

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA DE RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA**

**RELATÓRIO
ESTÁGIO SUPERVISIONADO**



**ALUNA: PATRÍCIA VIDAL SANTIAGO
MATRÍCULA: 20111184**

JUNHO – 2006

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA DE RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA**

PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA E EM PARALELEPÍPEDO

PROF. SUPERVISOR: JOSÉ AFONSO G. DE MACÊDO



Relatório referente ao estágio realizado no período de 01 de agosto a 01 de dezembro de 2005, apresentado à disciplina Estágio Supervisionado como requisito para obtenção da Graduação em Engenharia Civil.

JUNHO – 2006



Biblioteca Setorial do CDSA. Julho de 2021.

Sumé - PB

AGRADECIMENTOS

A Deus

Ao nosso mestre, a minha eterna gratidão... Obrigado por estares sempre ao meu lado, me abençoando e me protegendo, e mais por ter conquistado essa vitória, que será apenas o começo de minha vida profissional.

Aos meus pais

Olhando o caminho percorrido, tenho a convicção de que sem a sabedoria, a força, a esperança e a fé, transmitidas por vocês, teria perdido a direção dos meus passos. Vocês são espelhos de Deus em minha vida.

Aos familiares

Pelo apoio dedicado a mim e por toda palavra de conforto nos momentos mais difíceis de minha vida.

Aos amigos

Por todos os momentos em que compartilhamos nossas experiências.

Aos mestres

Por ter despertado em mim o senso crítico, pelos ensinamentos, pelas críticas construtivas, pela dedicação e pela amizade.

Aos funcionários

Pelos vários serviços oferecidos e que foram indispensáveis para chegar até aqui.

DEDICATÓRIAS

À Deus

Não posso esquecer dAquele que nos criou e que com muito amor me faz enfrentar os obstáculos que a vida me oferece. Não teria conquistado tantas vitórias sem a Tua ajuda. É com muita alegria que dedico não só essa etapa conquistada, mas todas as outras que estão por vir.

Aos que amo

Este momento de minha vida não estaria completo sem vocês, pois sem o amor, carinho e compreensão de vocês não teria dado passos tão largos. Divido com vocês esse momento de imensa alegria, grata por todos os atos de amor: o abraço amigo, a palavra de estímulo, a companhia e a confiança que, sem dúvida, foram minha força impulsionadora para firmar essa jornada. Obrigado por fazerem parte de minha vida e tornarem meus dias mais felizes!

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS

DEDICATÓRIAS

1 – INTRODUÇÃO	3
2 – DEFINIÇÕES	5
2.1 – TERRAPLENAGEM	5
2.1.1 – CORTE	5
2.1.2 – ATERRO	6
2.2 – PAVIMENTAÇÃO	6
2.2.1 – REGULARIZAÇÃO	6
2.2.2 – REFORÇO DO SUBLEITO	7
2.2.3 – SUB-BASE	8
2.2.4 – BASE	9
2.2.5 – CONCRETO ASFÁLTICO	11
3 – PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO	12
3.1 – MÉTODOS DE PROJETO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS	14
3.1.1 – MÉTODOS EMPÍRICOS	15
3.1.1.1 – MÉTODO DO DNER	15
3.1.1.1.1 – DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS	15
3.1.1.1.2 – DETERMINAÇÃO DO TRÁFEGO	17
3.1.1.1.3 – DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO	17
3.1.2 – MÉTODOS MECANÍSTICOS	20
3.1.2.1 – PROGRAMA COMPUTACIONAL FEPAVE	22
4 – PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA DA AVENIDA FLORIANO PEIXOTO	24
4.1 – ESTUDOS REALIZADOS	24
4.1.1 – ESTUDOS TOPOGRÁFICOS	24
4.1.2 – LOCAÇÃO DOS EIXOS	25
4.1.3 – NIVELAMENTO E CONTRA-NIVELAMENTO	25
4.1.4 – SEÇÕES TRANSVERSAIS	26
4.2 – ESTUDOS GEOTÉCNICOS	26
4.3 – EXECUÇÃO DOS SERVIÇOS	27
4.3.1 – TERRAPLENAGEM	27
4.3.1.1 – CORTES	28
4.3.1.1.1 – MATERIAIS	28
4.3.1.1.2 – EQUIPAMENTOS	29
4.3.1.2 – ATERROS	30
4.3.1.2.1 – MATERIAIS	30
4.3.1.2.2 – EQUIPAMENTOS	31
4.3.1.2.3 – CONTROLE TECNOLÓGICO	32
4.3.2 – PAVIMENTAÇÃO	33
4.3.2.1 – SUB-BASE	33
4.3.2.1.1 – MATERIAIS	33
4.3.2.1.2 – EQUIPAMENTOS	34
4.3.2.1.3 – EXECUÇÃO	35

4.3.2.1.4 – CONTROLE TECNOLÓGICO	36
4.3.2.2 – BASE	36
4.3.2.2.1 – MATERIAIS	36
4.3.2.2.2 – EQUIPAMENTOS	37
4.3.2.2.3 – EXECUÇÃO	38
4.3.2.3 – IMPRIMAÇÃO	39
4.3.2.3.1 – MATERIAIS	39
4.3.2.3.2 – EQUIPAMENTOS	39
4.3.2.3.3 – EXECUÇÃO	40
4.3.2.3.4 – CONTROLE DE QUALIDADE	41
4.3.2.4 – CONCRETO ASFÁLTICO	41
4.3.2.4.1 – LIGANTES	42
4.3.2.4.2 – AGREGADOS	42
4.3.2.4.3 – CONTROLE	44
4.3.3 – AVALIAÇÃO ESTRUTURAL	45
4.3.3.1 – COLETA DAS AMOSTRAS	46
4.3.3.2 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	47
4.3.3.3 – CONCLUSÕES	54
5 – PAVIMENTAÇÃO EM PARALELEPÍPEDO EM DIVERSAS RUAS	55
5.1 – ESTUDOS REALIZADOS	55
5.1.1 – ESTUDOS TOPOGRÁFICOS	55
5.1.1.1 – LOCAÇÃO DOS EIXOS	55
5.1.1.2 – NIVELAMENTO E CONTRA-NIVELAMENTO	55
5.1.1.3 – SEÇÕES TRANSVERSAIS	56
5.1.2 – ESTUDOS GEOTÉCNICOS	56
5.1.3 – ESTUDOS HIDROLÓGICOS	56
5.2 – RELATÓRIOS DOS PROJETOS	57
5.2.1 – PROJETO GEOMÉTRICO	57
5.2.2 – PROJETO DE TERRAPLENAGEM	57
5.2.3 – PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO	58
5.2.3.1 – DIMENSIONAMENTO (PELTIER)	58
6 – CONCLUSÃO	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
ANEXOS	

1 – INTRODUÇÃO

Pavimento é a estrutura construída sobre a terraplenagem de um terreno e tem como principais funções receber as cargas impostas pelo tráfego de veículos e as redistribuir para os solos da fundação (subleito), proporcionar condições satisfatórias de velocidade, segurança, conforto e economia no transporte de pessoas e mercadorias. Os requisitos que o pavimento tem que atender são: estabilidade; resistência a esforços verticais, horizontais, de rolamento, frenagem e aceleração; durabilidade e regularidade longitudinal.

Quanto à classificação, os pavimentos podem ser classificados de acordo com a forma de distribuição de tensões sendo, dessa forma, classificados em: pavimentos rígidos e pavimentos flexíveis.

Os pavimentos rígidos são constituídos basicamente por uma placa de concreto que praticamente absorve toda a sollicitação, distribuindo-se em uma grande área. Ao chegar ao subleito, a carga encontra-se suficientemente amortecida. Os pavimentos rígidos caracterizam-se pela alta rigidez, alta resistência e pequenas fissuras, definidas em função da resistência à flexão. O pavimento rígido, se bem projetado e construído, tem vida mais longa e maior espaçamento entre manutenções quando comparado ao pavimento flexível. Oferece resistência ao efeito solvente dos combustíveis como o óleo diesel e o querosene de avião.

Os pavimentos flexíveis são compostos por várias camadas que devem trabalhar em conjunto, cada uma delas absorvendo parte das sollicitações impostas e transmitindo o restante às camadas localizadas em níveis inferiores. Sua capacidade estrutural é fornecida pelas sucessivas camadas e pelas propriedades de resistência e rigidez de cada material nelas empregado. A camada estruturalmente mais importante é a base, que tem a função de receber as tensões do tráfego e distribuir os esforços antes de transmiti-los à sub-base ou ao reforço do subleito.

O dimensionamento dos pavimentos flexíveis consiste basicamente da determinação das espessuras das camadas e da indicação dos materiais a serem utilizados.

O pavimento flexível é constituído das seguintes camadas: regularização do subleito, reforço do subleito, sub-base, base e o revestimento. Este tipo de pavimento apresenta algumas vantagens, tais como: adaptação a eventuais recalques do subleito, pois deformam sob a ação das cargas; rapidez de execução e liberação do tráfego; reparações fáceis e rápidas.

Para avaliação do desempenho estrutural de pavimentos flexíveis devem ser consideradas as deformações plásticas ou permanentes e as deformações elásticas ou resilientes.

2 – DEFINIÇÕES

2.1 – TERRAPLENAGEM

Na construção de estradas, a terraplenagem é o trabalho de construir o leito da estrada na sua altura certa. Sobre esse leito, posteriormente, é construído um pavimento que recebe as cargas do tráfego de veículos. A terraplenagem compreende a desobstrução do local em que vai ser construída a estrada, o preparo das fundações, as escavações, o transporte, colocação, compactação e conformação dos materiais que vão formar o corpo da estrada, o ajardinamento, a limpeza da área construída e outras operações eventuais.

2.1.1 – CORTE

Cortes são segmentos de rodovia, cuja implantação requer escavação do material constituinte do terreno natural, ao longo do eixo e no interior dos limites das seções do projeto ("off-sets"), que definem o corpo estradal.

As operações de cortes compreendem:

- ✓ Escavação dos materiais constituintes do terreno natural até o greide de terraplenagem indicado no projeto;
- ✓ Escavação, em alguns casos, dos materiais constituintes do terreno natural, em espessuras abaixo do greide da terraplenagem iguais a 40 cm, quando ocorrer rocha ou rocha em decomposição, ou a 60 cm, quando se tratar de solos de elevada expansão, baixa capacidade de suporte ou solos orgânicos, conforme indicações do projeto;
- ✓ Transporte dos materiais escavados para aterros ou bota-foras;
- ✓ Retirada das camadas de má qualidade visando ao preparo das fundações de aterro. O volume a ser retirado constará no projeto. Esses materiais serão transportados para locais previamente indicados, de modo que não causem transtornos à obra, em caráter temporário ou definitivo.

2.1.2 – ATERRO

Aterros são segmentos de rodovia, cuja implantação requer depósito de materiais, quer provenientes de cortes, quer de empréstimos, no interior dos limites das seções de projeto ("off-sets"), que definem o corpo estradal.

As operações de aterro compreendem:

- ✓ Descarga, espalhamento, conveniente umedecimento ou aeração, e compactação dos materiais oriundos de cortes ou empréstimos, para a construção do corpo do aterro, até 0,60 m abaixo da cota correspondente ao greide da terraplenagem;
- ✓ Descarga, espalhamento, homogeneização, conveniente umedecimento ou aeração, e compactação dos materiais selecionados oriundos de cortes ou empréstimos, para a construção da camada final do aterro até a cota correspondente ao greide da terraplenagem;
- ✓ Descarga, espalhamento, conveniente umedecimento ou aeração, e compactação dos materiais oriundos de cortes ou empréstimos, destinados a substituir eventualmente os materiais de qualidade inferior, previamente retirados, a fim de melhorar as fundações dos aterros.

2.2 – PAVIMENTAÇÃO

2.2.1 – REGULARIZAÇÃO

A regularização é uma camada irregular construída sobre o subleito e destinada a conformá-lo transversalmente e longitudinalmente, de acordo com o projeto geométrico.

Quando os trabalhos de pavimentação são executados logo após a terraplenagem, a regularização resume-se em corrigir algumas falhas da superfície terraplenada, pois já foram tomados todos os cuidados necessários ao acabamento da superfície e à compactação do subleito.

No caso da pavimentação ser executada sobre um leito antigo de estrada de terra, é certo que a superfície desse leito se apresentará irregular, não satisfazendo assim às condições de forma impostas ao pavimento.

Executando a regularização em pequenos aterros, permanece intacta a compactação já executada pelo tráfego por vários anos, evitando-se escarificação de uma casca já consolidada.

O material a ser importado para os pequenos aterros pode ser obtido nos próprios taludes de corte, se não for de pior qualidade que o material do subleito. A utilização dos materiais dos taludes de corte deve ser cercada de cuidados, a fim de não implicar numa destruição da forma geométrica desses taludes.

O preparo do subleito é uma operação que, se não for executada com requintes técnicos, pode comprometer todo o trabalho de pavimentação. É o suporte sobre o qual vão trabalhar as camadas do pavimento.

Durante a execução, é necessário controlar principalmente o grau de compactação exigido.

Quanto à geometria, o subleito preparado deve apresentar a mesma seção transversal exigida para o pavimento. O acabamento deveria ser feito de preferência com máquina, e controlado por meio de régua própria, a qual, colocada longitudinalmente sobre o subleito não se afaste do perfil estabelecido.

2.2.2 – REFORÇO DO SUBLEITO

O reforço do subleito é a camada de espessura constante transversalmente e variável longitudinalmente, de acordo com o dimensionamento do pavimento, fazendo parte integrante desde e que, por circunstâncias técnico-econômicas, é executada sobre o subleito regularizado.

Geralmente o material constituinte do reforço do subleito é um solo argiloso selecionado, de boas a excelentes características físicas e elevada resistência. Essas qualidades devem dar ao reforço melhores condições de suporte do que as do subleito, a resistência que permita a absorção e

distribuição das cargas que se transmitem através das camadas superiores do pavimento.

A simples utilização do reforço do subleito indica um pavimento de elevada espessura advindo de um subleito de má qualidade, ou de um subleito de regulares condições associado a um tráfego intenso e pesado.

2.2.3 – SUB-BASE

A sub-base é uma camada situada entre o reforço ou regularização do subleito e a camada de base da estrutura de um pavimento.

Rodovias importantes, que suportam tráfego pesado, geralmente incluem a sub-base como parte da estrutura, a menos que o solo do subleito seja de excelente qualidade.

A sub-base pode consistir de uma ou mais camadas de material apropriadamente compactadas. A disponibilidade de bons materiais de jazidas de empréstimo geralmente ditará o que deve ser usado para sua construção.

A sub-base deve ter estabilidade e capacidade de suporte, ótima capacidade para drenar água acumulada e reduzida suscetibilidade às variações volumétricas. O uso de materiais granulares ou estabilizados na sub-base tem sido o mais freqüente.

Com relação à sua posição na estrutura do pavimento, a sub-base é usualmente distinguida da camada de base pelas menores exigências em termos de resistência, plasticidade e graduação dos materiais que a constituem.

O material da sub-base deve ser de melhor qualidade do que o solo do subleito ou do reforço do subleito. Quando os solos do subleito forem de baixa qualidade, vários projetos alternativos devem ser elaborados definindo seções transversais com ou sem a sub-base.

A seleção de uma alternativa pode então ser realizada considerando a disponibilidade e o custo relativo dos materiais.

As tensões de compressão geradas no pavimento pelas cargas do tráfego, decrescem com a profundidade. Contudo, o material imediatamente

acima do subleito é submetido a tensões que são ligeiramente maiores do que aquelas que atuam sobre o subleito.

Muitos materiais alternativos têm sido usados com sucesso. Experiências locais podem indicá-los, e, especial consideração deve ser dada à determinação da espessura mínima da base e revestimento em função do tipo de material que constitui a sub-base.

Adicionalmente às funções principais como camada estrutural, a sub-base tem algumas funções secundárias como:

- ✓ Prevenir a intrusão ou bombeamento do solo do subleito na base;
- ✓ Prevenir o acúmulo de água livre no pavimento;
- ✓ Proporcionar uma plataforma de trabalho para os equipamentos pesados utilizados na fase de construção do pavimento.

Recentemente tem-se utilizado como material de sub-base, brita graduada tratada com cimento (BGTC), com características de resistência maior que a camada de base granular.

2.2.4 – BASE

A camada de base é a estrutura do pavimento situada imediatamente abaixo da camada de revestimento e acima da sub-base, quando existente, ou diretamente sobre o subleito.

Sua principal função no pavimento é o suporte estrutural, promovendo a rigidez e a resistência à fadiga da estrutura.

A base deve reduzir as tensões de compressão no subleito e na sub-base a níveis aceitáveis, ou seja, deve distribuir as cargas aplicadas na superfície do pavimento de modo a minimizar ou eliminar as deformações de consolidação e cisalhamento no subleito e/ou sub-base.

Além disso, deve garantir que a magnitude das tensões de flexão no revestimento não o leve ao trincamento prematuro.

As especificações para os materiais da camada de base são, em geral, mais rigorosas do que para materiais de sub-base, em termos de: resistência, plasticidade, graduação e durabilidade.

Os materiais mais comumente utilizados consistem de produtos de britagem, mistura de solos, mistura de solos e materiais britados.

A base pode também ser executada com materiais tratados ou estabilizada com aglomerantes como o cimento Portland, betume, cal, cinzas volantes e misturas desses aglomerantes. Deve ser dada consideração ao uso de tais materiais tratados para camada de base, se forem economicamente viáveis, particularmente quando materiais não tratados, apropriados, forem escassos.

Vantagens econômicas podem resultar não somente do uso de agregados de baixo custo, como também na redução da espessura total de estrutura do pavimento devido à inclusão dos aglomerantes citados. Para esse caso, um estudo laboratorial cuidadoso para verificação da eficiência do aditivo químico, é necessário.

Outra consideração a ser levada em conta quando se utiliza bases "pozolânicas" revestidas com capas asfálticas, é a de que pode ocorrer a propagação e trincas transversais no revestimento. Nesse caso, juntas produzidas artificialmente (serradas) e seladas, podem ser utilizadas para minimizar esses defeitos, além de facilitar as operações futuras de selagem. O espaçamento entre essas juntas varia de 8 a 10 metros, dependendo de experiências locais.

Com relação aos pavimentos não revestidos, ou melhor, às estradas de terra, as bases devem possuir algumas propriedades de coesão.

Uma grande variedade de materiais pode ser usada, incluindo todos os tipos e agregados localmente disponíveis. Como a estabilidade dos materiais é função da densidade, a compactação deve ser adequada.

Não se deve esquecer que como o tipo de pavimento é função, principalmente, da disponibilidade de materiais, podem ser consideradas outras bases com materiais aqui não definidos.

2.2.5 – CONCRETO ASFÁLTICO

A camada de revestimento de uma estrutura flexível consiste de uma mistura de agregados minerais e materiais betuminosos, sobreposta à camada de base.

Em adição à sua principal função como componente estrutural do pavimento, ela deve ser projetada para:

- ✓ Resistir às forças abrasivas do tráfego;
- ✓ Reduzir a penetração de água superficial no pavimento;
- ✓ Proporcionar uma superfície resistente ao deslizamento dos veículos;
- ✓ Proporcionar um rolamento suave e uniforme ao tráfego.

O sucesso do revestimento depende da obtenção de uma mistura com uma ótima graduação de agregados e da porcentagem de ligante betuminoso, de modo a ser durável, resistente a fraturas e desagregações, sem se tornar instável ao tráfego esperado e as condições climáticas.

O projeto da mistura em laboratório é essencial para garantir sua eficiência. Embora agregados com uma graduação densa com o tamanho máximo de cerca de 2,5cm sejam especificados para as camadas de revestimentos rodoviários, uma ampla variedade de outras graduações tem sido usada com um desempenho satisfatório para condições específicas.

A massa para os revestimentos é geralmente preparada por misturas a quente, em usinas apropriadas, como o concreto asfáltico, por exemplo. Também pode ser obtida em usinas de mistura a frio, com emulsões asfálticas. As massas misturadas a quente são recomendadas para uso em rodovias de tráfego de moderado a elevado.

É particularmente importante que os revestimentos sejam adequadamente compactados durante a construção. Quando mal compactados, são mais suscetíveis a uma grande variedade de defeitos que tendem a reduzir a vida útil e o nível de desempenho do pavimento.

Os tipos de defeitos mais freqüentemente relacionados à compactação são: afundamento nas trilhas de rodas, desagregação e deterioração estrutural devido ao excesso de infiltração de água.

3 – PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO

Existem muitos métodos desenvolvidos para o dimensionamento de pavimentos, que diferem nas maneiras de abordar o problema.

A tarefa do dimensionamento de pavimentos, de alto grau de dificuldade, deve-se à grande quantidade de variáveis de naturezas diversas. A consideração simultânea de tensões devidas ao tráfego, como fadiga e deformação permanente, as variáveis climáticas, como temperatura e umidade, a resistência do solo de fundação e dos materiais de construção disponíveis, a magnitude e a repetição das cargas de tráfego, a durabilidade do revestimento, são apenas alguns exemplos do porque dessa dificuldade.

O projeto de um pavimento compreende:

- ✓ O dimensionamento, ou seja, a determinação da espessura total e das espessuras das diferentes camadas constituintes (revestimento, base, sub-base, reforço do subleito). Consideram-se os seguintes fatores: cargas dos veículos e sua freqüência de ocorrência prevista ao longo da vida de projeto, características geotécnicas do subleito, características dos materiais disponíveis e condições ambientais ou regionais. Graficamente, o dimensionamento é apresentado sob a forma de uma seção transversal do pavimento das pistas de rolamento e do acostamento;
- ✓ A escolha dos materiais que irão constituir as camadas constituintes;
- ✓ A indicação dos requisitos essenciais da drenagem subterrânea e subsuperficial, de acordo com as condições geotécnicas, hidrológicas e de estrutura do pavimento;

- ✓ O estudo econômico das várias soluções, satisfatórias do ponto-de-vista estrutural, considerando-se os materiais disponíveis, seu transporte e utilização, a natureza do tráfego, as disponibilidades financeiras e a experiência local;
- ✓ Um das peculiaridades do pavimento, comparativamente a outras estruturas, tais como barragens e edifícios, é o fato de que a sua extensão costuma ser de vários quilômetros, com espessura em torno de apenas meio metro e largura em geral de sete metros ou menos;
- ✓ A pavimentação de uma estrada de rodagem exige vultosos investimentos, os quais atingem, freqüentemente, a metade do custo de construção da rodovia. O conhecimento dos solos e dos materiais naturais disponíveis repercute consideravelmente no projeto e no custo da construção;
- ✓ As Investigações Geotécnicas, em seus itens: Estudos de Cortes, Estudo de Subleito de Trechos Implantados, Ocorrência de Solos e Materiais Granulares, estudo de Pedreiras e Ocorrências de Rochas, descreve os diversos tipos de trabalhos de campo que interessam diretamente ao projeto de pavimentos;
- ✓ O terreno de fundação do pavimento, ou subleito, pode variar muito quanto à natureza geológica, pois que, à variação vertical nas seções soma-se à variação horizontal decorrente das diferentes características geológicas e pedológicas do terreno ao longo da estrada;
- ✓ Os dados geotécnicos (referentes aos solos e aos materiais naturais) devem ser interpretados tendo-se em conta a natureza peculiar das solicitações que recebem os pavimentos. Sofre o pavimento a ação dos fatores climáticos de modo acentuado. Há a natural intemperização de suas camadas superficiais;
- ✓ Tensões térmicas importantes se manifestam nos revestimentos e são levadas em conta no projeto das placas de concreto. As variações de temperatura dos pavimentos betuminosos fazem variar a rigidez destes, e o desempenho estrutural do pavimento como um todo;
- ✓ A natureza das cargas, que são móveis e repetitivas, leva à consideração de fenômeno de fadiga dos materiais. É este um aspecto

importante deste tipo de estrutura, e que leva em conta no dimensionamento;

- ✓ O desenvolvimento do método de dimensionamento de pavimento flexível adotado pelo DNER fez-se a partir das curvas de dimensionamento baseadas no valor do Índice de Suporte Califórnia ou CBR (Califórnia Bearing Ratio) e obtidas experimentalmente pelo "Corps of Engineers" do Exército dos Estados Unidos, desde a época da II Guerra Mundial. A consideração das condições reais de tráfego – diversas cargas de roda e freqüências de solicitações - só 1962 tornou-se possível, graças à divulgação de estudos do "Corps of Engineers". As curvas de dimensionamento originais foram modificadas a fim de permitirem calcular espessuras granulares equivalentes, tal como se faz no método do "Departamento Rodoviário da Califórnia". Finalmente, coeficientes de equivalência estrutural de diferentes tipos de materiais foram adotados coerentemente com os resultados da pista experimental da AASHTO. Até recentemente o DNER adotava, para o dimensionamento, um índice de suporte determinado a partir do CBR e do índice de grupo do solo do subleito;
- ✓ Em situações especiais de pavimentos dotados de bases cimentadas ou toda vez que a rigidez de uma camada sujeita a fadiga tiver que ser levada em conta, fugindo do alcance do método CBR poder-se-á estudar o pavimento como um sistema em camadas. A teoria da elasticidade e o método dos elementos finitos, com auxílio dos computadores, permitem o cálculo de tensões e deformações, desde que se conheçam os módulos de elasticidade dos materiais de pavimentação.

3.1 – MÉTODOS DE PROJETO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Os métodos de dimensionamento progrediram através de várias etapas, e podem ser classificadas genericamente em:

- ✓ Métodos Empíricos;
- ✓ Métodos Mecanísticos.

3.1.1 – MÉTODOS EMPÍRICOS

Os métodos empíricos são aqueles baseados na experiência acumulada e correlacionam o desempenho do pavimento com algumas propriedades dos materiais utilizados na construção.

Possuem a vantagem de serem facilmente empregados, pois os ensaios de caracterização exigidos são simples e não requerem aparelhagem sofisticada. Entretanto, são bastante limitados pelas condições de contorno (materiais de construção, clima da região, condições de tráfego, etc.) não permitindo uma generalização adequada para outras regiões, novos materiais e diferentes cargas de tráfego.

3.1.1.1 – MÉTODO DO DNER

O método do DNER tem como base o trabalho “Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume”, de autoria de TURNBULL, FOSTER E AHLVIN do Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA, e algumas conclusões obtidas na pista experimental da AASHO. Foi elaborado pelo Eng. Murilo Lopes de Souza em 1966, e desde então têm sido utilizado em todo território nacional.

As etapas a serem seguidas para o projeto de pavimentos flexíveis de acordo com o método em questão apresentam-se a seguir.

3.1.1.1.1 – DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS

A determinação da capacidade de suporte do subleito e dos materiais constituintes do pavimento é feita pelo ensaio CBR, adotando-se o método preconizado pelo DNER, em corpos-de-prova indeformados ou moldados em laboratório para as condições esperadas no campo.

Para garantir que o pavimento não sofrerá ruptura precocemente, o método exige que os materiais utilizados na sua construção possuam certas características, descritas a seguir:

- ✓ Material do subleito: CBR \geq 2%;
Expansão $<$ 2%.
- ✓ Material para reforço do subleito: CBR maior que o do subleito;
Expansão $<$ 1%.
- ✓ Material para sub-base: CBR \geq 20%;
Expansão $<$ 1%;
IG = 0
- ✓ Material para base: CBR \geq 80%;
Expansão $<$ 0,5%;
LL \leq 25%;
IP \leq 6%.

Os materiais de base devem ainda ser enquadrados numa das seguintes faixas granulométricas (Tabela 1):

TABELA 1: Faixas granulométricas para material de base (SOUZA, 1981).

Peneiras	Porcentagem que Passa			
	A	B	C	D
2"	100	100	-	-
1"	-	75-90	100	100
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100
nº 4	25-55	30-60	35-65	50-85
nº 10	15-40	20-45	25-50	40-70
nº 40	8-20	15-30	15-30	25-45
nº 200	2-8	5-15	5-15	5-20

Obs.: A fração que passa na peneira nº 200 deve ser inferior a 2/3 da fração que passa na peneira 40. A fração graúda deve apresentar um desgaste Los Angeles igual ou inferior a 50%. Pode ser aceito um valor de desgaste maior, desde que haja experiência no uso do material.

3.1.1.1.2 – DETERMINAÇÃO DO TRÁFEGO

O pavimento é dimensionado em função do número equivalente (N) de operações do eixo padrão de 8,2tf, durante o período de projeto escolhido. O cálculo do número N é feito empregando-se a seguinte equação:

$$N = 365xPxV_mxFVxFR \quad (1)$$

Onde:

N = número de operações do eixo padrão de 8,2tf;

P = período de projeto em anos;

V_m = volume médio diário de tráfego durante a vida de projeto;

FV = Fator de veículo da frota;

FR = Fator climático regional (Adota-se FR = 1,0).

3.1.1.1.3 – DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

a. Espessura total do pavimento

Definido o tráfego que solicitará a via durante o período de projeto (número N) e o índice de suporte (CBR) do subleito, a espessura total (H_m) do pavimento, em termos de material granular, é determinada utilizando-se o ábaco de dimensionamento de pavimentos flexíveis utilizado no método do DNER (SOUZA, 1981).

b. Tipo e espessura da camada de revestimento

A espessura do revestimento (R) é estabelecida em função do tráfego (número N), de acordo com a tabela 2.

TABELA 2: Espessura mínima do revestimento (SOUZA, 1981).

N	Espessura mínima do revestimento
$N \leq 10^6$	Tratamento Superficial
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimento betuminoso com 5cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12cm de espessura

c. Espessura das demais camadas

Após determinar a espessura total do pavimento (H_m), em termos de material granular, e fixada a do revestimento (R), procede-se ao cálculo das espessuras das demais camadas considerando-se os materiais disponíveis para cada uma delas e seus respectivos coeficientes de equivalência estrutural. Este coeficiente indica a capacidade de distribuição de tensões que um determinado material possui em relação ao material padrão (pedra britada).

A tabela 3 fornece os coeficientes de equivalência estrutural para diferentes materiais utilizados em pavimentação.

TABELA 3: Coeficientes de equivalência estrutural (SOUZA, 1981).

Componentes do Pavimento	Coeficiente estrutural (K)
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,0
Base ou revestimento de pré-misturado a quente, de graduação densa	1,7
Base ou revestimento de pré-misturado a frio, de graduação densa	1,4
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,2
Camadas granulares	1,0
Solo-cimento com resistência à compressão a 7 dias superior a 45kg/cm ²	1,7
Solo-cimento com resistência à compressão a 7 dias entre 45kg/cm ² e 28kg/cm ²	1,4
Solo-cimento com resistência à compressão a 7 dias entre 28kg/cm ² e 21kg/cm ²	1,2
Base de solo-cal	1,2

As espessuras da base (B), sub-base (h_{20}) e do reforço do subleito (h_n) são obtidas pela resolução sucessiva das seguintes inequações:

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

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_S \geq H_n \quad (3)$$

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_S + h_n \times K_{REF} \geq H_m \quad (4)$$

Onde:

K_R : coeficiente de equivalência estrutural do revestimento;

R: espessura do revestimento;

K_B : coeficiente de equivalência estrutural da base;

B: espessura da base;

H_{20} : espessura de pavimento necessária para proteger a sub-base;

K_S : coeficiente de equivalência estrutural da sub-base;

h_{20} : espessura da sub-base;

H_n : espessura de pavimento necessária para proteger o reforço do subleito;

K_{ref} : coeficiente de equivalência estrutural do reforço de subleito;

h_n : espessura do reforço do subleito;

H_m : espessura total de pavimento necessária para proteger um material com CBR igual a $m\%$.

Obs.: Os valores de H_{20} , H_n e H_m são determinados através do ábaco da figura 1.

3.1.2 – MÉTODOS MECANÍSTICOS

Um método de dimensionamento é dito mecanístico (ou analítico) quando utiliza uma teoria para prever as tensões e deformações provenientes do tráfego e do clima na estrutura do pavimento, e procura compatibilizá-las com as tensões resistentes dos materiais.

Por esse tipo de análise, tem-se um panorama de funcionamento da estrutura quando solicitada, possibilitando modificações quanto à natureza dos materiais constituintes, bem como quanto às espessuras das camadas. Ao analisar a estrutura do ponto de vista mecanístico, pode-se alterá-la de modo a proporcionar um desempenho adequado de cada um dos materiais do pavimento, para que o conjunto seja solicitado de forma equilibrada, sem que a solicitação seja demasiada em uma das camadas de modo a levá-la precocemente à ruptura.

O guia da AASHTO (1986) descreve as seguintes vantagens de se utilizar um método mecanístico no dimensionamento de pavimentos flexíveis:

- ✓ Melhor confiabilidade no projeto;
- ✓ Possibilidade de prever defeitos específicos;
- ✓ Possibilidade de extrapolação de resultados de laboratório e de campo;
- ✓ Maior compatibilização entre custo e benefício das obras;
- ✓ Possibilidade de prever as conseqüências de novas configurações de carregamento;

- ✓ Melhor utilização dos materiais disponíveis;
- ✓ Possibilidade de se considerar explicitamente os efeitos sazonais.

MOTTA (1991) apresentou em sua tese de doutorado um método mecanístico de dimensionamento de pavimentos flexíveis. O método incorpora as novas técnicas de ensaio de materiais de pavimentação, métodos racionais de cálculo de tensão-deformação nas diversas camadas, influências climatológicas, conceitos de desempenho e parâmetros de tráfego. Permite ainda a consideração da incerteza e variabilidade dos dados de projeto, resultando num tratamento probabilístico.

No método apresentado por MOTTA (1991) para o dimensionamento de pavimentos flexíveis, adota-se uma estrutura inicial, define-se a variabilidade dos dados e o nível de confiabilidade a ser utilizado no projeto. A análise mecanística é efetuada utilizando-se um programa computacional, usando um modelo elástico linear para o revestimento asfáltico e elástico não-linear para as camadas subjacentes, verificando-se as tensões e deformações e comparando-as com critérios de aceitação pré-estabelecidos. Caso algum critério não seja satisfeito, as espessuras e/ou camadas são alteradas e os cálculos refeitos. Os critérios que podem ser adotados são os seguintes: deflexão máxima admissível na superfície; diferença de tensões no revestimento; tensão vertical admissível no topo do subleito; tensão e deformação de tração na fibra inferior do revestimento. Como alguns destes critérios se superpõem quanto à finalidade, na prática, alguns poderiam ser dispensados, escolhendo-se um para evitar trincamento por fadiga e outro para prevenir deformações permanentes excessivas.

O roteiro de dimensionamento de pavimentos flexíveis proposto pela pesquisadora é apresentado a seguir:

- ✓ Ensaiar os materiais disponíveis na região, e o subleito para se obter os modelos de comportamento tensão-deformação, tanto elástico quanto plástico;
- ✓ Definir um valor de módulo resiliente para a mistura betuminosa a ser utilizada no revestimento, em função da temperatura média esperada para o revestimento;

- ✓ Adotar uma estrutura inicial, definindo que variabilidade será admitida para as espessuras das camadas;
- ✓ Calcular o estado de tensão-deformação atuante na estrutura composta com cada material disponível (caso exista mais de uma jazida ou opção de material).
- ✓ Comparar as tensões-deformações com critérios de rupturas estabelecidos. Definir o grau de confiabilidade a ser adotado em função da importância da obra;
- ✓ Se as espessuras adotadas conduzirem a valores não superiores aos admissíveis segundo os critérios de fadiga e deformação permanente, dar por concluído o dimensionamento. Caso algum dos critérios não seja satisfeito, alterar as espessuras e refazer os cálculos;
- ✓ Depois de dimensionada a estrutura do pavimento pode-se verificar o afundamento de trilha de roda provável, para o número N de projeto, desde que se conheçam as leis de variação da deformação permanente com a repetição das cargas. O valor máximo recomendado é de 16mm.

Obs.: Os fatores ambientais (umidade de equilíbrio e temperatura de serviço) deverão ser levados em conta na execução dos ensaios de laboratório.

3.1.2.1 – PROGRAMA COMPUTACIONAL FEPAVE

Para a obtenção das tensões, deformações e deslocamentos em estruturas de pavimentos utilizam-se programas computacionais.

O FEPAVE foi desenvolvido na Califórnia em 1968 e utiliza o método dos elementos finitos para o cálculo de tensões e deslocamentos de estruturas de pavimentos. O perfil da estrutura é dividido em malhas quadrangulares e a carga de uma roda é aplicada na superfície, distribuída uniformemente em uma área circular. Para estruturas não-lineares, a carga de roda é aplicada em incrementos iguais e os módulos dos elementos são calculados pelas equações de resiliência, definidas nos ensaios de laboratório, em função dos níveis de tensões gerados pelo incremento de carga anterior. Os módulos iniciais podem ser calculados com a consideração ou não das tensões

gravitacionais. Admite no máximo 12 camadas estratificadas de materiais diferentes.

MOTTA (1991) introduziu no programa FEPAVE o critério estatístico de Rosenblueth, que permite determinar a variabilidade de uma variável dependente a partir do conhecimento da média e desvio padrão das variáveis independentes.

Os dados de entrada e saída do programa são:

- ✓ Entrada
 - Pressão média da roda do veículo e raio de carregamento;
 - Propriedades dos materiais (peso específico, coeficiente de Poisson e módulo resiliente);
 - Dados geométricos da estrutura a ser analisada;
 - Malha de elementos finos (opcional).

- ✓ Saída (versão resumida)
 - Deflexão da superfície do pavimento (10^{-2} mm);
 - Deformação específica de tração na fibra inferior do revestimento;
 - Diferença de tensão no revestimento (kgf/cm^2);
 - Tensão vertical de compressão no subleito (kgf/cm^2).

4 - PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA DA AVENIDA FLORIANO PEIXOTO

4.1 – ESTUDOS REALIZADOS

Para a elaboração do projeto foi necessária a coleta de alguns dados que estão definidos abaixo:

- ✓ Levantamentos topográficos com locação dos eixos da via, nivelamento, contra-nivelamento e seções transversais dos eixos locados.
- ✓ Estudos de jazidas de base e sub-base e ensaios de subleito para definição dos materiais a serem utilizados como subsídio para definição do pavimento.
- ✓ Estudos hidrológicos para avaliação das bacias contribuintes ao local do acesso e cadastro das obras de drenagem existentes.
- ✓ Estudo do tráfego, adotando as informações adquiridas através do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Paraíba, considerando que somente os veículos comerciais provocam esforços capazes de produzir danos aos pavimentos.

4.1.1 – ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

Com o objetivo de se definir o greide dos eixos locados, desenvolveu-se um levantamento topográfico constando de locação dos eixos das vias, nivelamento e contra-nivelamento de todos os pontos locados e seções transversais em cada ponto locado com indicação das soleiras e calçadas, para posterior quantificação dos volumes de terraplenagem e do pavimento.

4.1.2 - LOCAÇÃO DOS EIXOS

Inicialmente foi elaborado um levantamento cadastral para dar continuidade ao alinhamento da avenida que é o principal eixo da cidade com um alinhamento único transpondo a cidade no sentido leste-oeste, passando pelo centro comercial, com uma extensão total, incluindo o trecho em estudo de 1648 metros.

Após determinação do alinhamento do trecho entre o Parque do Açude Novo ao Giradouro da Avenida Dinamérica verificou-se a existência de uma pequena deflexão no trecho subsequente, ligando o Giradouro da Avenida Dinamérica até a Rua Plínio Lemos nas Malvinas. Devido a essa defasagem de alinhamento optou-se por corrigir este trecho adotando para a continuidade da avenida o alinhamento determinado entre o Parque do Açude Novo ao Giradouro da Avenida Dinamérica.

A locação dos eixos foi feita a teodolito e trena obedecendo ao processo de estaqueamento usual com estacas de 20 em 20 metros e intermediárias quando necessário utilizando-se piquete de madeira.

4.1.3 - NIVELAMENTO E CONTRA-NIVELAMENTO

O nivelamento e contra-nivelamento dos eixos locados foram elaborados pelo processo geométrico utilizando-se nível automático de luneta com precisão de $\pm 2\text{mm/km}$.

Foram nivelados e contra-nivelados todos os piquetes locados (estacas inteiras e intermediárias) partindo de uma Referência de Nível Oficial, transportada pelo Levantamento Municipal de Geoprocessamento, com base nas altitudes fornecidas pelo IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, localizada sobre a banquetta do canteiro central da Av. Mal. Floriano Peixoto com a Rua Plínio Lemos, com altitude de 497,209m.

Foi colocada uma série de Referências de Nível (RNs) em locais de fácil identificação para posterior utilização quando da etapa de construção da pavimentação da via.

4.1.4 – SEÇÕES TRANSVERSAIS

Para o levantamento das seções transversais utilizou-se o processo de nivelamento geométrico com nível de luneta automático com precisão de $\pm 2,0\text{mm/km}$ e medidas a trena observando-se todas as variações de relevo ocorridas no terreno assim como a ocorrência de meios-fios, linhas d'água, soleiras, calçadas, etc.

4.2 – ESTUDOS GEOTÉCNICOS

Com objetivo de coletar dados que permitissem de maneira técnica, definir as características dos solos existentes na região, foram desenvolvidos trabalhos de campo e laboratório.

As jazidas de solos para execução das camadas de base e sub-base, bem como de subleito, foram prospectadas para obtenção do perfil de solos a escavar e a área necessária para o volume requerido e caracterização dos materiais.

As amostras de solos foram coletadas, classificadas visualmente e separadas por horizontes, e encaminhadas ao laboratório para preparação e execução de ensaios.

Os ensaios empregados para caracterização física e mecânica foram os seguintes:

- ✓ Granulometria por peneiramento;
- ✓ Limites de liquidez e plasticidade;
- ✓ Compactação;
- ✓ C.B.R.

As energias de compactação utilizadas foram do Proctor Normal (Subleito), Proctor Intermediário (Sub-base e Base).

Em anexo, são apresentados os resultados dos ensaios para os materiais de Subleito, Sub-base, Base e planta de localização das jazidas e furos de sondagem.

4.3 – EXECUÇÃO DOS SERVIÇOS

4.3.1 – TERRAPLENAGEM

A superfície do subleito foi regularizada na largura de toda pista, de modo que assumisse a forma determinada pela seção transversal do projeto.

Em seguida, foram feitas a escarificação e umedecimento do material, até o teor ótimo de umidade. A compressão iniciou-se nos bordos até progredir para o centro, devendo cada passada do compressor cobrir, pelo menos, metade da faixa coberta na passada anterior. Nas curvas, a compressão foi iniciada no bordo interno e progrediu para o bordo externo.

Nas zonas onde foi impossível passar o rolo compressor, a compressão foi executada com soquetes manuais e mecânicos. A compressão terminou quando foi atingido 95% da densidade máxima obtida no ensaio DNER ME 48-64.

Terminada a compressão, o acabamento foi verificado por meio de réguas, corrigindo-se saliências e reentrâncias. O subleito preparado teve a mesma conformação do pavimento que foi construído com CBR mínimo de 10%.

Sobre o subleito preparado não foi permitido trânsito, sendo o pavimento executado o mais rápido possível para evitar danos por chuvas.

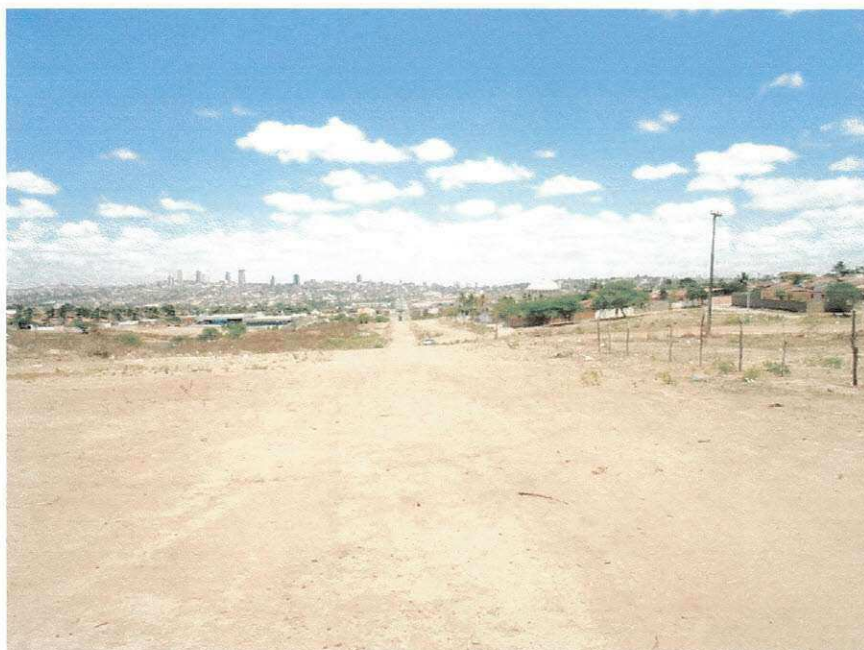


FIGURA 1 – Avenida Floriano Peixoto antes da terraplenagem

4.3.1.1– CORTES

4.3.1.1.1 – MATERIAIS

Os materiais ocorrentes nos cortes foram classificados conforme as seguintes definições:

- ✓ Materiais de 1ª categoria - Compreendem solos em geral, residual ou sedimentar, seixos rolados ou não, com diâmetro máximo inferior a 0,15 metros, qualquer que seja o teor de umidade que apresentem.
- ✓ Materiais de 2ª categoria - Compreendem os materiais com resistência ao desmonte mecânico inferior a da rocha alterada, cuja extração se processe por combinação de métodos que obriguem a utilização do maior equipamento de escarificação exigido contratualmente; a extração eventualmente envolveu o uso de explosivos e processos manuais adequados. Estão incluídos nesta classificação os blocos de rocha, de volume inferior a 2 m³ e os matacões ou pedras de diâmetro médio compreendido entre 0,15m e 1,00m.

- ✓ Materiais de 3ª categoria - Compreendem os materiais com resistência ao desmonte mecânico equivalente à rocha não alterada e blocos de rocha com diâmetro médio superior a 1,00 m, ou de volume igual ou superior a 2 m³, cuja extração e redução, a fim de possibilitar o carregamento, se processem somente com o emprego contínuo de explosivos.

4.3.1.1.2 – EQUIPAMENTOS

A escavação de cortes foi executada mediante a utilização racional de equipamento adequado que possibilitando a execução dos serviços sob as condições especificadas e produtividade requerida.

A seleção do equipamento obedecerá as seguintes indicações:

- ✓ Corte em solo – Foram empregados tratores equipados com lâminas, escavo-transportadores e escavadores conjugados com transportadores diversos. A operação incluiu a utilização de tratores e motoniveladoras, para escarificação, manutenção de caminhos de serviço em áreas de trabalho, além de tratores para a operação de "pusher";
- ✓ Corte em rocha - Foram utilizadas perfuratrizes pneumáticas e elétricas, para o preparo das minas, tratores equipados com lâmina para a operação de limpeza da praça de trabalho e escavadores conjugados com transportadores para a carga e transporte do material extraído. Nesta operação foram utilizados explosivos e detonadores adequados à natureza da rocha a escavar e às condições do canteiro de serviço.



FIGURA 2 – Execução de corte

4.3.1.2 – ATERROS

4.3.1.2.1 – MATERIAIS

Os materiais foram selecionados dentre os de 1^a, 2^a e, eventualmente, de 3^a categoria, atendendo à qualidade e à destinação prevista no projeto.

Os solos para os aterros prouveram de cortes existentes, ocorrendo também a substituição desses materiais selecionados por outros de qualidade nunca inferior.

Os solos para os aterros foram isentos de matérias orgânicas, micácea e diatomácea. Turfas e argilas orgânicas não foram empregadas.

Na execução do corpo dos aterros não foi permitido o uso de solos que possuía baixa capacidade de suporte e expansão maior do que 4%.

A camada final dos aterros foi constituída de solos selecionados na fase do projeto, dentre os melhores disponíveis, os quais foram objeto de fixação nas especificações complementares. Não foi permitido uso de solos com expansão maior do que 2% e CBR < 10%.

Em regiões onde houve ocorrência de materiais rochosos, na falta de outros materiais, admitiram-se, o emprego destes, desde que satisfeitas as condições descritas no item execução constante na especificação do projeto.

4.3.1.2.2 – EQUIPAMENTOS

A execução dos aterros previu a utilização racional de equipamento apropriado, atendendo as condições locais e a produtividade exigida.

Na construção dos aterros foram empregados tratores de lâmina, escavo-transportadores, moto-escavo-transportadores, caminhões basculantes, moto-niveladoras, rolos lisos, de pneus, pés de carneiro, estáticos ou vibratórios.



FIGURA 3 – Execução de aterro

4.3.2.3 – CONTROLE TECNOLÓGICO

Segundo a especificação do projeto foram realizados os seguintes ensaios:

- ✓ Um ensaio de compactação, segundo o método DNER-ME 47-64, para cada 1.000 m³ de um mesmo material do corpo do aterro;
- ✓ Um ensaio de compactação, segundo o método DNER-ME 47-64 para cada 200 m³ de um mesmo material da camada final do aterro;
- ✓ Um ensaio para determinação da massa específica aparente seca "in situ" para cada 1.000 m³ de material compactado do corpo do aterro, correspondente ao ensaio de compactação referido na alínea a e, no mínimo, duas determinações, por camada, por dia;
- ✓ Um ensaio para determinação da massa específica aparente seca, "in situ", para cada 100 m da camada final do aterro, alternadamente no eixo e bordos, correspondente ao ensaio de compactação;
- ✓ Um ensaio de granulometria (DNER-ME 80-64), de limite de liquidez (DNER-ME 44-64) e de limite de plasticidade DNER-ME 82-63, para o corpo do aterro, para todo grupo de dez amostras submetidas ao ensaio de compactação;
- ✓ Um ensaio de granulometria (DNER-ME 80-64), de limite de liquidez (DNER-ME 44-64) e de limite de plasticidade (DNER-ME 82-63) para as camadas finais do aterro, para todo o grupo de quatro amostras submetidas ao ensaio de compactação;
- ✓ Um ensaio do Índice de Suporte Califórnia, com a energia do método DNER-ME 47-64 para as camadas finais, para cada grupo de quatro amostras submetidas ao ensaio de compactação.

Obs.: Não foi possível obter os resultados dos ensaios.



FIGURA 4 – Realização do controle tecnológico

4.3.2 – PAVIMENTAÇÃO

4.3.2.1 – SUB-BASE

4.3.2.1.1 – MATERIAIS

Segundo as especificações os materiais que foram empregados em sub-base deveriam apresentar um Índice de Suporte Califórnia igual ou superior a 20% e expansão máxima de 1%, determinados segundo o método DNER-ME 49-64 com energia de compactação correspondente ao método DNER-ME 48-64.

O Índice de Grupo deveria ser igual a zero.

O agregado retido na peneira nº 10 deveria ser constituído de partículas duras e duráveis, isentas de fragmentos moles, alongamentos ou achatados, isento de material vegetal ou outra substância prejudicial.



FIGURA 5 – Execução de sub-base

4.3.2.1.2 – EQUIPAMENTOS

Os equipamentos utilizados para execução de sub-base foram os seguintes:

- ✓ Motoniveladora pesada, com escarificador;
- ✓ Carro-tanque distribuidor de água;
- ✓ Rolos compactadores tipos pé-de-carneiro, liso, liso-vibratório e pneumático;
- ✓ Grade de discos.



FIGURA 6 – Execução de sub-base

4.3.2.1.3 – EXECUÇÃO

A execução de sub-base compreende as operações de espalhamento, mistura e pulverização, umedecimento ou secagem, compactação e acabamento dos materiais importados, realizados na pista, devidamente preparada na largura desejada, nas quantidades que permitiram, após a compactação, atingir a espessura projetada.

Quando houve a necessidade de executar camadas da sub-base com espessura final superior a 20 cm, estas foram subdivididas em camadas parciais. Nenhuma delas excedeu a espessura de 20 cm. A espessura mínima de qualquer camada de sub-base foi de 10 cm, após a compactação.

A compactação foi iniciada logo após o espalhamento, começando dos bordos para o centro e do bordo interno para o externo, nas curvas.

4.3.2.1.4 – CONTROLE TECNOLÓGICO

Segundo a especificação do projeto foram realizados os seguintes ensaios:

- ✓ Determinações de massa específica aparente "in situ", com espaçamento máximo de 100m de pista, nos pontos onde foram coletadas as amostras para os ensaios de compactação;
- ✓ Uma determinação do teor de umidade, cada 100m, imediatamente antes da compactação;
- ✓ Ensaios de caracterização (limite de liquidez, limite de plasticidade e granulometria, respectivamente, segundo os métodos DNER-ME 44-64, DNER-ME 82-63 E DNER-ME 80-64), com espaçamento máximo de 150m de pista e, no mínimo, dois grupos de ensaios por dia;
- ✓ Um ensaio do Índice de Suporte Califórnia, com energia de compactação do método DNER-ME 48-64, com espaçamento máximo de 300 m de pista e, no mínimo, um ensaio a cada dois dias;
- ✓ Um ensaio de compactação segundo o método DNER-ME 48/64, para determinação da massa específica aparente seca máxima, com espaçamento máximo de 100m de pista, com amostras coletadas em pontos obedecendo sempre a ordem: bordo direito, eixo, bordo esquerdo, eixo, bordo direito, etc., a 60 cm de bordo.

Obs.: Não foi possível obter os resultados dos ensaios.

4.3.2.2 – BASE

4.3.2.2.1 – MATERIAIS

Os materiais empregados nas camadas apresentaram CBR > 62% e expansão máxima de 0,5% determinados segundo o método do DNER-ME 50-64 com energia de Proctor Modificado.



FIGURA 7 – Execução de base

4.3.2.2.2 – EQUIPAMENTOS

São indicados os seguintes tipos de equipamentos para a execução da base:

- ✓ Motoniveladora pesada, com escarificador;
- ✓ Carro tanque distribuidor de água;
- ✓ Rolos compactadores tipos pé-de-carneiro, liso, liso vibratório e pneumático;
- ✓ Grade de discos;
- ✓ Pulvi-misturador;
- ✓ Central de mistura.



FIGURA 8 – Execução de base

4.3.2.2.3 – EXECUÇÃO

Compreende as operações de espalhamento, mistura e pulverização, umedecimento ou secagem, compactação e acabamento dos materiais importados, realizados na pista, devidamente preparada na largura desejada, nas quantidades que permitiram, após compactação, atingir a espessura projetada.

Quando houve necessidade de executar camadas de base com espessura final superior a 20 cm, estas foram subdivididas em camadas parciais. Nenhuma delas excedeu a espessura de 20 cm. A espessura mínima de qualquer camada de base será de 10cm, após a compactação.

Não foi permitido o preenchimento de depressões com material solto, sem a prévia escarificação das partes superiores das depressões, de modo a se ter uma espessura total compactada de no mínimo 0,10m.

A compactação foi ser iniciada logo após o espalhamento, começando dos bordos para o centro e do bordo interno para o externo, nas curvas.

Segundo a especificação do projeto o grau de compactação foi, no mínimo, 100%, em relação à massa específica aparente seca máxima, obtida

no ensaio DNER-ME 48-64, e o teor de umidade foi a umidade ótima do ensaio citado +/- 2%.

4.3.2.3 – IMPRIMAÇÃO

4.3.2.3.1 – MATERIAIS

Todos os materiais satisfizeram às especificações aprovadas pelo DNER.

A escolha do material betuminoso adequado deverá ser feita em função da textura do material de base.

A taxa de aplicação é aquela que pode ser absorvida pela base em 24 horas, devendo ser determinada experimentalmente, no canteiro da obra. A taxa de aplicação varia de 0,8 a 1,6 l/m², conforme tipo e textura da base e do material betuminoso escolhido.

4.3.2.3.2 – EQUIPAMENTOS

Para a varredura da superfície da base, foram usadas vassouras mecânicas rotativas, complementando a operação manualmente. O jato de ar comprimido também foi usado.

Os carros distribuidores dispunham de tacômetro, calibradores e termômetros, em locais de fácil observação e, ainda, de um espagidor manual, para tratamento de pequenas superfícies e correções localizadas.

O depósito de material betuminoso, quando necessário, foi equipado com dispositivo que permitiu o aquecimento adequado e uniforme do conteúdo do recipiente. O depósito tinha uma capacidade tal que pode armazenar a quantidade de material betuminoso a ser aplicado em, pelo menos, um dia de trabalho.



FIGURA 9 – Imprimação executada

4.3.2.3.3 – EXECUÇÃO

Após a perfeita conformação geométrica da base, procedeu-se a varredura da sua superfície, de modo a eliminar o pó e o material solto existentes.

Aplicou-se, a seguir, o material betuminoso adequado, na temperatura compatível com o seu tipo, na quantidade certa e de maneira uniforme. O material betuminoso não foi distribuído quando a temperatura ambiente estiver abaixo de 10°C, ou em dias de chuva, ou quando esta foi iminente. A temperatura de aplicação é função da relação temperatura x viscosidade. Foi escolhida a temperatura que proporcionasse a melhor viscosidade para espalhamento. As faixas de viscosidade recomendadas para espalhamento são de 20 a 60 segundos, Saybolt-Furol, para asfaltos diluídos, e de 6 a 20 graus, Engler, para alcatrões.

A fim de evitar a superposição, ou excesso, nos pontos inicial e final das aplicações, colocaram-se faixas de papel transversalmente, na pista, de modo que o início e o término da aplicação do material betuminoso se situassem sobre essas faixas, as quais foram a seguir, retiradas. Toda falha na aplicação do material betuminoso foi imediatamente corrigida. Onde ocorreu excesso ou

deficiência de ligante betuminoso, foi feita correção, colocando-se, respectivamente, mais ligante betuminoso ou procedendo-se o espalhamento normal dos excessos. Na ocasião da aplicação do material betuminoso, a base encontrou-se levemente úmida. O tempo de cura foi inferior a 4 horas.

4.3.2.3.4 – CONTROLE DE QUALIDADE

Segundo a especificação do projeto o material betuminoso foi examinado em laboratório obedecendo a metodologia indicada pelo DER, de acordo com as especificações em vigor.

O controle constou de:

- ✓ Para asfaltos diluídos:
 - Um ensaio de viscosidade Saybolt-Furol, para todo carregamento que chegar à obra;
 - Um ensaio do ponto de fulgor, para cada 100 t;
 - Um ensaio de destilação, para cada 100 t;

- ✓ Para alcatrões:
 - Um ensaio de viscosidade Engler, para todo carregamento que chegar à obra;
 - Um ensaio de destilação, para cada 500 t.

Obs.: Não foi possível obter os resultados dos ensaios.

4.3.2.4 – CONCRETO ASFÁLTICO

A especificação do projeto não forneceu o traço da mistura asfáltica que foi utilizada na obra.

4.3.2.4.1 – LIGANTES

O tipo de ligante que foi utilizado na obra não foi indicado na especificação do projeto, como também não foi possível conseguir informações sobre o mesmo.

✓ Tipos de ligante

- CAP 30/45;
- CAP 50/60;
- CAP 85/100;
- CAP 150/200.

Temperatura de mistura do Asfalto: correspondente a faixa de viscosidade 75-150 segundo SF não devendo, entretanto, cair fora do intervalo 101°C - 111°C, não se dispondo da correlação "temperatura X viscosidade" pode-se usar a tabela abaixo:

50/60 (135 - 111°C); 60/70 (130 - 165°C); 10/85 (127 - 164°C); 85/100 (124 - 163°C) e 100/120 (121 - 163°C).

4.3.2.4.2 – AGREGADOS

- ✓ Graúdo - Pedra britada, escória britada e seixo rolado britado ou não: valor máximo do Los Angeles-50%, submetido ao ensaio de durabilidade, com sulfato de sódio, não deve apresentar perda superior a 12% em 5 ciclos; o Índice de Forma não deve ser inferior a 0,5 (quanto mais baixo, mais lamelar é o agregado);
- ✓ Miúdo - Areia, pó de pedra ou mistura de ambos. O Equivalente de Areia (EA) deve ser igual ou maior a 55;
- ✓ Filler - Materiais minerais finamente divididos, inertes em relação aos demais componentes da mistura, não plásticos e que atendam a seguinte granulometria:

Peneiras	Porcentagens
Nº 40	100 %;
Nº 80	no mínimo 95 %;
Nº 200	no mínimo 65 %.

A granulometria da mistura dos agregados, inclusive filler, numa das seguintes 3 faixas:

TABELA 4: Porcentagem passando, em peso

PENEIRAS		FAIXAS		
Polegadas	milímetros	A	B	C
2	50,8	100	-	-
1 ½	38,1	95 - 100	100	-
1	25,4	75 - 100	95 - 100	-
¾	19,1	60 - 90	80 - 100	100
½	12,7	-	-	85 - 100
⅜	9,5	35 - 65	45 - 80	75 - 100
Nº 4	4,8	25 - 50	28 - 60	50 - 85
Nº 10	2,0	20 - 40	20 - 45	30 - 75
Nº 40	0,42	10 - 30	10 - 32	15 - 40
Nº 80	0,18	5 - 20	8 - 20	8 - 30
Nº 200	0,074	1 - 8	3 - 8	5 - 10

TABELA 5: Porcentagem de asfalto, em peso, em relação à mistura de agregados

FAIXAS		
A	B	C
4,0-7,0	4,5-7,5	4,5-9,0

NOTAS:

- A fração retida entre duas peneiras consecutivas não foi inferior a 4% do total;
- A faixa a ser usada foi aquela cujo diâmetro máximo foi igual ou inferior a 2/3 da espessura da camada de revestimento;
- Os agregados, exceto o filler, foram aquecidos de 10°C a 15°C acima da temperatura do asfalto.

4.3.2.4.3– CONTROLE

Segundo as especificações, o cimento asfáltico teve o seguinte controle:

- ✓ Ensaio de viscosidade Saybolt-Furol para todo o carregamento que chegar à obra;
- ✓ Um ensaio de ponto de fulgor para 500 t;
- ✓ Um ensaio de espuma para todo o carregamento que chegar à obra;
- ✓ Uma determinação de Pfeiffer para cada 500 t.

Segundo as especificações, os agregados tiveram o seguinte controle:

- ✓ Dois ensaios de granulometria do agregado de cada silo quente por dia - um ensaio Los Angeles por mês;
- ✓ Um ensaio de Índice de Forma para 900 m³;
- ✓ Um ensaio de equivalente de areia por dia.

De acordo com as especificações a mistura foi verificada efetuando-se duas extrações de asfalto (com tetracloreto) por dia de amostras coletadas na pista; o teor de asfalto caiu no intervalo $p (\pm) 0,3$ sendo p a percentagem indicada na dosagem. Nos agregados resultantes da extração fez-se uma análise granulométrica, obtendo-se uma curva granulométrica contínua e dentro da faixa especificada.

Foram efetuadas quatro medidas de temperatura por dia: do agregado no silo quente da usina - do ligante na usina - da mistura asfáltica na saída do misturador - da mistura no momento do espalhamento e no início da rolagem em cada caminhão antes da descarga, foi tomada pelo menos uma vez a temperatura. As temperaturas satisfizeram aos limites especificados anteriormente.

O controle da compressão, como não se possuía extrator, foi feito colocando-se sobre a Base, antes do espalhamento da mistura, anéis de aço de 10 cm de diâmetro interno e de altura 5 mm inferior a espessura da camada - após a compressão foram retirados os anéis e medida a densidade aparente dos corpos de prova neles moldados.

A espessura do revestimento foi controlada por ocasião da extração de prova, como também fazendo o nivelamento do eixo e dos bordos do espalhamento e depois da compressão.

Obs.: Não foi possível obter os resultados dos ensaios.

4.3.3 – AVALIAÇÃO ESTRUTURAL

Apesar de todos os obstáculos enfrentados, foram coletados materiais de campo da via expressa em fase final de construção, com pavimentos asfálticos dimensionados pelo método empírico do DNER. Ensaios, realizados em laboratório, foram empregados para caracterização física e mecânica dos materiais das camadas de base e sub-base, bem como de subleito, além dos ensaios para a determinação do módulo de resiliência nas amostras, da camada betuminosa do pavimento, obtidas através da Extratora Rotativa da estrutura avaliada.

4.3.3.1 – COLETA DAS AMOSTRAS

Para análise mais detalhada do trecho, foram coletadas amostras das camadas de pavimento. Os materiais das camadas granulares foram coletados diretamente da jazida para análise e caracterização através de ensaios convencionais como granulometria, compactação, Índice Suporte Califórnia (CBR) e Absorção.

Amostras da camada de CBUQ foram extraídas da estrutura do pavimento, utilizando a Extratora Rotativa, em pontos de coleta mostrados na Tabela 1, as quais foram submetidas a ensaios para a análise mecânica.

TABELA 6: Amostras coletadas de CBUQ do revestimento.

PONTO DE COLETA	LADO DA PISTA	AMOSTRAS
1 (ponto inicial)	Esquerdo	FP 1A
		FP 1B
		FP 1C
		FP 1D
2 (a 30m do ponto 1)	Esquerdo	FP 2A
		FP 2B
		FP 2C
		FP 2D
3 (a 100m do ponto1)	Direito	FP 3A
		FP 3B
		FP 3C
		FP 3D
4 (a 111m do ponto 1)	Eixo	FP 4A
		FP 4B
		FP 4C
		FP 4D

4.3.3.2 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O solo do subleito é, em sua maioria, constituído de material de granulometria média e fina (areia) com uma porcentagem de silte e argila cujo CBR é 8%. O solo da base e sub-base é constituído de material estabilizado

granulometricamente, sendo predominante à presença de pedregulho. A base apresenta CBR de 62% e a sub-base de 49%.

Além dos ensaios tradicionais de caracterização nos matérias granulares, foram realizados ensaios triaxiais de carga repetida em corpos-de-prova com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm, de acordo com o procedimento adotado pela COPPE (1988) para os solos e britas. As amostras do revestimento retiradas da pista foram submetidas a ensaios de compressão diametral para determinação da resistência à tração estática e modulo de resiliência à temperatura de 25°, e de estabilidade Marshall e fluência.

Para representação dos resultados, dos ensaios dinâmicos dos solos, foi utilizado o modelo composto proposto por Macedo (1996), por ser do ponto de vista estatístico, mais representativo do que os modelos tradicionais. No modelo composto, a deformação específica resiliente é obtida através da seguinte expressão:

$$\varepsilon_r = k_1 \sigma_3^{k_2} \sigma_d^{k_3}$$

Onde:

ε_r – deformação específica resiliente;

σ_3 – pressão confinante;

σ_d – tensão desvio;

k_i – parâmetros obtidos experimentalmente.

Sabe-se que o módulo resiliente é, por definição, dado por:

$$MR = \frac{\sigma_d}{\varepsilon_r}$$

Onde:

MR – módulo resiliente.

Com os valores das deformações, foram encontrados, por regressão não-linear os coeficientes k_1 , k_2 e k_3 . Assim, fazendo as devidas substituições, têm-se: $MR = K_1 \sigma_3^{K_2} \sigma_d^{K_3}$ que compõe o modelo chamado composto. Na Tabela 2, estão apresentados os resultados dos ensaios de módulo resiliente baseados no modelo composto.

Para o revestimento, o módulo resiliente obtido por compressão diametral é:

$$MR = \frac{\sigma_t}{\varepsilon_a}$$

Sendo:

σ_t – tensão de tração no centro do corpo de prova, decorrente do carregamento repetido;

ε_a – deformação específica resiliente.

TABELA 7: Resultados dos ensaios de módulo resiliente baseado no modelo composto.

AMOSTRA	k_1	k_2	k_2	R^2	$K_1 = 1/k_1$	$K_2 = -k_2$	$K_3 = 1-k_3$
Base	0,00018	-0,32	1,54	0,926	5649,40	0,32	-0,54
Sub-base	0,00019	-0,46	1,46	0,963	5194,54	0,46	-0,46
Subleito	0,00025	-0,41	1,47	0,929	4060,09	0,41	-0,47

Valores em kgf/cm^2

TABELA 8: Resultados dos ensaios de compressão diametral do revestimento de CBUQ.

AMOSTRAS	CORPOS DE PROVA	σ_T (MPa)	DENSIDADE APARENTE	MÓDULO RESILIENTE (MPa)	MÓDULO RESILIENTE MÉDIO (MPa)
FP 1A	2984	0,51	*	*	20561
FP 1B	3879	0,66	*	*	
FP 1C	4271	0,56	2,3	*	
FP 1D	4663	0,64	2,33	*	
FP 2A	*	*	3,45	*	
FP 2B	6322	0,67	2,25	18057	
FP 2C	*	*	2,24	*	
FP 2D	6434	0,67	2,30	20830	
FP 3A	4718	0,79	1,94	22433	
FP 3B	5185	0,74	2,36	*	
FP 3C	5968	0,83	2,34	19317	
FP 3D	4998	0,72	2,35	*	
FP 4A	*	*	2,39	*	
FP 4B	4476	0,77	2,37	*	
FP 4C	*	*	*	*	
FP 4D	6322	0,87	2,38	22170	

*Não determinado

TABELA 9: Resistência à tração por compressão diametral (RT) das misturas estudadas.

AMOSTRAS	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO A 25 ^o C
	(MPa)
FP 2B	2,25
FP 2D	2,30
FP 3A	1,94
FP 3C	2,34
FP 4D	2,38

Os valores encontrados neste estudo podem ser considerados adequados para as misturas estudadas, parecendo não sofrer influência do tipo de mistura nesta propriedade mecânica, pelo menos quando analisada isoladamente.

TABELA 10: Resultados do módulo de resiliência (MR) e relação MR/RT das misturas experimentais deste estudo.

AMOSTRAS	MÓDULO DE RESILIÊNCIA	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	MR/RT
	MÉDIO (MPa)	ESTÁTICA (MPa)	
FP 2B	18057	2,25	8025
FP 2D	20830	2,30	9057
FP 3A	22433	1,94	11573
FP 3C	19317	2,34	8255
FP 4D	22170	2,38	9317

Observa-se que todos os valores encontrados foram maiores que os valores ditos como padrão para a determinação da Flexibilidade, esta relação é um indicador do comportamento mecânico do pavimento porque pode associar boa resistência à tração com alta flexibilidade e capacidade de deformação.

Obtido as constantes do modelo composto, calculou-se os módulos resilientes das camadas granulares utilizando-se do programa FEPAVE. Com o objetivo de se fazer uma análise linear utilizou-se o programa ELSYM para

obter os dados nos pontos $x = 0$ (centro da roda do eixo padrão), $x = 10.8$ (raio da área de atuação) e $x = 15.0$ (centro do eixo padrão) expressos respectivamente nas Tabelas 11, 12 e 13.

A partir desta análise, foi feita a previsão da vida de fadiga dos trechos estudados. O modelo analítico-empírico empregado para avaliação é o desenvolvido por Pinto (1991) para seis misturas betuminosas ensaiadas a tensão controlada:

$$N_{lab} = 9,07 \times 10^{-9} \left(\frac{1}{\varepsilon_t} \right)^{2,65} \left(\frac{1}{MR} \right)^{-0,033} ; n = 82 \text{ pontos, } R^2 = 0,92.$$

Onde:

ε_t - deformação específica sob o revestimento;

MR - módulo de resiliência da mistura betuminosa (kgf/cm^2).

Este modelo fornece o número de aplicações do carregamento necessário para provocar a ruptura completa de um concreto asfáltico em laboratório. Para estimativa do número de operações do eixo padrão necessário para que o revestimento atinja um trincamento de 20%, Pinto (1991) deduz que um fator laboratório-campo igual a 10^4 para o caso de ensaio de compressão diametral a 25°C. Portanto, o modelo empregado para a análise é representado pela seguinte equação:

$$N = 9,07 \times 10^{-5} \left(\frac{1}{\varepsilon_t} \right)^{2,65} \left(\frac{1}{MR} \right)^{-0,033}$$

Para aferição da validade do modelo empregado, estão apresentados nas Tabelas 11, 12 e 13 os valores de N esperados durante o período de projeto do tráfego.

TABELA 11: Dados Obtidos a partir do ELSYM e do modelo de Pinto no ponto $x = 0$.

Espessura do Revestimento (cm)	Deformação Específica (ϵ_t)	Deflexão (0,01mm)	N
2	$7,0 \times 10^{-5}$	64	1×10^7
4	$2,6 \times 10^{-4}$	57	5×10^5
5	$2,7 \times 10^{-4}$	54	4×10^5
6	$2,6 \times 10^{-4}$	51	4×10^5
8	$2,3 \times 10^{-4}$	46	6×10^5
10	$2,0 \times 10^{-4}$	42	9×10^5
12	$1,7 \times 10^{-4}$	39	1×10^6
14	$1,5 \times 10^{-4}$	36	2×10^6
16	$1,3 \times 10^{-4}$	34	3×10^6
18	$1,2 \times 10^{-4}$	32	4×10^6
20	$1,0 \times 10^{-4}$	30	5×10^6

TABELA 12: Dados Obtidos a partir do ELSYM e do modelo de Pinto no ponto $x = 10.8$

Espessura do Revestimento (cm)	Deformação Específica (ϵ_t)	Deflexão (0,01mm)	N
2	$-2,0 \times 10^{-4}$	55	9×10^5
4	$-1,9 \times 10^{-4}$	53	1×10^6
5	$-1,5 \times 10^{-4}$	51	2×10^6
6	$-1,1 \times 10^{-4}$	49	4×10^6
8	$-3,6 \times 10^{-5}$	46	8×10^7
10	$1,1 \times 10^{-5}$	42	2×10^9
12	$4,1 \times 10^{-5}$	39	6×10^7
14	$5,8 \times 10^{-5}$	36	2×10^7
16	$6,8 \times 10^{-5}$	34	2×10^7
18	$7,3 \times 10^{-5}$	32	1×10^7
20	$7,5 \times 10^{-5}$	30	1×10^7

TABELA 13: Dados Obtidos a partir do ELSYM e do modelo de Pinto no ponto $x = 15.0$

Espessura do Revestimento (cm)	Deformação Específica (ϵ_t)	Deflexão (0,01mm)	N
2	$-4,7 \times 10^{-4}$	51	9×10^4
4	$-4,1 \times 10^{-4}$	51	1×10^5
5	$-3,3 \times 10^{-4}$	50	2×10^5
6	$-2,5 \times 10^{-4}$	48	5×10^5
8	$-1,2 \times 10^{-4}$	45	3×10^6
10	$-4,4 \times 10^{-5}$	41	5×10^7
12	$4,9 \times 10^{-6}$	38	2×10^{10}
14	$3,5 \times 10^{-5}$	36	9×10^7
16	$5,2 \times 10^{-5}$	33	3×10^7
18	$6,3 \times 10^{-5}$	31	2×10^7
20	$6,8 \times 10^{-5}$	29	2×10^7

A vida de fadiga do revestimento no trecho executado da avenida analisada é de 6×10^4 .

4.3.3.3 – CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos nestes experimentos, conclui-se que os valores encontrados neste estudo podem ser considerados adequados para o pavimento estudado, visto que estes são aceitáveis no que se diz respeito à vida de fadiga; os módulos das camadas granulares se apresentam satisfatórios, pois os materiais que constituem os mesmo são arenosos; as misturas asfálticas ensaiadas a partir de corpos extraídos do pavimento, já executado, apresentaram módulos bastante baixos; os resultados do programa ELSYM junto com o do modelo de fadiga de Pinto mostraram que o pavimento atende as expectativas do projeto.

5 – PAVIMENTAÇÃO EM PARALELEPÍPEDO EM DIVERSAS RUAS

5.1 – ESTUDOS REALIZADOS

5.1.1 – ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

Com a finalidade de se coletar dados para elaboração do projeto, foram fornecidos, pela Prefeitura Municipal, estudos topográficos, constando de locação do eixo da via, nivelamento, contra-nivelamento e seções transversais do eixo locado, conforme discriminado abaixo: de terraplenagem e do pavimento.

5.1.1.1 - LOCAÇÃO DOS EIXOS

A locação do eixo obedeceu ao processo de estaqueamento usual com estacas de 20 em 20 metros e intermediárias de 5 a 10 metros nos desenvolvimento de curvas e em pontos característicos, como cruzamento de vias, cercas, linhas de transmissão e outros tipos de transposições julgadas

necessárias à elaboração do projeto. Para a locação foi utilizando piquete em madeira de lei com estacas testemunhas em todos os pontos locados.

As estacas intermediárias foram designadas pela mesma numeração da estaca anterior mais a distancia a mesma em metros. A locação das curvas seguiu o processo de deflexões sobre as tangentes.

5.1.1.2 - NIVELAMENTO E CONTRA-NIVELAMENTO

O nivelamento e contra-nivelamento do eixo locado foram elaborados pelo processo geométrico utilizando-se nível automático de luneta com precisão de $\pm 2\text{mm/km}$.

Foram nivelados e contra-nivelados todos os piquetes locados (estacas inteiras e intermediárias) partindo, quando possível, de uma Referência de Nível oficial.

5.1.1.3 – SEÇÕES TRANSVERSAIS

Para o levantamento das seções transversais utilizou-se, também, o processo de nivelamento geométrico com nível de luneta automático com precisão de $\pm 2,0\text{mm/km}$ e medidas a trena observando-se todas as variações de relevo ocorridas no terreno assim como a ocorrência de matacões e grandes blocos de rocha.

5.1.2 – ESTUDOS GEOTÉCNICOS

Foram realizados furos de sondagem para determinação do suporte do solo de fundação e dimensionamento das camadas do pavimento, com classificação visual do material coletado.

5.1.3 – ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Os estudos hidrológicos constituíram-se de:

- ✓ Coleta de dados climáticos, pluviométricos e pluviográficos da área em estudo;
- ✓ Levantamento das características das bacias hidrográficas sendo, no caso presente, limitadas a apenas aos dispositivos de drenagem existentes na área das comunidades em questão;
- ✓ Processamento dos dados coletados para definição de precipitações pluviais e do escoamento superficial;

Os estudos hidrológicos efetuados na região objetivaram a determinação dos elementos necessários para o dimensionamento de obras de arte correntes e dos elementos de drenagem superficial.

5.2 – RELATÓRIOS DOS PROJETOS

5.2.1 – PROJETO GEOMÉTRICO

O projeto geométrico foi elaborado de forma que permitisse o máximo de aproveitamento da situação atual das vias existentes, procurando-se adaptar o greide projetado ao revestimento primário atual, obedecendo-se às soleiras das casas e às condições favoráveis de drenagem.

No projeto de execução, foram apresentados desenhos em planta e em perfil nas escalas 1:1000 e 1:100, respectivamente. Em planta, indica-se a poligonal de locação e, em perfil, os elementos básicos do greide, tais como: estaqueamento dos elementos de curvas verticais, cotas, rampas, comprimento das curvas verticais, flechas das parábolas, assim como os pontos principais das curvas verticais (PCV, PIV e PTV).

5.2.2 - PROJETO DE TERRAPLENAGEM

O projeto de terraplenagem foi desenvolvido a partir do projeto geométrico, procurando-se soluções adaptadas às condicionantes locais, visando obter-se um mínimo de movimento de terras.

A camada final da terraplenagem foi executada obedecendo as especificações de reforço do subleito, a fim de se obter um CBR compatível com o dimensionamento do pavimento, além de atender a um controle geométrico adequado à sua finalidade. A espessura mínima da última camada da terraplenagem foi de 0,20 m.

5.2.3 - PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO

Tendo em vista que são vias de pequeno volume de tráfego (leve e pesado), optou-se pela solução de pavimentação em paralelepípedo granítico.

5.2.3.1 – DIMENSIONAMENTO (PELTIER)

Espessura total do pavimento:

$$HT = \frac{(100 + 150 \times P^{0.5})}{(CBR + 5)}$$

Sendo:

P = 4,1 t (carga por roda) e $CBR_{\text{subleito}} \geq 15$

$$HT = 20,00 \text{ cm}$$

Em resumo, teve-se uma pavimentação conforme abaixo discriminado:

- ✓ Revestimento - paralelepípedos (blocos rígidos de pedras, preferencialmente graníticas de características especificadas),

assentados sobre colchão de areia, numa espessura total de 20,00cm (paralelepípedo + colchão de areia);

- ✓ Regularização - até 0,20 m de espessura, com remoção ou não de material e compactada a 100% do PN.

Obs.: Quando o solo do subleito apresentou um suporte baixo, (CBR < 15%), necessariamente foi executado um reforço de subleito que teve 0,10m de espessura e foi executado com material natural (CBR \geq 15) proveniente de empréstimo.

6 – CONCLUSÃO

Um projeto de pavimentação tem como finalidade aumentar a acessibilidade aos mercados e aos serviços básicos. A proposta de pavimentação é um fator de indução do desenvolvimento, criando condições adequadas para o crescimento da economia e a melhoria da qualidade de vida da população.

Como foi visto anteriormente, para a realização do projeto de pavimentação foram necessários vários estudos, sendo inicialmente executado os levantamentos topográficos, logo depois os estudos de jazidas de base e sub-base e ensaios de subleito, estudos hidrológicos e por fim os estudos de tráfego.

Com relação aos resultados obtidos nos experimentos realizados concluiu-se, anteriormente, que os valores encontrados no estudo referente à análise estrutural podem ser considerados adequados para o pavimento estudado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- PINTO, Salomão; PREUSSLER, Ernesto. Pavimentação Rodoviária.
- Brasil. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Capacitação Tecnológica. Manual de Pavimentação. 2ª ed. Rio de Janeiro, 1996.
- BEZERRA NETO, Rogério S. (2004). Análise Comparativa de Pavimentos Dimensionados Através dos Métodos Empírico do DNER e Mecanístico e Proposta de um Catálogo Simplificado de Pavimentos para Região de Campo Grande (MS). Escola de Engenharia da USP. São Carlos.

ANEXOS

RESUMO DE ENSAIOS DE SUB-BASE

OBRA: Projeto da Avenida Floriano Peixoto			TRECHO: Malvinas/Alça Sudoeste			SUB-TRECHO: Malvinas / Alça Sudoeste		
PROCEDÊNCIA: Jazida _____			VISTO: Laboratorista			DATA: Maio / 2000		
						LABORATÓRIO: Solos I		
FURO Nº		01	02					
LADO: D, E ou X (eixo)								
PROFUNDIDADE (m)		0,0 – 0,40	0,0 – 0,40					
GRANULOMETRIA	PEMEIRA - % PASSANDO	2"	100	100				
		1"	100	100				
		3/8"	99	99				
		Nº 4	98	98				
		Nº 10	96	96				
		Nº 40	78	79				
		Nº 200	27	28				
LL		NL	NL					
IP		NP	NP					
IG		0	0					
CLASSIFICAÇÃO HRB		A-2-4	A-2-4					
COMPACTAÇÃO E CBR	12 GOLPES	D.MÁX.						
		U.ÓTIMA						
		C B R						
		EXP.						
	26 GOLPES	D.MÁX.	1.940	1.935				
		U.ÓTIMA	8.1	7.6				
		C B R	47	44				
		EXP.	0.043	0.052				
CAMPO	DENSIDADE							
	UMIDADE							
	% COMPACT.							

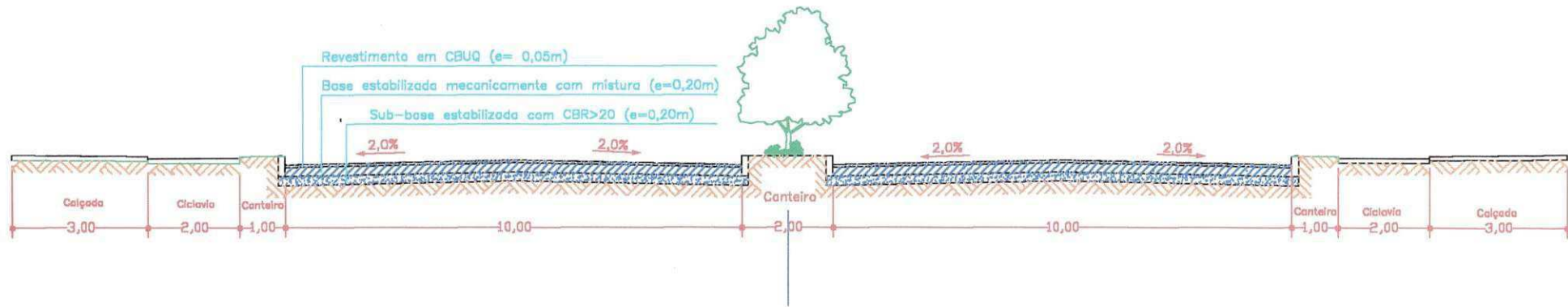
RESUMO DE ENSAIOS DE BASE

OBRA: Projeto da Avenida Floriano Peixoto				TRECHO: Malvinas/Alça Sudoeste		SUB-TRECHO: Malvinas / Alça Sudoeste			
PROCEDÊNCIA: Jazida _____				VISTO: Laboratorista		DATA: Maio / 2000			
						LABORATÓRIO: Solos I			
FURO Nº		1e3	1e3	1e3	1e3				
LADO: D, E ou X (eixo)									
PROFUNDIDADE (m)		0,0-0,40	0,0-0,40	0,0-0,40	0,0-0,40				
GRANULOMETRIA	PEMEIRA - % PASSANDO	2"	100	100	100	100			
		1"	100	100	100	100			
		3/8"	70	68	72	74			
		Nº 4	69	67	68	77			
		Nº 10	68	66	67	68			
		Nº 40	55	53	55	57			
		Nº 200	18	17	19	20			
LL		NL	NL	NL	NL				
IP		NP	NP	NP	NP				
IG		0	0	0	0				
CLASSIFICAÇÃO HRB		A-2-4	A-2-4	A-2-4	A-2-4				
COMPACTAÇÃO E CBR	12 GOLPES	D.MÁX.							
		U.ÓTIMA							
		C B R							
		EXP.							
	26 GOLPES	D.MÁX.	2.020	2.020	2.047	2.060			
		U.ÓTIMA	8.0	8.0	7.1	7.8			
		C B R	85	88	91	95			
		EXP.	0.000	0.000	0.000	0.000			
CAMPO	DENSIDADE								
	UMIDADE								
	% COMPACT.								

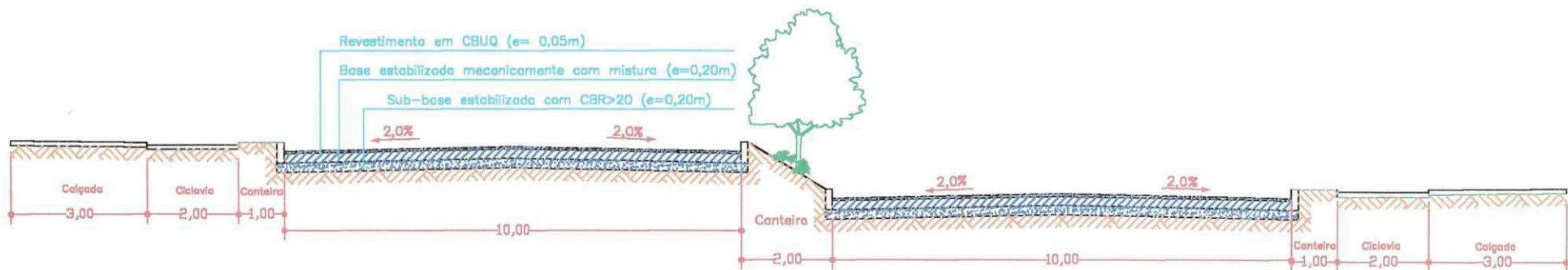
RESUMO DE ENSAIOS DE EMPRÉSTIMO

OBRA: Projeto da Avenida Floriano Peixoto			TRECHO: Malvinas/Alça Sudoeste			SUB-TRECHO: Malvinas / Alça Sudoeste		
PROCEDÊNCIA: Jazida para Corpo de Aterro			VISTO: Laboratorista			DATA: Maio / 2000		
						LABORATÓRIO: Solos I		
FURO Nº		01	02					
LADO: D, E ou X (eixo)								
PROFUNDIDADE (m)		0,0-0,60	0,0-0,50					
GRANULOMETRIA	PEMEIRA - % PASSANDO	2"	100	100				
		1"	100	100				
		3/8"	100	100				
		Nº 4	99	99				
		Nº 10	98	98				
		Nº 40	87	87				
		Nº 200	31	31				
LL		NL	NL					
IP		NP	NP					
IG		0	0					
CLASSIFICAÇÃO HRB		A-2-4	A-2-4					
COMPACTAÇÃO E CBR	12 GOLPES	D.MÁX.	1.825	1.831				
		U.ÓTIMA	11.1	10.6				
		C B R	20	20				
		EXP.	0.000	0.000				
	26 GOLPES	D.MÁX.						
		U.ÓTIMA						
		C B R						
		EXP.						
CAMPO	DENSIDADE							
	UMIDADE							
	% COMPACT.							

Seção Tipo

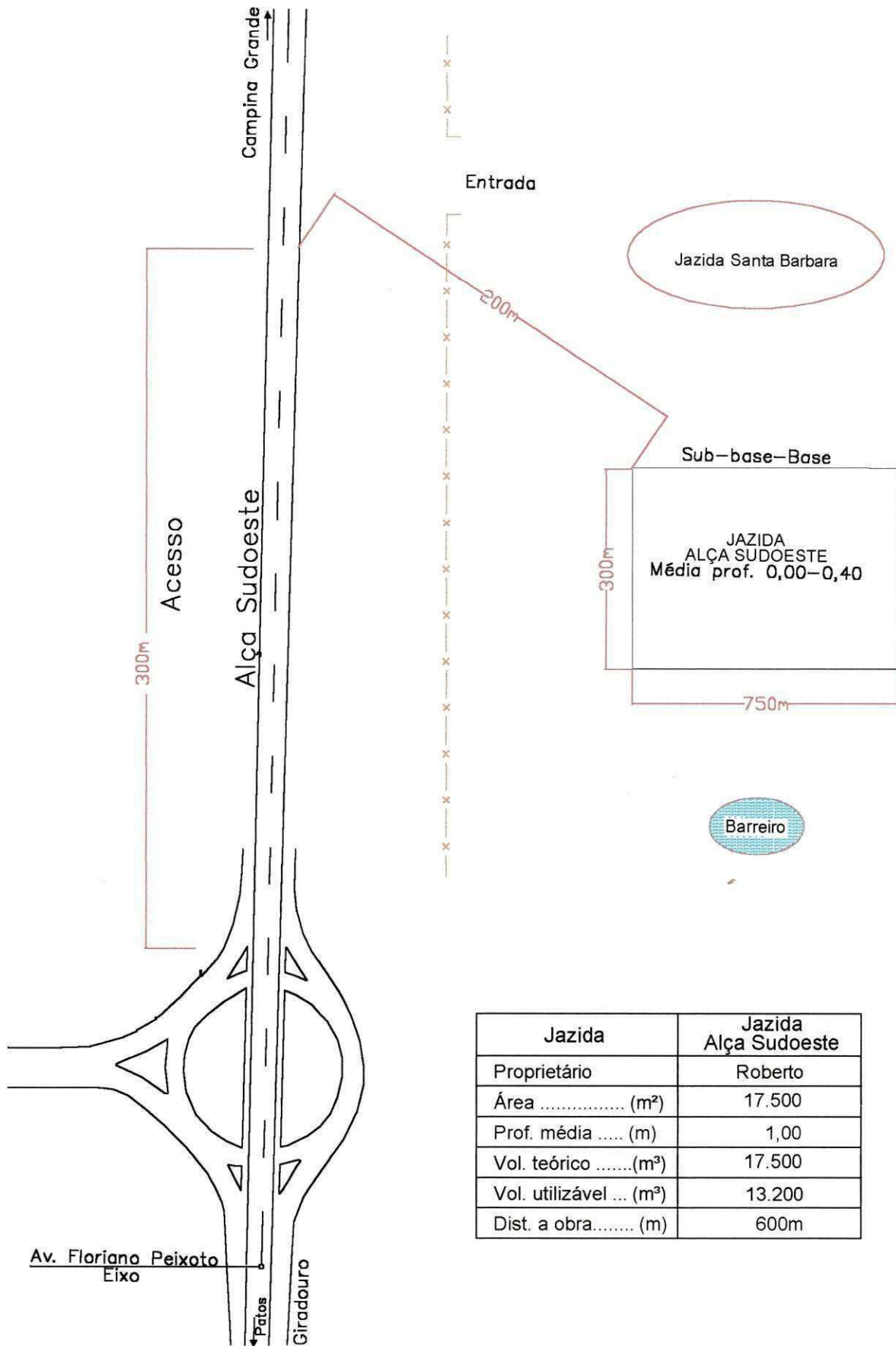


Seção Tipo em Desnível



PLANTA DE LOCALIZAÇÃO DE JAZIDA

Obra: Avenida Floriano Peixoto
Local: Campina Grande - Pb



Jazida	Jazida Alça Sudoeste
Proprietário	Roberto
Área (m ²)	17.500
Prof. média (m)	1,00
Vol. teórico(m ³)	17.500
Vol. utilizável ... (m ³)	13.200
Dist. a obra..... (m)	600m

LOCALIZAÇÃO DOS FUROS DE SONDAGEM DO SUB-LEITO

Obra: Avenida Floriano Peixoto- Campina Grande - PB

Est.75 F-9

Est.65 F-8

Est.60 F-7

Est.55 F-6

Est.45 F-5

Est.35 F-4

Est.20 F-3

Est.10 F-2

Est.1 F-01
Est.0

EMPRÉSTIMO PARA CORPO DE ATERRO

Cliente:Obra:Avenida Floriano Peixoto
Local: Campina Grande - Pb

