,5	-	93,77
Massa da Amostra 2 Seca (g)	109,1482	101,8075	78,73	-	84,72
Teor de Umidade (%)	6,8425472	7,3648474	8,2680409	9,047	10,678351
Densidade (g/cm³)	1,6292956	1,8035882	2,0367327	2,1105241	2,0860779
Densidade Seca (g/cm³)	1,5249502	1,6798684	1,8811948	1,9354261	1,8848111

Fonte: o autor, 2019.

Dados do ensaio de compactação – Estaca 20						
Parâmetros	Fase de Umidade					
	1	2	3	4	5	6
Massa do conjunto Molde + CP (g)	8075	8352	8624	8776	8801	8733
Massa do CP (g)	3736	4013	4285	4437	4462	4394
Massa da Amostra 1 Úmida (g)	121,394	101,87	99,906	100,6495	101,79	164,196
Massa da Amostra 1 Seca (g)	112,84	93,424	90,566	90,2632	90,5357	143,23
Massa da Amostra 2 Úmida (g)	85,154	89,918	73,39	62,068	69,538	136,685
Massa da Amostra 2 Seca (g)	79,25	82,82	67,127	56,348	62,2917	120,149
Teor de Umidade (%)	7,52	8,81	9,82	10,83	12,03	14,20
Densidade (g/cm³)	1,69	1,82	1,94	2,01	2,02	1,99
Densidade Seca (g/cm³)	1,57	1,67	1,77	1,81	1,80	1,74

Fonte: o autor, 2019.

Dados do ensaio de compactação – Estaca 30					
Parâmetros	Fase de Umidade				
	1	2	3	4	5
Massa do conjunto Molde + CP (g)	7892	8450	8753	8791	8741
Massa do CP (g)	3553	4111	4414	4452	4402
Massa da Amostra 1 Úmida (g)	186,054	151,748	184,5058	208,71	194,38
Massa da Amostra 1 Seca (g)	173,498	142,26	169,84	188,73	172,97
Massa da Amostra 2 Úmida (g)	88,08	89,271	89,68	112,94	144,02
Massa da Amostra 2 Seca (g)	84,04	84,17	82,249	103,11	128,57
Teor de Umidade (%)	6,02	6,36	8,83	10,06	12,20
Densidade (g/cm³)	1,61	1,86	2,00	2,02	1,99
Densidade Seca (g/cm³)	1,52	1,75	1,84	1,83	1,78

Fonte: o autor, 2019.

3 . Quadros contendo os dados relativos aos ensaios para determinação do Índice Suporte Califórnia das amostras de solo colhidas in situ para análise.

ISC (CBR) para o solo da estaca 00.					
TEMPO	PENETRAÇÃO (mm)	PRESSÃO PADRÃO (kgf/cm²)	LEITURAS NO EXTENSÔMETRO (mm)	PRESSÃO CALCULADA (kgf/cm²)	ISC (%)
2	2,54	70,31	2,54	6,42	9,13%
4	5,08	105,46	5,08	13,09	12,42%
6	7,62	131,58	7,62	20,34	15,46%
8	10,16	161,71	10,16	21,84	13,51%
10	12,7	182,8	12,7	18,17	9,94%
			Índice Suporte Califórnia = 12,42%		

Fonte: o autor, 2019.

ISC (CBR) para o solo da estaca 10.					
TEMPO	PENETRAÇÃO (mm)	PRESSÃO PADRÃO (kgf/cm²)	LEITURAS NO EXTENSÔMETRO (mm)	PRESSÃO CALCULADA (kgf/cm²)	ISC (%)
2	2,54	70,31	2,54	1,76	2,50%
4	5,08	105,46	5,08	2,79	2,65%
6	7,62	131,58	7,62	3,47	2,64%
8	10,16	161,71	10,16	4,09	2,53%
10	12,7	182,8	12,7	4,81	2,63%
			Índice Suporte Califórnia = 2,65%		

Fonte: o autor, 2019.

ISC (CBR) para o solo da estaca 20.					
TEMPO	PENETRAÇÃO (mm)	PRESSÃO PADRÃO (kgf/cm²)	LEITURAS NO EXTENSÔMETRO (mm)	PRESSÃO CALCULADA (kgf/cm²)	ISC (%)
2	2,54	70,31	2,54	2,59	3,68%
4	5,08	105,46	5,08	3,42	3,24%
6	7,62	131,58	7,62	4,04	3,07%
8	10,16	161,71	10,16	4,61	2,85%
10	12,7	182,8	12,7	5,12	2,80%
			Índice Suporte Califórnia = 3,68%		

Fonte: o autor, 2019.

ISC (CBR) para o solo da estaca 30.					
TEMPO	PENETRAÇÃO (mm)	PRESSÃO PADRÃO (kgf/cm²)	LEITURAS NO EXTENSÔMETRO (mm)	PRESSÃO CALCULADA (kgf/cm²)	ISC (%)
2	2,54	70,31	2,54	3,16	4,49%
4	5,08	105,46	5,08	3,93	3,73%
6	7,62	131,58	7,62	4,40	3,34%
8	10,16	161,71	10,16	4,86	3,01%
10	12,7	182,8	12,7	5,43	2,97%
			Índice Suporte Califórnia = 4,49%		

Fonte: o autor, 2019.

4. Tabela para elaboração do projeto de terraplenagem contendo volumes de corte e de aterro, compensações laterais e volumes acumulados (estaqueamento de 50 em 50m).

ESTACA	Volumes (m³)		Compensação Lateral (m³)	Saldo volumétrico de material por estaca (m³)	Soma dos volumes excedentes e faltantes (m³)	Volume acumulado líquido (m³)
	Corte	Aterro				
1	0	0	0	0		0
2	67,86	0,15	0,15	67,71	321,87	67,71
3	60,11	1,52	1,52	58,59		126,3
4	62,02	1,52	1,52	60,5		186,8
5	84,12	0	0	84,12		270,92
6	55,74	4,79	4,79	50,95		321,87
7	14,87	30,01	14,87	-15,14	-23,51	306,73
8	17,14	25,51	17,14	-8,37		298,36
9	82,06	0,29	0,29	81,77	708,45	380,13
10	111,42	0	0	111,42		491,55
11	63,78	0,26	0,26	63,52		555,07
12	103,64	0,26	0,26	103,38		658,45
13	127,2	0	0	127,2		785,65
14	81,17	0	0	81,17		866,82
15	39,62	22,59	22,59	17,03		883,85
16	56,38	22,59	22,59	33,79		917,64
17	69,8	1	1	68,8		986,44
18	23,73	3,36	3,36	20,37		1006,81
19	10,31	123,03	10,31	-112,72	-940,3	894,09
20	0	290,96	0	-290,96		603,13
21	0	300,26	0	-300,26		302,87
22	0	216,99	0	-216,99		85,880
23	67,65	87,02	67,65	-19,37		66,510
24	296,19	0	0	296,19	942,73	362,7
25	406,95	0	0	406,95		769,65
26	223,74	0	0	223,74		993,39
27	45,56	29,71	29,71	15,85		1009,24
28	0,24	81,39	0,24	-81,15	-1495,63	928,09
29	0	169,04	0	-169,04		759,05
30	0	379,64	0	-379,64		379,41
31	0	520,57	0	-520,57		-141,16
32	8,44	300,44	8,44	-292		-433,16
33	18,3	64,62	18,3	-46,32		-479,48
34	32,41	39,32	32,41	-6,91		-486,39
35	51,31	25,74	25,74	25,57	2552,6	-460,82
36	61,02	13,64	13,64	47,38		-413,44
37	60,38	4,85	4,85	55,53		-357,91
38	148,85	0,1	0,1	148,75		-209,16
39	280,69	0	0	280,69		71,53
40	277,09	0	0	277,09		348,62
41	196,26	0	0	196,26		544,88
42	194,74	0	0	194,74		739,62
43	313,62	0	0	313,62		1053,24
44	371,99	0	0	371,99		1425,23
45	370,38	0	0	370,38		1795,61
46	236,89	0	0	236,89		2032,5
47	49,82	16,11	16,11	33,71		2066,21

Continua na próxima página

48	9,52	88,35	9,52	-78,83		1987,38
49	0,2	208,47	0,2	-208,27		1779,11
50	0	267,67	0	-267,67	-896	1511,44
51	0	252,82	0	-252,82		1258,62
52	32,98	121,39	32,98	-88,41		1170,21
53	160,8	0	0	160,8		1331,01
54	232,81	0	0	232,81		1563,82
55	165,2	0	0	165,2		1729,02
56	125,44	0	0	125,44		1854,46
57	130,92	0	0	130,92		1985,38
58	138,74	0	0	138,74		2124,12
59	137,47	0	0	137,47		2261,59
60	120,33	0	0	120,33		2381,92
61	125,01	0	0	125,01		2506,93
62	182,21	0	0	182,21		2689,14
63	157,57	0	0	157,57	3353,07	2846,71
64	111,38	0	0	111,38		2958,09
65	175,68	0	0	175,68		3133,77
66	214,34	0	0	214,34		3348,11
67	191,2	0	0	191,2		3539,31
68	149,41	0	0	149,41		3688,72
69	149,54	0	0	149,54		3838,26
70	279,34	0	0	279,34		4117,6
71	281,55	0	0	281,55		4399,15
72	110,01	3,01	3,01	107		4506,15
73	35,87	18,74	18,74	17,13		4523,28

Fonte: o autor, 2019.

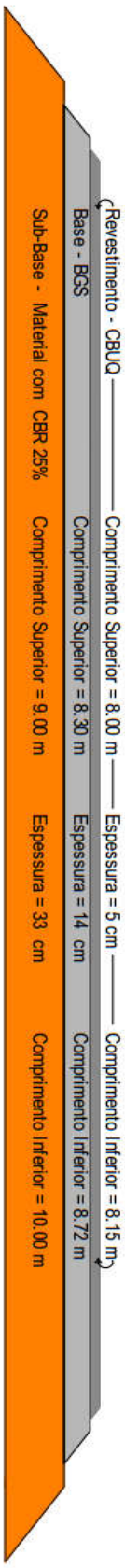
5. Planilha orçamentária completa do projeto rodoviário.

ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UNID.	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO – NÃO DESONERADO	CUSTO UNITÁRIO – DESONERADO	CUSTO PARCIAL NÃO DESONERADO	CUSTO PARCIAL DESONERADO	CUSTO TOTAL NÃO DESONERADO	CUSTO TOTAL DESONERADO	ORIGEM
1.0	MOVIMENTAÇÃO DE TERRA								R$ 44.079,72	R$ 47.596,23	
1.1	2 S 01 100 01	Esc. carga transp. mat 1ª cat DMT 50 m (Compensações Laterais).	m³	382,29	R$ 2,04	R$ 2,13	R$ 779,87	R$ 814,28			SICRO 2
1.2	2 S 01 511 00	Compactação de aterros a 100% proctor normal (Compensações Laterais)	m³	382,29	R$ 3,49	R$ 4,02	R$ 1.334,19	R$ 1.536,81			SICRO 2
1.2	2 S 01 100 01	Esc. carga transp. mat 1ª cat DMT 50 m	m³	23,51	R$ 2,04	R$ 2,13	R$ 47,96	R$ 50,08			SICRO 2
1.3	2 S 01 100 03	Esc. carga transp. mat 1ª cat DMT 200 a 400m c/m	m³	403,68	R$ 9,33	R$ 9,79	R$ 3.766,33	R$ 3.952,03			SICRO 2
1.4	2 S 01 100 02	Esc. carga transp. mat 1ª cat DMT 50 a 200m c/m	m³	536,62	R$ 7,61	R$ 7,98	R$ 4.083,68	R$ 4.282,23			SICRO 2
1.5	2 S 01 100 03	Esc. carga transp. mat 1ª cat DMT 200 a 400m c/m	m³	629,83	R$ 9,33	R$ 9,79	R$ 5.876,31	R$ 6.166,04			SICRO 2
1.6	2 S 01 100 04	Esc. carga transp. mat 1ª cat DMT 400 a 600m c/m	m³	865,8	R$ 11,16	R$ 11,73	R$ 9.662,33	R$ 10.155,83			SICRO 2
1.7	2 S 01 100 02	Esc. carga transp. mat 1ª cat DMT 50 a 200m c/m	m³	554,77	R$ 7,61	R$ 7,98	R$ 4.221,80	R$ 4.427,06			SICRO 2
1.8	2 S 01 100 02	Esc. carga transp. mat 1ª cat DMT 50 a 200m c/m	m³	341,23	R$ 7,61	R$ 7,98	R$ 2.596,76	R$ 2.723,02			SICRO 2
1.10	2 S 01 511 00	Compactação de aterros a 100% proctor normal (Compensações Longitudinais)	m³	3355,44	R$ 3,49	R$ 4,02	R$ 11.710,49	R$ 13.488,87			SICRO 2
2.0	PAVIMENTAÇÃO								R$ 855.931,65	R$ 887.657,50	
2.1	2 S 02 210 00	Sub-base estab. granul. c/ mistura solo na pista	m³	12450	R$ 14,10	R$ 14,56	R$ 175.545,00	R$ 181.272,00			SICRO 2
2.2	2 S 02 230 00	Base de brita graduada	m³	4765,6	R$ 82,80	R$ 85,82	R$ 394.591,68	R$ 408.983,79			SICRO 2
2.3	2 S 02 300 00	Imprimação	m²	31208	R$ 0,32	R$ 0,33	R$ 9.986,56	R$ 10.298,64			SICRO 2
2.4	2 S 02 540 01	Conc. betuminoso usinado a quente - capa rolamento	t	3643,44	R$ 75,70	R$ 78,80	R$ 275.808,41	R$ 287.103,07			SICRO 2
3.0	SINALIZAÇÃO								R$ 52.640,00	R$ 52.640,00	
	HORIZONTAL - Emulsionada em solvente (2 ANOS - 0,6mm)		km	3,76	R$ 7.600,00	R$ 28.576,00					CUSTOS MÉDIOS GERENCIAIS – DNIT
	VERTICAL		km	3,76	R$ 6.400,00	R$ 24.064,00					CUSTOS MÉDIOS GERENCIAIS – DNIT
4.0	SERVIÇO TÉCNICO								R$ 200.523,13	R$ 200.523,13	
	Projeto de Engenharia Rodoviária – Pavimentação		km	3,76	R$ 40.300,00	R$ 151.528,00					CUSTOS MÉDIOS GERENCIAIS – DNIT
	Supervisão de Obras		%	4,30%	R$ 1.139.421,74	R$ 48.995,13					CUSTOS MÉDIOS GERENCIAIS – DNIT
5.0	MEIO AMBIENTE								R$ 62.391,89	R$ 62.391,89	
5.1	(Estudos Ambientais e Implementação de Programas Básicos Ambientais, incluindo Compensação Ambiental)		%	5,25%	R$ 1.188.416,87	R$ 62.391,89					CUSTOS MÉDIOS GERENCIAIS – DNIT

VALOR TOTAL		
	CUSTO TOTAL FINAL NÃO DESON.	CUSTO TOTAL FINAL DESON.
Não incluso o BDI	R$ 1.215.566,39	R$ 1.250.808,76
Com BDI=30%	R$ 1.580.236,31	R$ 1.626.051,38

Fonte: o autor, 2019.

6. Esboço completo do pavimento.



Fonte: o autor, 2019.