



## **COMPARATIVO ENTRE AS TECNOLOGIAS EMPÍRICO E EMPÍRICO-MECANÍSTICAS PARA O DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS**

VALDEMIR DE QUADROS JUNIOR<sup>1</sup>; LINCOLN SALGADO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Discente, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel-PR, valdemirquadroseng@gmail.com;

<sup>2</sup>Especialista, Engenheiro Civil, Prof. Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel-PR, salgado@fag.edu.br.

**RESUMO:** Estabelecido em 1981, e desenvolvido pelo Eng. Murilo Lopes de Souza o método do então Departamento de Estradas de Rodagem (DNER), foi elaborado com base em observações da pista experimental da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) e adaptado para climas tropicais, contudo o método recebe o título de empírico, pois não tem relação direta com a mecânica dos pavimentos, para tal métodos mecânicos foram desenvolvidos, com base nisso Filipe Augusto Cinque de Proença Franco desenvolveu o software SISPAVE, o qual utiliza critérios empírico-mecânicos na elaboração do dimensionamento, embasado no comportamento resiliente do pavimento flexível e garantindo o desempenho em sua vida útil. Portanto, com intuito de comparar tais métodos, foram dimensionados dois pavimentos com a utilização de iguais números de repetições de cargas, estes dimensionamentos permitiram analisar as diferenças das camadas estruturais resultantes das aplicações dos métodos onde se verificou que as prerrogativas levantadas pelo *software* geraram uma economia de 10,71% no valor por quilômetro de pavimento se comparado ao método empírico, todavia o dimensionamento empírico-mecanístico elevou a espessura das camadas granulares, mas uma redução considerável do revestimento asfáltico justificou os valores moderação dos custos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Dimensionamento; comparativo; SISPAV; método empírico;

### **COMPARISON BETWEEN EMPIRICAL AND EMPIRICAL-MECHANISTIC TECHNOLOGIES FOR DIMENSIONING FLEXIBLE PAVEMENTS**

**ABSTRACT:** Established in 1981, and developed by Eng. Murilo Lopes de Souza, the method of the then Departamento de Estradas de Rodagem (DNER), was elaborated based on observations of the experimental track of the *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) and adapted for tropical climates, however the method receives the title of empirical, because it has no direct relation with the mechanics of the pavements, for such mechanical methods were created, based on that Filipe Augusto Cinque de Proença Franco developed the software SISPAVE, that uses of empiric-mechanics in the elaboration of the design, based on the resilience module of the flexible pavement and guaranteeing the performance in its useful life. Therefore, in order to compare such methods, two floors were designed with the use of equal numbers of repetitions of loads, these dimensions allowed to analyze the differences of the structural layers resulting from the applications of the methods where it was verified that the prerogatives raised by the software generated an economy of 10,71% in the value per kilometer of pavement when compared to the empirical method, however the empiric-mechanics design increased the thickness of the granular layers, but a considerable reduction of the asphaltic coating justified the values moderation of the costs.

## **1 INTRODUÇÃO**

Um conhecimento pode ser técnico pelo empirismo ou pelo mecanismo no qual está sujeito em alguns planos, ambos, ainda podem se entrelaçar corroborando em aplicações

vantajosas, se observado o ambiente pretérito. Quando se analisa os pavimentos flexíveis pelos quais a população depende no dia a dia, tecnicamente, são observados dimensionamentos empíricos, segundo o próprio manual do então Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (SOUZA, 1981), agora Departamento Nacional de Infraestrutura de Trânsito (DNIT). Haja vista que segundo a Confederação Nacional de Transporte (CNT, 2017), 99% das rodovias são em pavimentos flexíveis, pode-se refutar como esses os métodos de dimensionamento podem interferir na vida útil do pavimento. Considerando o método atual, objetivou-se aplicar outro método de dimensionamento, capaz de aprimorar as características estruturais de um pavimento flexível, além dispor das vantagens e custos se comparados ao método definido pelo órgão responsável.

Para contrapor ao método Souza (1981), e efetuar uma análise de potenciais de defasagem, buscou-se um método com fundamentos empírico-mecânicos, que contasse com análise em *software*, e que pudesse promover uma comparação detalhada dos objetos. A opção, então, fora um método desenvolvido por Franco (2006), denominado SISPAV, que teve início das suas atividades em 2007, quando a tese de doutorado redigida resultou no aplicativo que trata o pavimento como algo dimensionável por meios mecânicos, através da resistência dos materiais.

Contudo, por mais que distintos, os métodos se contrapõem em um mesmo resultado: o pavimento. Cria-se então a necessidade de uma análise quantitativa entre ambos, visualizando a diferença no custo unitário por quilômetro do pavimento, tendo como ponto de análise o Oeste do Paraná, considerando os fatores ambientais, econômicos e naturais da região. Por fim espera-se analisar os resultados obtidos ao utilizar métodos distintos de dimensionamentos de pavimentos, considerando que em nenhum dos métodos aplicados a esta abordagem, fora utilizado um processo estritamente mecanístico.

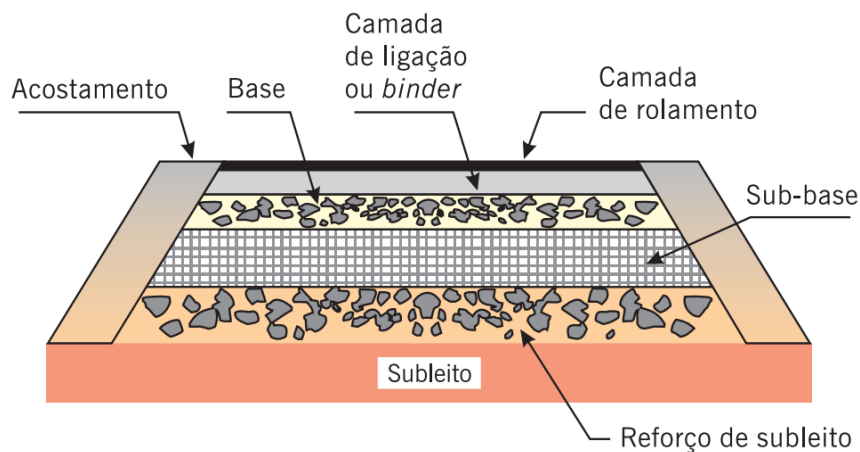
## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Estrutura característica dos pavimentos flexíveis**

Um pavimento flexível depende de uma estrutura bem definida para resistir aos esforços de seu uso comum, estrutura essa dividida em camadas de diferentes espessuras e materiais, denominadas, segundo Bernucci *et al.* (2006), subleito, reforço do subleito, sub-base e base (Figura 01), compostas de diversos materiais, comumente sendo solos e rochas,

dentre várias proporções granulométricas, distribuídas e caracterizadas em camadas sobrepostas. Para Senço (2006), por sua vez, corrobora e defende o conhecimento e análise dos materiais utilizados, recomendando o uso de um projeto geotécnico para que o pavimento desempenhe sua função corretamente.

**Figura 01:** Estrutura de um pavimento flexível.



Fonte: Bernucci, (2006).

O subleito, segundo a *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO, 1993), é uma camada de um solo requisitado ou ambiente compactado à uma densidade previamente determinada. Bernucci *et al.* (2006), explana o papel do subleito estrutural, o qual caracteriza-se como a primeira camada a ser solicitada na distribuição de tensões, concebendo o adjetivo de fundação ao seu uso; o seu comportamento ainda depende das características do material utilizado, variando com a razão granulométrica, rigidez, espessura, etc.

Por sua vez, o reforço do subleito — como o nome contempla — garante a melhora da fundação do pavimento, na qual materiais utilizados são melhores que o do subleito em uma análise qualitativa, reduzindo assim potenciais espessuras exageradas da fundação maleabilizando suas dimensões (BERNUCCI *et al.* 2006).

A sub-base pode contar com aglomerantes em sua composição, e já prepara o alicerce para um pavimento, as propriedades desta camada têm interferência direta na espessura utilizada tanto dela mesma quanto na própria base, acima dela (BALBO, 2007). Já a base deve ter materiais granulares em sua composição, podendo ser pedra brita, macadame, areias lateríticas ou materiais reciclados (BERNUCCI *et al.* 2006), a camada é a primeira a ser

requisitada no papel de dispersão de tensões, pois está logo abaixo do revestimento asfáltico e, conseqüentemente, da faixa de rodagem.

Composta por agregados e ligantes betuminosos, o revestimento asfáltico tem caráter fundamental em um pavimento flexível, sendo requisitada uma qualidade superior nos agregados utilizados e uma dosagem correta para que, assim, atenda aos esforços solicitados (AASHO, 1993).

A estrutura do pavimento, em seu sistema, deve resistir às tensões verticais, flexão, confinamento e cisalhamento (Balbo, 2007), esforços estes gerados por cargas estáticas, variáveis ou do próprio intemperismo. Senço (2006), traz conceitos de resistência dos materiais para explicar os efeitos, determinando as tensões como normais, cortantes, fletoras e torçoras, e inclui ainda tensões internas, as normais e cisalhantes.

## 2.2 Índices e ensaios

### 2.2.1 *California Bearing Ratio* – Índice de Suporte Califórnia

Para Balbo (2007), é imprescindível o conhecimento dos insumos utilizados no pavimento, para tal, utilizam-se ensaios laboratoriais fundamentados em matérias consagradas como a mecânica dos solos, pois, as camadas que compõe um pavimento flexível são de material natural e granular, logo a delimitação dos materiais pode e deve ser descrita pelos métodos.

O primeiro e principal índice fundamental ao dimensionamento das camadas de apoio é o CBR (Índice de Suporte Califórnia - *California Bearing Ratio*), o qual tem o valor obtido por meio de um ensaio regido pela NBR 9895/2017. Segundo Putri (2012), a análise do método retorna os valores de resistência do solo de base e sub-base de uma rodovia, na qual se sujeita algum tráfego. A norma DNIT 172/2016 traz, em uma abordagem global, o procedimento de ensaio e amostragem para obtenção dos índices segundo o manual, em uma linguagem rapidamente breve se comparada à norma nacional, e são necessários materiais não trabalhados e deformados para realização dos procedimentos.

O processo é claramente substanciado nas análises de compactação do solo, as quais utilizam três divisões de amostradores e energia de compactação, porém, segundo o manual DNIT 172/2016, para obtenção do CBR é necessário apenas o molde de maior dimensão e um tipo de soquete de adensamento, variando apenas na energia de compactação. O manual contém-se a explicar sobre os materiais e ferramentas utilizadas para execução e elaboração.

### 2.2.2. Módulo de resiliência

Resiliência é uma característica da resistência dos materiais, que determina o quanto o material consegue absorver de energia mecânica em regime elástico, ou seja, sem deformar de maneira permanente, se entendendo como módulo de resiliência a área sobre a curva do diagrama tensão-deformação enquanto o regime linear (PFEIL & PFEIL, 2000).

Nos pavimentos, ainda na década de 1930, Francis Hveem, correlacionou o surgimento de fissuras nos pavimentos com os potenciais de recuperação de deformação dos pavimentos flexíveis, deformação esta tratada como deflexão, oriunda da aplicação de cargas sujeitas pelas rodas, com isso o pavimento tende a sofrer a deformação e recuperar rapidamente, cada solicitação tem uma parcela resiliente e outra não-recuperável (BERNUCCI *et al.* 2006).

#### 2.2.2.1. Módulo de resiliência de materiais granulares

Como o módulo de resiliência é primordial para as análises mecânicas do pavimento, todas as camadas que o compõem devem ser quantificadas (BERNUCCI *et al.* 2006). Balbo (2007), trata dos materiais utilizados nas bases, sub-bases e subleito dos pavimentos flexíveis, além de dispor de uma compilação bibliográfica dos módulos de resiliência, possibilitando correlações entre índices como ângulo de atrito do material, CBR e tensões confinantes de ensaios triaxiais.

Todavia, o manual DNIT 134/2010-ME traz o método para determinação em ensaio do módulo de resiliência de materiais granulares, sendo o suporte central do método a relação entre uma tensão-desvio<sup>1</sup>, aplicada de maneira normal à amostra, pela deformação resiliente. A tensão é aplicada através de cápsula triaxial, e as tensões são monitoradas de maneira digital, através do sistema pneumático.

#### 2.2.2.2. Módulo de resiliência do revestimento asfáltico e fadiga do ligante

O revestimento asfáltico é, via de regra, a camada solicitante com maior módulo de resiliência da estrutura do pavimento. Balbo (2007) trata que as condicionantes que determinam a variação do módulo, são eles: emprego da camada, teor de ligante e faixa granulométrica.

---

<sup>1</sup> Parcela de tensão complementar ao plano de Mohr, aplicada no ensaio triaxial.

A metodologia de ensaio DNIT 135/2010 ME, dispõe de dados para determinação do módulo resiliente das misturas asfálticas, onde agora, o objeto de análise é o revestimento asfáltico flexível, moldado em corpos de prova padronizados impostos a compressão diametral, tratado também por Balbo (2007) como tração indireta, onde uma tensão é aplicada no mesmo sentido diametral do corpo de prova, gerando um deslocamento lateral na direção inversa a aplicação da carga. Com os dados coletados, é possível calcular o módulo de resiliência, além de outros índices como resistência a tração do corpo de prova, e por consequência do revestimento asfáltico.

Pinto (1991), desenvolveu um dos métodos de cálculo responsáveis por determinar a fadiga do ligante de composição por meio de ensaios de compressão diametral. A determinada vida de fadiga leva em consideração o módulo de resiliência e a deformação específica do ensaio, nos quais, algebricamente, o valor é calculado utilizando-se coeficientes sugeridos por diversas bibliografias como as de Franco (2007). O valor de vida de fadiga representa os ciclos que a amostra pode fazer sem que se perca a propriedade resiliente, ou seja, permanecendo elástica, após o limite as deformações tendem a ser plásticas.

## 2.3 Volume de tráfego

A determinação do tráfego provém do manual proposto por Franco ao então DNER, em 1981, no qual por meio de levantamentos *in loco*, pode-se obter o chamado número “N” de repetições equivalentes a um eixo padrão. Por meio de uma análise estatística o método determina como deve ser a contagem dos veículos que transitam pelo pavimento, padronizando eixos em 8,2 toneladas. Ao final da amostragem é determinado o volume total diário da via, que seria a vazão de “eixos padrão” em um diário, com o período de projeto definido, taxa de crescimento e os dados coletados, é possível determinar o valor de repetições do eixo padrão.

## 2.4. Metodologia Souza (1981)

Segundo Figueiredo (1913), algo empírico é guiado somente pela experiência, que não procede de qualquer teoria, ou fatos particulares. O método Souza (1981), é empírico em sua essência, pois deriva de conclusões obtidas por meio de observações na pista experimental da AASHTO, nos Estados Unidos. Este método depende das camadas que compõem um pavimento e do índice de suporte (CBR) de cada material utilizado; conhecido o suporte do

subleito, as camadas superiores são definidas através de espessuras, variando conforme o índice do material e esforços solicitantes (SOUZA, 1981).

A metodologia empírica aplicada se baseia em três pontos distribuídos no próprio manual, são eles: tráfego solicitante, espessura da camada de revestimento asfáltico e inequações para determinação das demais espessuras, sendo todos, pontos sombreados entre si. De maneira simplificada, o valor N de repetições solicitantes no pavimento determina a espessura de revestimento asfáltico, que por sua vez, as inequações considerarão para os valores de sub-base, base e reforço do subleito (SOUZA, 1981).

## 2.4. Metodologia empírico-mecanística SISPAV

Desenvolvido por Franco (2007), o software SISPAVE trabalha com conceitos mecânicos para o dimensionamento de pavimentos. Segundo o autor, o método leva em consideração a eficiência estrutural do material, considerando efeitos de intemperismo e carregamentos desconsiderados pelos métodos empíricos utilizados no Brasil.

O desenvolvimento do aplicativo se dá por meio de análises de funcionamento do software FEPAVE, desenvolvido na Universidade da Califórnia pelo Professor Carl Minismith. Considerado um software de análise de elementos finitos, este, tem garantias estruturais, mas por considerar a elasticidade do material como sendo linear e arquitetura não ser muito interativa com o usuário, se tornou desatualizado, necessitando de atualizações em softwares mais atuais, como o sugerido por Franco (2000, 2004), contudo, o desenvolvimento de máquinas mais parrudas garantem a análise estrutural por meio de software, considerando multivariáveis (FRANCO, 2007).

As condicionantes projetuais delimitadas por Franco (2007) foram, os materiais utilizados, a influência do meio físico, o carregamento da estrutura e por fim a análise de desempenho do pavimento, comprovando ainda em sua obra, a confiabilidade, por meio de análises dispostas em simulações ou manuais de órgãos competentes.

## 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para alimentação dos métodos foram analisados ensaios laboratoriais e bibliografias, para a obtenção das condicionantes. Coletados os dados, é possível desenvolver os métodos DNER e SISPAV, de maneira a compará-los financeiramente, verificando o impacto

monetário e por consequência de insumos a serem utilizados, isso, através do método de orçamentos do DNER, utilizando quantidades e valores unitários para determinação do valor total por quilômetro de uma rodovia no oeste paranaense.

### 3.1. Determinação do valor N

Sendo valor fundamental para elaboração de um projeto de pavimentos, os estudos do valor se restringiram aos trabalhos de Bandeira (2017). A amostragem de tráfego remete à uma extensão de 34,3 quilômetros da rodovia PR-486, entre os municípios de Cascavel-PR e Jotaesse-PR. Para o dimensionamento empírico se julga necessário apenas o valor de repetições do eixo padrão (N), porém para análises computacionais em *software* mecânico se torna necessária a utilização de dados menos superficiais, dispostos por Bandeira (2017), tais como a quantidade de veículos constatados de uma determinada classe para alimentação do software SISPAV.

Bandeira (2017) conclui em sua contagem volumétrica e análise pelo método que na vida útil de dez anos o volume de tráfego será de  $3,71 \times 10^7$  repetições do eixo padrão, sendo ainda utilizados valores climáticos de 1,8.

### 3.2. Índice de Suporte Califórnia (CBR)

Para o dimensionamento Souza (1981), o índice CBR de suporte do subleito é essencial, pois dá parâmetro de resistência da camada de suporte composta por solo do pavimento. Para tal foram utilizados índices pré definidos de um solo da área urbana de Cascavel-PR, especificamente das obras de reforma da Avenida Brasil, onde o índice se julgou necessário para reconstrução do pavimento. Contudo, tal índice não sofre variação considerável no oeste paranaense, sendo plausível o uso deste para suporte da análise comparativa.

De maneira simplificada, segundo o DNIT (2016), o primeiro passo consiste na moldagem do corpo de prova, com material seco *in natura*, e deformado; este, passando na peneira 19 mm, se existir massa retida, é necessário que esta seja substituída por uma massa condizente passando na peneira 19 mm e retida na 4,8 mm, promovendo uma adequação granulométrica das amostras. O material é elevado à umidade próxima ao ideal, onde existe resistência de sua forma, havendo coesão e permanência estética se moldado, uma pequena amostra é pesada e levada a estufa para finalidade de conhecer a umidade real presente. Após



isso, o solo é inserido no corpo de prova em cinco camadas divididas e intercaladas por golpes de um soquete padrão, sobre um cilindro, apoio e papel filtro, com número de impactos variados a partir de 12 golpes para materiais de subleito, 26 e 55, respectivamente a materiais para sub-base e base; a quantidade de golpes pode ainda variar, segundo a energia necessária para a compactação, em casos extraordinários ou de necessidade de um peso específico elevado, conforme a NBR 9895/1987, corrobora em seu item 4.1. A distribuição deve ser uniforme em cada camada, repetindo todo o processo de preferência com cinco moldes, para garantia de um índice norteável.

Preparado o amostrador o próximo passo é executar o ensaio de expansão, no qual o cilindro e invertido é fixado em uma base, onde um extensômetro afere o deslocamento conforme a amostra permanece durante quatro dias submersa, finalizando o tempo e preenchendo as informações de expansão em tempos normatizados a cada 24 horas. Terminado o processo, retira-se a amostra e mantém-se 15 minutos escoando, a partir disto, executa-se o ensaio final de penetração.

O ensaio de penetração é relativamente simples, consiste na locação do amostrador com a um conjunto prato-prensa, no qual um pistão de penetração impõe um carregamento de 45 N sobre o solo, pistão esse que conta com um extensômetro. O avanço ocorre com velocidade linear de 1,27 mm/min, e em um espaço de 10 minutos devem ser levantadas leituras do extensômetro. Por fim, com todas informações de cálculos - descritas em no sétimo tópico do manual DNIT 172/2016 - são executados, traçando gráficos e delimitando o índice de suporte do material.

Para materiais de base e sub-base são adotados macadames ou britas graduadas simples, onde o valor de CBR se aproxima dos 100%, com material padrão (BALBO, 2007). De maneira geral estes materiais amplamente empregados pois, além de exercerem sua função estrutural de maneira adequada também são facilmente encontrados na maioria das mineradoras.

### 3.3. Módulo de Resiliência (MR)

#### 3.3.1. Módulo de resiliência do revestimento asfáltico

Visando atender à demanda, o DNIT 135/2010-ME, dispõe de dados para determinação do módulo resiliente das misturas asfálticas, nos quais, agora, o objeto de análise é o revestimento asfáltico flexível.

O módulo resiliente da mistura asfáltica é, por sua vez, determinado matematicamente através de condicionamento laboratorial, ou seja, o procedimento retorna aos valores que algebricamente determinarão o valor de resiliência. A amostra pode ser proveniente de um pavimento já instalado, por meio de uma sonda rotativa, ou ainda moldado *in loco*, em ambos os casos com dimensões padronizadas de 3,5 a 6,0 cm de altura e diâmetro de 9,8 a 10,2 cm. A tensão é aplicada por meio de prensa pneumática, de maneira diametral enquanto a amostra está fixada em um quadro de suporte. Simultaneamente a tensão é aplicada pela prensa e a deformação diametral é aferida pelos LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*), posicionados no raio oposto à aplicação de tensões pela prensa, no qual um microcomputador expõe os dados de força e deformação resiliente. Através de equações o módulo de resiliência é definido, utilizando as informações de carregamento aplicado, variação elástica da altura da amostra e coeficiente de Poisson (0,35, segundo recomendação), (DNIT 135/2010 ME).

Os módulos de resiliência em pavimentos segundo Leandro (2016), varia conforme o tipo teor de ligante utilizado na mistura, variando também com o método de compactação utilizado. Os valores para o revestimento asfáltico variam entre 3000 a 10000 MPa (BALBO, 2007).

### 3.3.2. Módulo de resiliência do subleito e camadas granulares

O módulo resiliente de um material granular deve ser obtido por meio de ensaios triaxiais, porém, Balbo (2007), dispõe de valores médios de resiliências para alguns tipos de solo, onde argilas (LG'), de maneira geral desempenham módulo de resiliência ( $M_r$ ) aproximada de 200 MPa, porém na mesma bibliografia foram constatados módulos para o mesmo tipo de solo com valores de até 100 MPa, levando ao uso deste como módulo crítico do subleito.

Para as camadas superiores de sub-base foram utilizados materiais granulares (Figura 02) com módulo resiliente não linear, ou seja esse tipo de insumo tem características elasto-plásticas, nas quais o módulo tende a variar com relação ao carregamento de maneira não linear, tendo após a descarga a não completa recomposição da estrutura (GRAEFF, 2010). Este tipo de estresse é levado em consideração nas análises de Franco (2007), nas quais o modelo de cálculo utilizado no software SISPAV é apresentada. Para o subleito, foi adotada brita graduada simples (BGS), com módulo de 320 MPa, pois o valor sugerido para uma base granular se encontra entre 100-500 MPa (BALBO, 2007), sendo o valor adotado um valor coeso com a realidade.

**Figura 02:** Descrição dos materiais considerados e seus módulos de resiliência.

| Material          | Informações                  | Mr (MPa)              | Poisson | Referência    |
|-------------------|------------------------------|-----------------------|---------|---------------|
| CBUQ              | CAP 50/70, teor 5%, Faixa C. | 3950                  | 0,35    | Autor (2018)  |
| BGS               | Material Graduado            | 320                   | 0,35    | Balbo (2007)  |
| Material Granular | Macadame                     | Resiliente Não Linear | 0,35    | Franco (2007) |
| Subleito          | Solo Laterítico LG'          | 100                   | 0,35    | Balbo (2007)  |

Fonte: Autor, (2018).

### 3.4. Dimensionamento empírico Souza (1981)

Conforme método sugerido por Souza (1981), são necessários de maneira simplificada dois índices para a composição das camadas de suporte do pavimento, são eles o CBR do subleito e o valor N de repetições do eixo padrão (Figura 03), conforme bibliografia disposta pelo mesmo. Porém alguns índices são de suma importância e estão implícitos nos cálculos, tais como vida de projeto e valor de CBR das camadas superiores ao subleito, de materiais minimamente tratados. Contudo então foram adotados conforme bibliografias:

**Figura 03:** Relação dos materiais considerados no método Souza (1981),.

| Camada              | Material                 | Informações                  | Fonte         |
|---------------------|--------------------------|------------------------------|---------------|
| Revestimento        | CBUQ K <sub>2</sub> =2,0 | CAP 50/70, teor 5%, Faixa C. | DER-PR (2005) |
| Base                | BGS K=1,0                | CBR=80%                      | Souza (1981)  |
| Sub-base            | Material Granular K= 1,0 | CBR=20%                      | Souza (1981)  |
| Reforço do subleito | Dispensado               | -                            | -             |
| Subleito            | Solo Laterítico LG's     | CBR=12,7%                    | Autor (2018)  |

Fonte: Autor, (2018).

---

<sup>2</sup> Coeficiente de equivalência estrutural, definida por Souza (1981) para os cálculos empíricos.

Dados os materiais, através das inequações dispostas por Souza (1981), se torna possível a determinação das espessuras. A primeira a ser determinada é a dimensão do revestimento asfáltico, por meio da correlação com o valor N. As correlações, por consequência levam aos valores de espessuras da base, sub-base e reforço do subleito.

### 3.4. Dimensionamento empírico-mecanístico SISPAV (2007)

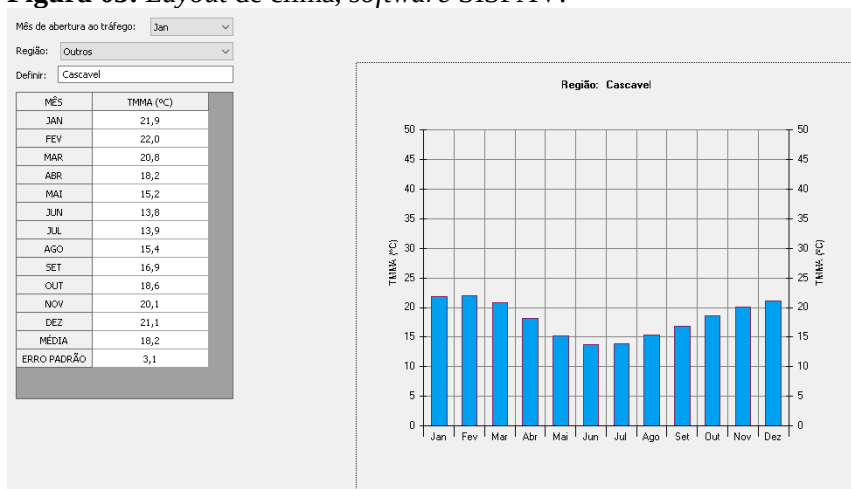
Conforme *software* desenvolvido por Franco (2007), se dispôs o dimensionamento empírico-mecanístico. Porém, deve-se resaltar que o aplicativo conta com módulos não utilizados neste dimensionamento, tais como determinação do valor N (neste caso adotado idêntico ao empírico), e análises de tensão deformação detalha.

Algumas condicionantes foram adotadas para análise mecânica, tais como os módulos de resiliência, condicionantes climáticos, coeficientes de modelagem e de fadiga do pavimento, todas *standard*, dispostas na bibliografia de Franco (2007), sendo adaptado apenas o coeficiente de regressão (K1) para  $1,904 \times 10^{-4}$ , pois se trata da disposição em centímetros das espessuras no cálculo de fadiga do revestimento asfáltico.

#### 3.4.1 Condicionantes Climáticas

Para alimentação das condicionantes climáticas, foram adotados resultados da base de dados Climate-Date (2017), dos quais o mês de implantação do pavimento fora determinado em janeiro (Figura 05), de maneira aleatória.

**Figura 05:** Layout de clima, *software* SISPAV.



Fonte: Autor, (2018).



**Figura 07:** Quadro resumo dos fatores considerados no software SISPAV.

| Índice                        | Valor Adotado          | Observações   |
|-------------------------------|------------------------|---------------|
| Tolerância no dimensionamento | 90%                    | Autor (2018)  |
| Coeficiente de Regressão (k1) | $1,904 \times 10^{-4}$ | Franco (2007) |
| Coeficiente de Regressão (k2) | -2,821                 | Franco (2007) |
| Coeficiente de Regressão (k3) | -0,74                  | Franco (2007) |
| Erro Padrão da Fadiga         | 40%                    | Franco (2007) |
| Vida de Projeto               | 10 anos                | Autor (2018)  |

Fonte: Autor, (2018).

### 3.4.3 Condicionantes de estrutura

A metodologia de Souza (1981), resultou em quatro camadas de espessuras determinadas, para tal foram utilizadas as mesmas que para o dimensionamento no SISPAV, buscando, todavia, equilíbrio e equivalência entre os materiais utilizados em ambos os métodos, variando apenas a metodologia de análises e relatividade dos fatores de dimensionamento. Conforme módulos de resiliência e coeficiente de poisson de cada camada, se tornou possível dimensionar o pavimento com revestimento asfáltico, base, sub-base e subleito (Figura 08).

**Figura 08:** Layout de dimensionamento, software SISPAV.

| Alterar Estrutura >> |                              |         |                |                       |                        |
|----------------------|------------------------------|---------|----------------|-----------------------|------------------------|
| CAMADA               | MATERIAL                     | TIPO    | ESPESSURA (cm) | MÓDULO (MPa)          | COEFICIENTE DE POISSON |
| >> 1 <<              | CONCRETO ASFÁLTICO           | Projeto | 7,1            | 3950                  | 0,35                   |
| 2                    | BRITA GRADUADA SIMPLES (BGS) | Projeto | 20,0           | 320                   | 0,35                   |
| 3                    | MATERIAL GRANULAR            | Projeto | 20,0           | Resiliente Não Linear | 0,35                   |
| SL                   | SUBLEITO                     | Projeto | 0,0            | 100                   | 0,35                   |

Seção do pavimento dimensionada considerando os dados inseridos no SisPavBR.  
Dano Crítico no Pavimento: 97,46% com confiabilidade de 90%  
Tipo: Fadiga de Misturas Asfálticas na Camada: 1  
Vida de projeto estimada em 10,3 ano(s)  
Flow Number das misturas asfálticas > 300 oidos]

Fonte: Autor, (2018).

### 3.5. Levantamento de custos

Dimensionado o pavimento em ambos métodos se julga necessário a composição orçamentária de implantação em função das camadas determinadas, para tal feito foram consideradas condições idênticas para composição dos insumos, fatores estes como os topográficos e de materiais adotados.

Os âmbitos que serão considerados na composição são então, conforme planilha de custos sem desoneração fornecida pelo Departamento de Estradas de Rodagem do Paraná (DER-PR, 2018): compactação e regularização da sub-base, compactação e regularização da base, imprimação, pintura de ligação, pavimentação da camada de ligação (*Blinder*) e pavimentação da capa de rolamento. Os serviços de preparação e análise de subleito foram considerados irrelevantes para o resultado de comparação, visto que em ambos os métodos a implementação inicial do pavimento é idêntica. Valores de frete foram desconsiderados no preço final, visto que para tal cálculo seria interessante o dimensionamento de um trecho específico de pavimento flexível, dada a generalidade optou-se por não incluir este custo no orçamento elaborado.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Dimensionamento Empírico DNER (SOUZA, 1981)

Conforme condicionantes de projeto, torna-se possível o dimensionamento empírico proposto por Souza (1981), as espessuras calculadas foram arredondadas para o valor inteiro imediato superior (Figura 09).

**Figura 09:** Dimensionamento Souza (1981),.

| Camada       | Espessura | Condicionante                        |
|--------------|-----------|--------------------------------------|
| Revestimento | 10        | $N=3,71 \cdot 10^7$ (BANDEIRA, 2007) |
| Base         | 16        | -                                    |
| Sub-base     | 16        | -                                    |
| Subleito     | $\infty$  | -                                    |

Fonte: Autor, (2018).

Conforme fatores intrínsecos ao dimensionamento se dispensou o uso de reforço para o subleito, pois o mesmo tem resistência CBR considerável, não justificando o uso de uma camada suplementar. O método Souza (1981), não leva em consideração a fadiga do pavimento, ou da camada de revestimento, mas relacionar o valor N com a espessura é uma maneira genérica e empírica para garantia do tempo de serviço. Fatores climáticos de temperatura e índices pluviométricos apenas são considerados no cálculo de tráfego, em um fator climático, aplicado por Bandeira (2017). Ficam evidentes as observações executadas por Souza (1981), nos ábacos de determinação e na álgebra adotada, nos quais os dados são adotados sem análise mecânica direta, inexplorado as propriedades dos materiais utilizados.

Conforme anexo 1, o ensaio utilizado seguiu instruções do manual DNER 49/1974-ME, com método de ensaio idêntico ao manual DNIT 172/2016, porém enquanto executados ensaios o presente órgão ainda não havia sido criado. Os valores resultantes dos ensaios foram então 31,5% de umidade ótima, CBR de 12,7%, expanssão de 0,15% e densidade seca máxima de 1,461 g/cm<sup>3</sup>. Em uma análise simplificada e empírica, o solo em questão é ótimo, tendo resistência consideravel mesmo no subleito, camada que via de regra pode necessitar de reforço, porém neste caso não deve se julgar necessária, a primeira análise. Balbo (2007), considera que para solos lateríticos (LA, LA' e LG') a variação em ensaios tipo Mini-CBR é, via de regra, entre 12 e 30%.

#### 4.2. Dimensionamento empírico-mecanístico SISPAV (FRANCO, 2007)

Embasado em condições mecânicas o *software* SISPAV conta com dimensionamento simplificado do pavimento, após determinados os parâmetros de dimensionamento bastam executar a análise das camadas. Para a determinação dos módulos de resiliência foram utilizados testes de compressão diâmetral, conforme norma DNIT 136/2010 – ME, para tal foram moldados corpos de prova com: teor de asfalto de 5,5%, faixa granulometrica C (DER/PR ES-P 15/05), sendo utilizados para confecção o ligante CAP 50/70. Os corpos de prova foram enviados para empresa credenciada para tal procedimento. O módulo de resiliência encontrado é de 3950 MPa, condizendo com as análises de Balbo (2007), que implementam um *range* entre 3800-4300 MPa para a faixa, e coeficiente de Poisson conforme norma DNIT 134/2010-ME, de 0,35.

Os resultados de espessura encontram-se na Figura 10, todavia com base na tolerância elevada no dimensionamento, foi constatado dano crítico de 97,48% do pavimento no período de projeto estimado de 10 anos. A relação de dano depende diretamente do valor da vida de



fadiga, determinado pelo método de Pinto (1991), e então, com garantia estatística, o pavimento resistirá sem patologias no período estabelecido as intemperes e tráfego pelo qual será solicitado.

**Figura 10:** Dimensionamento SISPAV (2007).

| Camada       | Espessura (cm) | Condicionante   |
|--------------|----------------|-----------------|
| Revestimento | 7,1            | Pinto (1991)    |
| Base         | 20             | Mr = 320 MPa    |
| Sub-base     | 20             | Mr = Não Linear |
| Subleito     | $\infty$       | Mr = 100 MPa    |

Fonte: Autor (2018).

#### 4.3. Determinação do custo

Conforme planilha de custos DER-PR (Junho, 2018) sem desoneração, foi possível levantar os custos unitários (Figura 11), para 1 m<sup>2</sup> de pavimento (Apêndice 01), a composição utilizada é idêntica para ambos métodos assim como os insumos. Para determinação do valor por quilômetro pavimentado foram considerados duas faixas de rolamento com 3,60 metros (DNIT, 2010), desconsiderando zonas de escape ou acostamentos.

**Figura 11:** Custo unitário do pavimento.

| MÉTODO SOUZA (1981)                 |            | MÉTODO SISPAV (2007)                |            |
|-------------------------------------|------------|-------------------------------------|------------|
| Custo de Serviços (m <sup>2</sup> ) | R\$ 61,39  | Custo de Serviços (m <sup>2</sup> ) | R\$ 61,12  |
| Custo de Ligantes (m <sup>2</sup> ) | R\$ 53,09  | Custo de Ligantes (m <sup>2</sup> ) | R\$ 41,77  |
| Custo Total (m <sup>2</sup> )       | R\$ 114,47 | Custo Total (m <sup>2</sup> )       | R\$ 103,39 |

Fonte: Autor (2018).

Compondo a rodovia conforme pré-determinado, a quantificação de área é de 7200 m<sup>2</sup> equivalentes a uma unidade de quilômetro de pavimento, concebe-se então (Figura 12) o valor total por quilômetro em ambos métodos:

**Figura 12:** Custo total por quilômetro do pavimento.

| MÉTODO SOUZA (1981) | MÉTODO SISPAV (2007) |
|---------------------|----------------------|
| R\$ 824.184,00      | R\$ 744.408,00       |

Fonte: Autor (2018).

É possível observar na composição de custos a interferência direta da espessura do revestimento asfáltico de maneira mais incisiva se comparada as camadas granulares, os custos unitários dos materiais justificam a diferença radical de valores. Com o mesmo período de projeto e tráfego de demanda, pode-se obter um pavimento equivalente em sua utilização, porém com um grande degraú no quesito econômico.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Enquanto o modal primordial brasileiro for rodoviário se julga necessária uma observação profissional crítica dos fatores que compõem uma rodovia, iniciando pela fase de projetos. Deve-se reconhecer o trabalho de Souza (1981), o qual possibilitou que a malha rodoviária nacional se tornasse ampla, com embasamento técnico, por mais que empírico, que permaneceu em uso por um longo período de tempo, sendo adotado até os dias de hoje como técnica oficial de dimensionamento do DNIT. Todavia, em toda área de atuação técnica é imprescindível a evolução.

Dimensionar um pavimento com métodos mecanísticos tende a aprimorar o controle de qualidade de projetos, para tal, Franco (2007), desenvolveu o *software* SISPAV, que, de maneira simplificada dimensiona pavimentos considerando a mecânica característica dos componentes do estruturais, elevando de maneira fundamental a propriedade técnica que se encontrava carente de inovações. Bastou-se de um olhar heurístico para a situação, analisando propriedades já reconhecidas pela comunidade científica, dentro e fora do âmbito rodoviário.

Souza (1981) utiliza como pilar de dimensionamento o suporte CBR dos materiais, juntamente com a análise de tráfego, que de maneira padronizada engloba vários componentes intrínsecos em sua elaboração, tais como índices de ambiente e fatores de dimensionamento, alguns, com breve embasamento mecânico; em contraposto Franco (2007) se contempla das análises de fadiga do revestimento asfáltico e das camadas de composição do pavimento, discernindo os âmbitos de tráfego, fatores climáticos e mecânicos na estrutura do aplicativo criado, tornando por mais que demande conhecimento da ferramenta, um dimensionamento

simples e ainda retornando com valores confiáveis módulos de deformação, tensão nas camadas e por consequência do dimensionamento as espessuras de pavimentos que o compõe.

Para tal comparação, com amostragem no oeste paranaense, teve-se como objetivo o equilíbrio entre os métodos, adotando sempre que possível condicionantes equivalentes nos insumos de composição. As espessuras divergiram entre os dimensionamentos, enquanto o dimensionamento Souza (1981), utiliza de uma camada de revestimento de maior dimensão, no *software* SISPAV (2007), as camadas granulares tiveram maior destaque, com consequência da redução acentuada da camada de revestimento.

Com o mesmo objeto final, ambos os métodos se mostram confiáveis, o empírico por sua longa estrada e consagração em obras rodoviárias por mais de 30 anos, e o jovem aplicativo prova sua capacidade aos ombros de gigantes, os quais propuseram a mecânica dos pavimentos. Por fim, conclui-se então que o método empírico proposto por Souza (1981), como se encontra atualmente é considerado defasado, pois não leva em consideração as correlações mecânicas no dimensionamento, deixando grande margem de resistência dos itens de composição passiva, desperdiçada ou ineficiente.

Outro impacto positivo ao dimensionamento empírico-mecânico foi constatação de uma economia de 10,71% no custo por quilômetro do pavimento utilizando-se do *software* SISPAVE, considerando, claro, os padrões comparativos adotados. Grande parte desta diferença provem do fato de o revestimento asfáltico ser mais oneroso em composições se comparado aos materiais granulares, a economia de espessura desta camada tem forte impacto no valor global do pavimento, visto que mesmo com espessuras granulares maiores o dimensionamento proposto por Franco (2007), se mostrou majoritariamente econômico, com a vida útil projetual idêntica ao método de Souza (1981).

Sugere-se então para futuros trabalhos do desenvolvimento de uma análise do mesmo âmbito abordado, porém com índices CBR e de módulos de resiliência levantados sobre a mesma amostra de solo, pode-se ainda criar novas correlações matemáticas entre o índice de suporte e o módulo de resiliência, característicos do oeste paranaense, promovendo assim um ambiente técnico propício para o ingresso profissional da região em dimensionamentos mecanísticos ou empírico-mecanísticos.

## REFERÊNCIAS

AASHTO - THE AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS: **Design of Pavement Structures**. Washington, Dc: AASHTO, 1993. Disponível em: <[goo.gl/v8oNbX](http://goo.gl/v8oNbX)>. Acesso em: 13 maio 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895: Solo - Índice de Suporte Califórnia**. Rio de Janeiro, 2017.

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

BANDEIRA, Rafael Corrêa. **Estudo Comparativo de Custos Parciais da Implantação de Pavimentos Flexíveis e Pavimentos Rígidos Em Uma Rodovia Com Baixo Volume de Tráfego**. 2017. 92 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel-pr, 2017.

BERNUCCI, L. L. B., *et al.* **Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros**. 1ª edição. Programa Asfalto Nas Universidades, Rio de Janeiro: Petrobras, 2008.

CLIMATE-DATA. **Temperaturas e Precipitações médias Em Cascavel, Paraná**. 2017. Disponível em: <<https://goo.gl/jifNMã>>. Acesso em: 11 nov. 2018.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DO PARANÁ. S/I: **REFERENCIAL DE CUSTOS - Junho 2018 - SEM DESONERAÇÃO**. Paraná: S/E, 2018. 1 p. v. 1. Disponível em: <[encurtador.com.br/qFOPV](http://encurtador.com.br/qFOPV)>. Acesso em: 09 dez. 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 134: Solos – Determinação do modulo de resiliência – Método de ensaio**. Brasília: DNIT, 2010. Disponível em: <<https://goo.gl/RjcnHC>>. Acesso em: 11 de novembro de 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 135: Misturas asfálticas - Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio**. Brasília: DNIT, 2010. Disponível em: < <https://goo.gl/yCwuoW>>. Acesso em: 11 de novembro de 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 172: Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio**. Brasília: DNIT, 2016. Disponível em: <[goo.gl/Nnj9e6](https://goo.gl/Nnj9e6)>. Acesso em: 13 maio 2018.

FIGUEIREDO, Candido de. **Novo Dicionário da Língua Portuguesa**. Brasil: S/E, 1913. 2175 p.

FRANCO, Filipe Augusto Cinque de Proença. **MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO MECANÍSTICO-EMPÍRICO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS - SISPAV**. 2007. 315 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <[goo.gl/qzNiUQ](https://goo.gl/qzNiUQ)>. Acesso em: 13 maio 2018.

GRAEFF, Ângela Gaio; BARELLA, Rodrigo Maluf. **Estudo da influência da não linearidade de materiais granulares no desempenho de pavimentos asfálticos**. 2010. 86 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Concessionária da Rodovia Osório, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <[encurtador.com.br/LTX29](http://encurtador.com.br/LTX29)>. Acesso em: 09 dez. 2018.

**PESQUISA CNT DE RODOVIAS 2017: Relatório Gerencial.** Brasília: Senat, 2017. Anual. Disponível em: <[goo.gl/NMGP4S](http://goo.gl/NMGP4S)>. Acesso em: 13 maio 2018.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de Aço.** 8. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2008. 382 p.

PINTO, Salomão. **Estudo do comportamento à fadiga de misturas betuminosas e aplicação da avaliação estrutural de pavimentos.** 1991. 489 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1991.

PUTRI, Elsa Eka. **Evaluation of Modulus of Elasticity and Modulus of Subgrade Reaction of Soils Using CBR Test.** 2012. 7 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universiti Malaysia Sabah, Sabá, Malásia, 2012.

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de Técnicas de Projetos Rodoviários.** São Paulo: Pini, 2006.

SOUZA, Murilo Lopes de, DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. 667: **Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis.** Rio de Janeiro, 1981. Disponível em: <[goo.gl/DzmiD4](http://goo.gl/DzmiD4)>. Acesso em: 13 maio 2018.

# ANEXO 1 – Ensaio CBR utilizado.

| <b>ENSAIO DE ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA DE SOLOS ( DNER-ME 40-74 )</b> |            |              |                    |               |           |              |            |              |           |              |              |  |
|-----------------------------------------------------------------------|------------|--------------|--------------------|---------------|-----------|--------------|------------|--------------|-----------|--------------|--------------|--|
| Obra:                                                                 | Trecho:    |              |                    | Origem:       |           |              | Estudo:    |              | Data:     |              |              |  |
|                                                                       |            |              |                    |               |           |              |            | Proctor      |           |              |              |  |
| Camada / Estaca / Posição:                                            |            | ESPES.       |                    | Material:     |           | Registro:    |            | Energia:     |           | Operador:    |              |  |
|                                                                       |            |              |                    | Solo Argiloso |           | 62           |            | Normal       |           |              |              |  |
| <b>COMPACTAÇÃO</b>                                                    |            |              |                    |               |           |              |            |              |           |              |              |  |
| Cilindro nº                                                           | 27         |              | 24                 |               | 14        |              | 9          |              | 17        |              |              |  |
| Água Adicionada(ml)                                                   | 300        |              | 400                |               | 500       |              | 600        |              | 700       |              |              |  |
| Cilindro+Solo Úmido(g)                                                | 8.579      |              | 9.030              |               | 9.291     |              | 9.376      |              | 9.282     |              |              |  |
| Peso do Cilindro(g)                                                   | 5.279      |              | 5.335              |               | 5.318     |              | 5.346      |              | 5.361     |              |              |  |
| Peso do Solo Úmido(g)                                                 | 3.300      |              | 3.695              |               | 3.973     |              | 4.030      |              | 3.921     |              |              |  |
| Volume do Cilindro(cm³)                                               | 2.094      |              | 2.094              |               | 2.096     |              | 2.094      |              | 2.093     |              |              |  |
| Dens. Apar. Úmida(g/cm³)                                              | 1,576      |              | 1,765              |               | 1,896     |              | 1,925      |              | 1,873     |              |              |  |
| <b>DETERMINAÇÃO DA UMIDADE</b>                                        |            |              |                    |               |           |              |            |              |           |              |              |  |
| Cápsula nº                                                            | 28         |              | 61                 |               | 79        |              | 76         |              | 25        |              | 96           |  |
| Cápsula+Solo Úmido(g)                                                 | 93,98      |              | 99,61              |               | 104,80    |              | 120,07     |              | 104,61    |              | 118,24       |  |
| Cápsula+Solo Seco(g)                                                  | 78,41      |              | 83,00              |               | 85,81     |              | 97,70      |              | 84,72     |              | 95,17        |  |
| Peso da Água(g)                                                       | 15,57      |              | 16,61              |               | 18,99     |              | 22,37      |              | 19,89     |              | 23,07        |  |
| Peso da Cápsula(g)                                                    | 18,87      |              | 18,92              |               | 18,95     |              | 19,06      |              | 20,17     |              | 19,11        |  |
| Peso do Solo Seco(g)                                                  | 59,54      |              | 64,08              |               | 66,86     |              | 78,64      |              | 64,55     |              | 76,06        |  |
| Teor de Umidade(%)                                                    | 26,2       |              | 25,9               |               | 28,4      |              | 28,4       |              | 30,8      |              | 30,3         |  |
| Umidade Adotada(%)                                                    | 26,1       |              | 28,4               |               | 30,6      |              | 32,3       |              | 34,1      |              |              |  |
| Dens. Apar. Seca(g/cm³)                                               | 1,250      |              | 1,374              |               | 1,452     |              | 1,455      |              | 1,398     |              |              |  |
| <b>EXPANSÃO</b>                                                       |            |              |                    |               |           |              |            |              |           |              |              |  |
| Data                                                                  | Hora       | Alt. CP (mm) | 114,90             | Alt. CP (mm)  | 114,70    | Alt. CP (mm) | 114,90     | Alt. CP (mm) | 114,80    | Alt. CP (mm) | 114,80       |  |
|                                                                       |            | Leitura      | Expansão           | Leitura       | Expansão  | Leitura      | Expansão   | Leitura      | Expansão  | Leitura      | Expansão     |  |
|                                                                       |            | (mm)         | (%)                | (mm)          | (%)       | (mm)         | (%)        | (mm)         | (%)       | (mm)         | (%)          |  |
| 00/01/1900                                                            | 16:30      |              |                    | 1,00          | 0,00      | 1,00         | 0,00       | 1,00         | 0,00      |              |              |  |
| 01/01/1900                                                            |            |              |                    |               |           |              |            |              |           |              |              |  |
| 02/01/1900                                                            |            |              |                    |               |           |              |            |              |           |              |              |  |
| 03/01/1900                                                            |            |              |                    |               |           |              |            |              |           |              |              |  |
| 04/01/1900                                                            | 16:30      |              |                    | 1,38          | 0,33      | 1,30         | 0,26       | 1,03         | 0,03      |              |              |  |
| <b>PENETRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS</b>                                |            |              |                    |               |           |              |            |              |           |              |              |  |
| Anel dinamométrico nº                                                 | 2100       |              | Constantes do Anel |               | 0,139     |              | a: 0,139   |              | b: 0,139  |              |              |  |
| tempo                                                                 | penetração | Leitura      | pressão            | Leitura       | pressão   | Leitura      | pressão    | Leitura      | pressão   | Leitura      | pressão      |  |
| min                                                                   | (mm)       | (0,001mm)    | (kgf/cm²)          |               | (kgf/cm²) | (0,001mm)    | (kgf/cm²)  | (0,001mm)    | (kgf/cm²) | (0,001mm)    | (kgf/cm²)    |  |
| 0,5                                                                   | 0,64       |              |                    | 14            | 2,1       | 33           | 4,7        | 16           | 2,4       |              |              |  |
| 1                                                                     | 1,27       |              |                    | 17            | 2,6       | 69           | 9,7        | 22           | 3,2       |              |              |  |
| 1,5                                                                   | 1,91       |              |                    | 23            | 3,3       | 81           | 11,4       | 31           | 4,4       |              |              |  |
| 2                                                                     | 2,54       |              |                    | 27            | 3,9       | 87           | 12,2       | 41           | 5,8       |              |              |  |
| 3                                                                     | 3,81       |              |                    | 32            | 4,6       | 97           | 13,6       | 43           | 6,1       |              |              |  |
| 4                                                                     | 5,08       |              |                    | 37            | 5,3       | 105          | 14,7       | 50           | 7,1       |              |              |  |
| 6                                                                     | 7,62       |              |                    | 49            | 7,0       | 116          | 16,3       | 65           | 9,2       |              |              |  |
| 8                                                                     | 10,16      |              |                    |               |           |              |            |              |           |              |              |  |
| 10                                                                    | 12,70      |              |                    |               |           |              |            |              |           |              |              |  |
| ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA                                             | Carga      | ISC          | Carga              | ISC           | Carga     | ISC          | Carga      | ISC          | Carga     | ISC          |              |  |
|                                                                       | Corrigida  | (%)          | Corrigida          | (%)           | Corrigida | (%)          | Corrigida  | (%)          | Corrigida | (%)          |              |  |
| I.S.C. 0,1"                                                           |            |              | 3,9                | 5,5           | 10,4      | 14,8         | 5,8        | 8,3          |           |              |              |  |
| I.S.C. 0,2"                                                           |            |              | 5,3                | 5,0           | 14,8      | 14,0         | 7,1        | 6,7          |           |              |              |  |
| DENS. SECA MÁX. (g/cm³)=                                              | 1,461      |              | UMID. ÓTIMA(%)=    |               | 31,5      |              | I.S.C.(%)= |              | 12,7      |              | EXPANSÃO(%)= |  |
|                                                                       |            |              |                    |               |           |              |            |              |           |              |              |  |
|                                                                       |            |              |                    |               |           |              |            |              |           |              |              |  |

APÊNDICE 1 – Planilha de orçamentos;

| PLANILHA DE SERVIÇOS |                                                   |                  |        |                            |                      |
|----------------------|---------------------------------------------------|------------------|--------|----------------------------|----------------------|
| Obra:                | MÉTODO EMPÍRICO DNER (1981)                       |                  | Area = | 1,00                       | m²                   |
| Descrição:           | CUSTO UNITÁRIO                                    |                  |        |                            |                      |
| Local:               | OESTE PARANENSE (DER-PR)                          |                  |        |                            |                      |
| ITEM                 | DESCRIÇÃO                                         | UNI              | QUANT  | PREÇO UNITÁRIO<br>MDO+MAT. | PREÇO TOTAL MDO+MAT. |
| 01 SERVIÇOS          |                                                   |                  |        |                            |                      |
| 500000               | Escarificação e remoção revestimento primário     | m²               | 1,00   | R\$ 2,49                   | R\$ 2,49             |
| 511100               | Regularização compac.subleito 100% PN (A)         | m²               | 1,00   | R\$ 2,46                   | R\$ 2,46             |
| 532000               | Macadame hidráulico                               | m³               | 0,16   | R\$ 82,14                  | R\$ 13,14            |
| 531100               | Brita graduada 100% PM                            | m³               | 0,16   | R\$ 95,72                  | R\$ 15,32            |
| 560400               | Imprimação impermeab. exclusive fornec. do CM     | m²               | 1,00   | R\$ 0,28                   | R\$ 0,28             |
| 561100               | Pintura de ligação exclusive fornec. da emulsão   | m²               | 1,00   | R\$ 0,19                   | R\$ 0,19             |
| 570400               | C.B.U.Q. excl. fornec. do CAP (acima de 10.000 t) | ton              | 0,26   | R\$ 107,87                 | R\$ 27,51            |
|                      |                                                   | Sub-Total Item 1 |        |                            | R\$ 61,39            |
| 02 LIGANTES          |                                                   |                  |        |                            |                      |
| 589100               | Asfalto diluído de petróleo CM-30                 | ton              | 0,0015 | R\$ 4.464,11               | R\$ 6,70             |
| 589420               | Emulsão asfáltica de ruptura rápida RR-1C         | ton              | 0,0005 | R\$ 2.307,86               | R\$ 1,15             |
| 589000               | Cimento asfáltico de petróleo CAP 50/70           | ton              | 0,0153 | R\$ 2.956,34               | R\$ 45,23            |
|                      |                                                   | Sub-Total Item 2 |        |                            | R\$ 53,08            |
| TOTAL DOS SERVIÇOS   |                                                   |                  |        | R\$ 114,47                 |                      |

APÊNDICE 1 – Planilha de orçamentos;

| PLANILHA DE SERVIÇOS |                                                   |     |        |                            |                      |
|----------------------|---------------------------------------------------|-----|--------|----------------------------|----------------------|
| Obra:                | MÉTODO EMPÍRICO-MECANÍSTICO SISPAV (2007)         |     | Area = | 1,00                       | m²                   |
| Descrição:           | CUSTO UNITÁRIO                                    |     |        |                            |                      |
| Local:               | OESTE PARANENSE (DER-PR)                          |     |        |                            |                      |
| ITEM                 | DESCRIÇÃO                                         | UNI | QUANT  | PREÇO UNITÁRIO<br>MDO+MAT. | PREÇO TOTAL MDO+MAT. |
| 01 SERVIÇOS          |                                                   |     |        |                            |                      |
| 500000               | Escarificação e remoção revestimento primário     | m²  | 1,00   | R\$ 2,49                   | R\$ 2,49             |
| 511100               | Regularização compac.subleito 100% PN (A)         | m²  | 1,00   | R\$ 2,46                   | R\$ 2,46             |
| 532000               | Macadame hidráulico                               | m³  | 0,20   | R\$ 82,14                  | R\$ 16,43            |
| 531100               | Brita graduada 100% PM                            | m³  | 0,20   | R\$ 95,72                  | R\$ 19,14            |
| 560400               | Imprimação impermeab. exclusive fornec. do CM     | m²  | 1,00   | R\$ 0,28                   | R\$ 0,28             |
| 561100               | Pintura de ligação exclusive fornec. da emulsão   | m²  | 1,00   | R\$ 0,19                   | R\$ 0,19             |
| 570400               | C.B.U.Q. excl. fornec. do CAP (acima de 10.000 t) | ton | 0,19   | R\$ 107,87                 | R\$ 20,63            |
|                      | Sub-Total Item 1                                  |     |        | R\$ 61,62                  |                      |
| 02 LIGANTES          |                                                   |     |        |                            |                      |
| 589100               | Asfalto diluído de petróleo CM-30                 | ton | 0,0015 | R\$ 4.464,11               | R\$ 6,70             |
| 589420               | Emulsão asfáltica de ruptura rápida RR-1C         | ton | 0,0005 | R\$ 2.307,86               | R\$ 1,15             |
| 589000               | Cimento asfáltico de petróleo CAP 50/70           | ton | 0,0115 | R\$ 2.956,34               | R\$ 33,92            |
|                      | Sub-Total Item 2                                  |     |        | R\$ 41,77                  |                      |
| TOTAL DOS SERVIÇOS   |                                                   |     |        | R\$ 103,39                 |                      |