

3.4. – PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO

3.4.1. - Introdução

O **Projeto de Pavimentação** foi desenvolvido visando a concepção e a definição de um pavimento com estrutura devidamente qualificada para suportar as cargas a serem impingidas pelos veículos comerciais pesados ao longo de uma duração de vida de 10 anos, garantindo conforto, segurança e economia aos usuários. Desse modo, o objetivo do presente projeto concerne da elaboração de um projeto de **Aproveitamento do acostamento para implantação de terceira faixa** na rodovia BR-020, compreendida entre o Balão do Colorado e Planaltina, Distrito Federal, na qual ao longo da extensão observa-se a presença de faixas de aceleração e desaceleração, além de uma terceira faixa na pista sul, locais estes que não fazem parte do presente projeto. A localização e o redor da rodovia BR-020 é ilustrada na imagem a seguir:



Figura 1 – Trecho em Estudo – BR-020

Posto isso, o Projeto de Aproveitamento do Acostamento para Implantação de Terceira Faixa na rodovia BR-020 foi desenvolvido a partir dos seguintes elementos:

- Análise das condições estruturais do pavimento do acostamento existente através dos resultados obtidos no levantamento deflectométrico – **Falling Weight Deflectometer (FWD)**;
- Estudos das camadas granulares e de subleito do acostamento existente recolhidas através de janelas de inspeção, com vistas às definições de suas características granulométricas, de plasticidade, de expansão e de capacidade de suporte;

O projeto foi desenvolvido ainda com base na estimativa da solicitação do pavimento pelas cargas do tráfego, expressas pelo Número "N" – número de solicitações do eixo simples padrão de rodas duplas de 8,2 t – determinado com base nos fatores de equivalência do USACE e da AASHTO; a quantificação dessas cargas ao longo da prestação de serviços da estrutura e de seus correspondentes efeitos destrutivos foram tidos em conta no dimensionamento do pavimento novo.

Para o efeito, selecionou-se o Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis do DNIT e promoveu-se, complementarmente, uma avaliação da solução preconizada pelo Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis do DNIT por meio de critérios modernos de estruturação, alicerçados na compatibilização entre os esforços atuantes (tensões/extensões horizontais de tração na base da camada de revestimento e tensões/extensões verticais de compressão no solo de fundação) e os esforços resistentes, intrínsecos a cada material. Para o efeito, selecionou-se a metodologia de análise mecânica calcada no programa de cálculo

analítico denominado Programa de Análise Elástica de Múltiplas camadas (AEMC) desenvolvido para uso como um componente nos programas MeDiNa e BackMeDiNA com uma estrutura geral de cálculo que utiliza a integração de Gauss-Laguerre nos cálculos das equações integrais. Ambas Metodologias citadas acima e seus resultados obtidos são apresentados a seguir para o trecho em questão.

3.4.2. – Análise Estrutural do Acostamento Existente

3.4.2.1. – Metodologia

3.4.2.1.1. – Levantamento Deflectométrico



Figura 2 – FWD: Falling Weight Deflectometer

As solicitações usualmente impostas a um pavimento rodoviário são de natureza dinâmica e apresentam particularidades pertinentes às diferenças apresentadas pelos distintos veículos usuários. Entretanto, para a determinação das características de deformabilidade elástica, faz-se necessário definir as condições da carga representativa, fundamentalmente no que diz respeito às características geométricas, à magnitude e ao tempo de aplicação de carga.

De acordo com o exposto acima, justifica-se a utilização do Falling Weight Deflectometer – FWD com o objetivo de se caracterizar, com propriedade satisfatória, os parâmetros tradutores da deformabilidade elástica do sistema estratificado composto pelo conjunto pavimento – solo de fundação, a partir da definição da geometria da impressão de contato, da pressão vertical de contato imposta na interação pneu-pavimento e do tempo de aplicação da carga dos veículos característicos ao trecho rodoviário.

O FWD possibilita obter não só a deflexão reversível máxima como também as linhas de influência dos assentamentos reversíveis como consequência da aplicação de uma carga dinâmica - tempo de aplicação da ordem dos 2 centésimos de segundo – de 41kN. A partir desses resultados obtidos é possível realizar o cálculo do raio de curvatura da bacia de deformação e essencialmente, conhecendo-se a estrutura estratificada do pavimento-solo de fundação, é possível determinar os valores modulares de cada uma das camadas que compõem o sistema pavimento-solo de fundação, através do processo conhecido como retroanálise, parâmetros esses imprescindíveis para subsidiar um projeto de restauração com avaliações mecanísticas.

Complementarmente, os ensaios foram realizados com espaçamento de 40 (quarenta) em 40 (quarenta) metros no acostamento existente, com a medição das deflexões em 7 pontos – o primeiro localizado sob o centro de aplicação da carga (deflexão reversível máxima) e os demais distribuídos ao longo de uma barra de sustentação de modo a permitir a perfeita definição da bacia de deflexão. Todas as estações de ensaio são georreferenciadas, o que permite a perfeita localização do levantamento.

3.4.2.1.2. – Caracterização das Solicitações Rodoviárias

As solicitações usualmente impostas a um pavimento rodoviário são de natureza dinâmica e apresentam particularidades pertinentes aos distintos veículos usuários. Assim, para a determinação das características estruturais do pavimento existente e dos esforços solicitantes que se desenvolverão no seio de suas camadas e no solo de fundação, faz-se necessário definir as condições representativas da carga-padrão operante, fundamentalmente no que diz respeito às suas magnitudes e tempos de aplicação de carga e às características geométricas de suas distribuições (impressões de contato).

Com este objetivo, e tendo em conta a importância de se caracterizar com bastante propriedade os parâmetros tradutores do comportamento estrutural do sistema estratificado composto pelo conjunto pavimento – solo de fundação torna-se imprescindível promover estudos para se definir as características representativas da geometria da impressão de contato, da pressão vertical imposta na interação pneu-pavimento e do tempo de aplicação da carga dos veículos da frota comercial brasileira.

3.4.2.1.3. – Definição da Geometria da Carga Representativa

Quanto à forma e às dimensões da superfície de contato pneu-pavimento, não se podem considerar numerosos os estudos experimentais dedicados a esse tema. De uma maneira geral, pesquisadores e estudiosos têm-se limitado a afirmar que existe certa tendência da impressão de contato acontecer sob a forma **circular**. De acordo com Matthew Witczak, embora na maioria dos casos se assumam impressões de forma circular pode-se, em alguns casos, se admitir impressões em forma de **elipsoide**, “figura composta por um retângulo complementado lateralmente por dois semiarcos abatidos”.

Desta forma, com o objetivo de se avaliar um pouco melhor a geometria das cargas impostas por um caminhão eixo-tandem duplo carregado, promoveu-se uma série de ensaios para obtenção das impressões no contato transmitidas por um conjunto de rodas gêmeas (semieixo traseiro). Nestes estudos, considerando pneus inflados com distintas pressões de enchimento, sob diversos tempos de aplicação de carga, pôde-se constatar, para o eixo-padrão (eixo simples, rodas duplas, carga por eixo de 80 kN e pressão de enchimento dos pneus variando de 80 a 100 psi), que:

- baixas pressões de enchimento e tempos de carga elevados, revelam contornos em geral irregulares e distribuições da pressão de contato não uniformes, com maior concentração nos flancos do que no centro do pneu;
- elevadas pressões de enchimento e tempos de carga reduzidos – da ordem de 1 segundo – revelam contornos bem definidos, de forma sensivelmente circular e praticamente sem concentrações nos flancos dos pneus.

Os resultados das experimentações efetuadas evidenciaram uma tendência de impressão circular conforme ilustrado na figura apresentada a seguir:

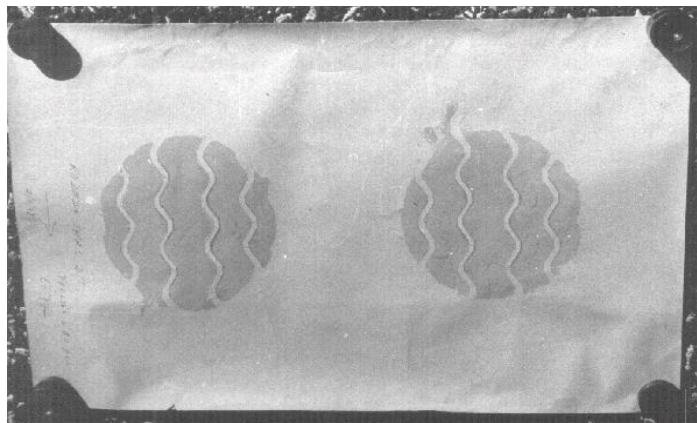


Figura 3 - Impressões de contato pneu-pavimento obtidas com pressões de enchimento de 80 a 100 psi com tempos de aplicação de carga reduzidos (da ordem de 1 segundo)

evidenciando que as cargas rápidas impostas pelo tráfego pesado usuário se distribuem em áreas sensivelmente circulares e, de certa forma, substancialmente uniformes. Os resultados obtidos permitiram definir que as impressões de contato das rodas gêmeas de um eixo “tandem” duplo poderiam ser representadas por áreas circulares com raios $r = 10,8 \text{ cm}$, distanciadas entre si – de bordo a bordo – de distâncias da ordem de $10,4 \text{ cm}$.

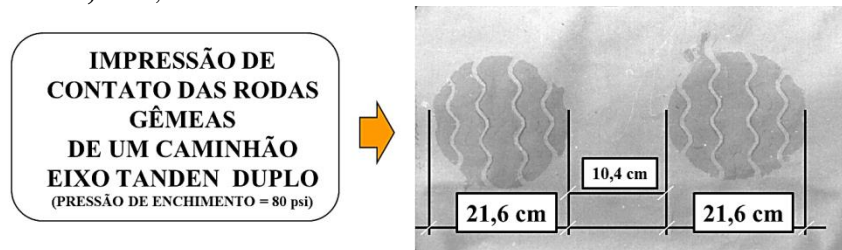


Figura 4 - Configuração geométrica das impressões de contato

3.4.2.1.4. – Definição da Pressão Vertical de Contato

Para definição da pressão de contato pneu-pavimento, ignorados os eventuais efeitos de concentração de tensões junto aos flancos dos pneus, têm sido usualmente considerado que a pressão de contato tende a ser similar à pressão de enchimento. Entretanto, de forma a se avaliar essa admissão – muitas vezes extremamente importante – procurou-se cotejar os resultados experimentais obtidos com as características técnicas estabelecidas pelos fabricantes para os veículos comerciais brasileiros – eixo “tandem” duplo com pressões de enchimento médias dos pneus (80 a 100 psi) para cargas por eixo compreendidas no intervalo limitado pelo eixo-padrão de 8,2 t e pelo eixo legal de 10,0 t – contemplando condições de carregamento distintas (carregado e vazio):

QUADRO 1 PRESSÃO DE ENCHIMENTO DOS PNEUS X ÁREA DE CONTATO PNEU-PAVIMENTO		
Área de Contato Pneu- Pavimento	Pressão de Enchimento (Eixo Tandem Duplo - Pneu Convencional)	
	80 psi (5,62 kgf/cm ²)	100 psi (7,03 kgf/cm ²)
	415,48 cm ² (r = 11,5 cm)	346,36 cm ² (r = 10,5 cm)

QUADRO 2 PRESSÃO DE ENCHIMENTO X PRESSÃO DE CONTATO			
Área de Contato Pneu-Pavimento	Condições de Carregamento	Pressão de Enchimento (Eixo Tandem Duplo - Pneu Convencional)	
	Vazio	78 psi 5,48 cm ² (r = 10,91 cm)	92 psi 6,47 cm ² (r = 10,04 cm)
	Carregado	93 psi 6,54 cm ² (r = 9,99 cm)	101 psi 7,10 cm ² (r = 9,58 cm)

as quais evidenciaram que, quaisquer que fossem as condições de carregamento, os raios das impressões de contato variariam de **9,58 cm a 11,5 cm**, extremos não refinados que conduzem a um valor médio da ordem de **10,5 cm**. Com base em tais resultados, julgou-se bastante válida a existência de similaridade entre as pressões de enchimento e de contato, os quais vieram também afiançar as experimentações de campo, as quais revelaram impressões de contato das rodas gêmeas de um eixo “tandem” duplo carregado representadas por áreas circulares com raios $r = 10,8 \text{ cm}$.

Assim, ao se considerar a impressão de contato circular como representativa das condições de solicitação, a aplicação pura e simples do princípio de distribuição de carga por unidade de área permite a definição da pressão de contato de forma analítica:

$$\sigma_c = \frac{P}{S}$$

onde:

- σ_c = pressão de contato ou carga por unidade de área (kgf/cm²);
- P = carga por roda individual (kgf);

- S = área da impressão de contato (cm^2).

Portanto, considerando o carregamento padrão (carga por eixo de 8,2 toneladas), uniformemente distribuído sobre um eixo simples de rodas gêmeas – sob tais condições a carga pertinente a cada roda é igual a 2050 kgf – e as impressões de contato das rodas gêmeas sensivelmente circulares, representadas por raios médios da ordem de 10,8 cm, pôde-se calcular, de acordo com a expressão matemática anterior, a ordem de grandeza das pressões de contato impingidas pelos pneus ao pavimento:

$$\sigma_c = \frac{P}{\pi x r^2} = \frac{2050}{3,1416 x (10,8)^2} = 5,6 \text{ kgf/cm}^2$$

3.4.2.1.5. – Definição do Tempo de Aplicação de Carga

Para definição do tempo de aplicação das cargas rodoviárias impingidas pelos veículos comerciais ao pavimento basta se considerar por quanto tempo um determinado elemento superficial (unitário) disposto na superfície de um pavimento é realmente solicitado, atuação esta que é definida pelo tempo necessário para uma impressão de contato do pneu-pavimento transladar sobre o elemento unitário considerado (“entrar de um lado e sair do outro”); para esse cálculo, basta se definir a velocidade média de percurso dos veículos pesados e o diâmetro de suas respectivas impressões de contato.

Para a definição da **velocidade média** de percurso dos veículos comerciais procurou ter-se em conta concomitantemente a enorme evolução tecnológica experimentada pela indústria automobilística, traduzida por uma busca intensa de perfeitas relações potência/peso, associadas às condições usuais de operação, às características medianas dos traçados planialtimétricos e à densidade média do tráfego usuário. Com base em todas estas considerações julgou-se poder estimar a **velocidade média** de percurso dos veículos comerciais carregados ao longo da *rede rodoviária brasileira* como sendo da ordem de $v = 80 \text{ km/h}$.

Para esta velocidade média, considerando como representativa a impressão de contato determinada experimentalmente, com diâmetro médio igual a **21,6 cm**, pôde-se então calcular o tempo que cada elemento unitário da superfície do pavimento permanece sob carga; o valor obtido para o tempo de aplicação de carga foi $t_c = 0,01$ segundos, ao qual corresponde uma frequência de solicitação da ordem de $f = 15,89 \text{ Hz}$:

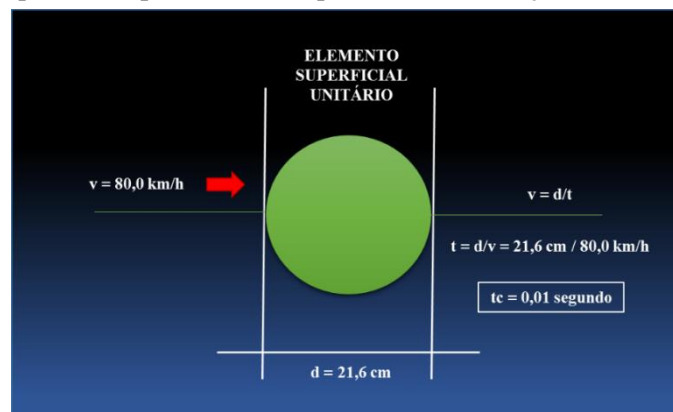


Figura 5 - Tempo de aplicação de uma carga móvel rolante sobre um elemento superficial unitário

3.4.2.1.6. – Definição das Condições de Carga no FWD

Com base na caracterização das solicitações representativas do tráfego que incide sobre a estrutura rodoviária, torna-se fundamentalmente importante ajustar o deflectógrafo *Falling Weight Deflectometer* – *FWD* de forma a permiti-lo processar uma adequada simulação das cargas representativas das rodovias brasileiras (magnitude e tempo de aplicação). Assim sendo, a exigência maior seria a imposição de uma carga dinâmica capaz de garantir uma pressão de solicitação da ordem de $\sigma_c = 5,6 \text{ kgf/cm}^2$, durante um tempo da ordem de $t_c = 0,01/0,02 \text{ segundos}$.

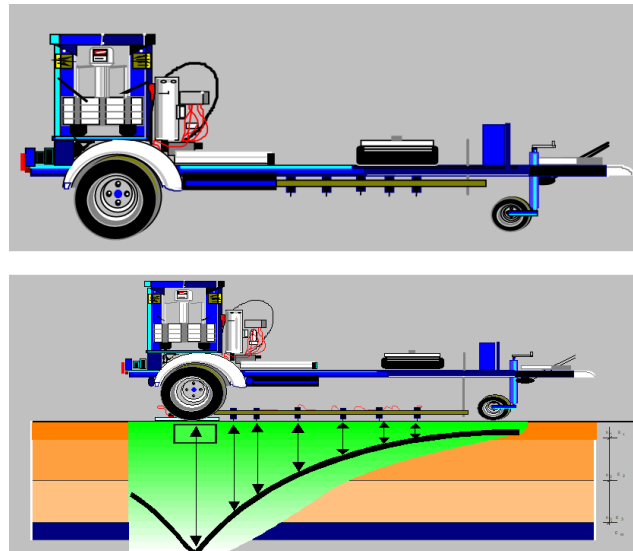


Figura 6 - Representação esquemática do *Falling Weight Deflectometer* (FWD) e da linha de influência dos assentamentos reversíveis

Contudo, diferentemente das rodas gêmeas do eixo traseiro de um caminhão, o *Falling Weight Deflectometer* foi concebido para promover um carregamento dinâmico com carga única distribuída sobre uma área circular, o qual admite a imposição de diferentes magnitudes de carregamento. No âmbito da presente metodologia teve-se ainda o cuidado de se avaliar as diferenças entre as solicitações impostas por um caminhão em movimento *retilíneo sobre pneumáticos* e o ensaio dinâmico realizado pelo FWD: nos veículos móveis a energia cinética está intrinsecamente ligada ao valor da massa do corpo e à velocidade de seu movimento, neste caso, movimento harmônico simples – ET (energia total) = EP (energia potencial) + EC (energia cinética) – enquanto o FWD aplica uma energia potencial gravitacional, nesse caso *corpo em queda livre* – $ET = EPG$ (Energia Potencial Gravitacional). Esta questão, difícil de ser resolvida em face dos equipamentos aplicados, se viu entretanto minimizada, haja vista que os resultados obtidos com o FWD são protegidos pelo conservadorismo – energia de solicitação bastante mais severa – ou seja, a intensidade de solicitação é mais acentuada, ficando seus resultados a favor da segurança.

Portanto, para se realizar ensaios de caracterização estrutural de pavimentos, tornou-se de fundamental importância o emprego de placas circulares que, embora atuando individualmente, fossem capazes de transmitir pressões de contato da ordem dos $5,6 \text{ kgf/cm}^2$. Para o efeito, considerando que um semieixo traseiro é composto por um par de rodas gêmeas para solicitar o pavimento e que o FWD só admite carregamento único, a forma de se simular as solicitações rodoviárias consistiu em se aplicar no FWD uma carga de 4100 kgf – soma das cargas correspondentes ao par de rodas gêmeas – sobre uma placa circular que apresentasse área compatível para aplicar uma pressão de solicitação de $\sigma_c = 5,6 \text{ kgf/cm}^2$ ao pavimento.

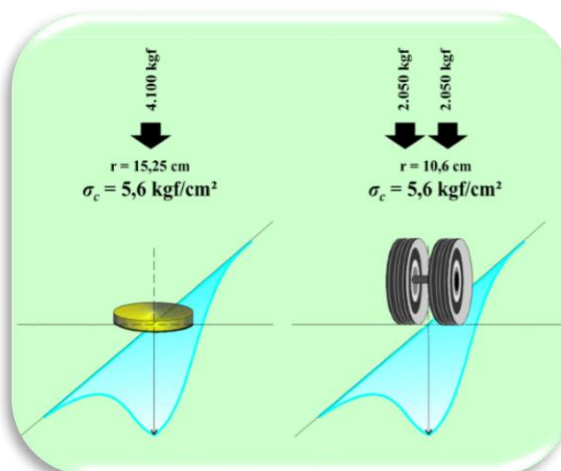


Figura 7 - Simulação das condições de aplicação de cargas pelo FWD e pelo conjunto de rodas gêmeas de um semieixo rodoviário

Para se definir o raio adequado da placa circular bastou considerar, com base na expressão anterior, ser ele definido por:

$$r = \sqrt{\frac{P}{\pi \times \sigma_c}}$$

ou seja,

$$r = \sqrt{\frac{4.100}{\pi \times 5,60}} = 15,25 \text{ cm}$$

De forma, portanto a se obter a correspondência desejada, deve-se dotar o FWD, para ensaios em pavimentos rodoviários, de uma placa circular de $r = 15,25 \text{ cm}$ ($\phi = 12''$).

Garantida, portanto uma pressão de contato análoga àquela pré-definida: $\sigma = 5,6 \text{ kgf/cm}^2$, o passo seguinte consistiu na ajustagem do tempo de aplicação de carga. Nesta etapa, os trabalhos concentraram-se, fundamentalmente, na adaptação do software de comando eletrônico de leitura, o qual foi ajustado para tempos de carga variando entre 0,01s e 0,02 segundos; este ajuste foi promovido para todos os 7 geofones do FWD (sensores) que compõem o FWD; para a ajustagem dos pesos que caem (*Falling Weight*) são utilizadas células de carga (*Load cell*) as quais devem **ser previamente calibradas e terem suas aferições verificadas também pelos valores registrados pelo FWD a cada ensaio.**

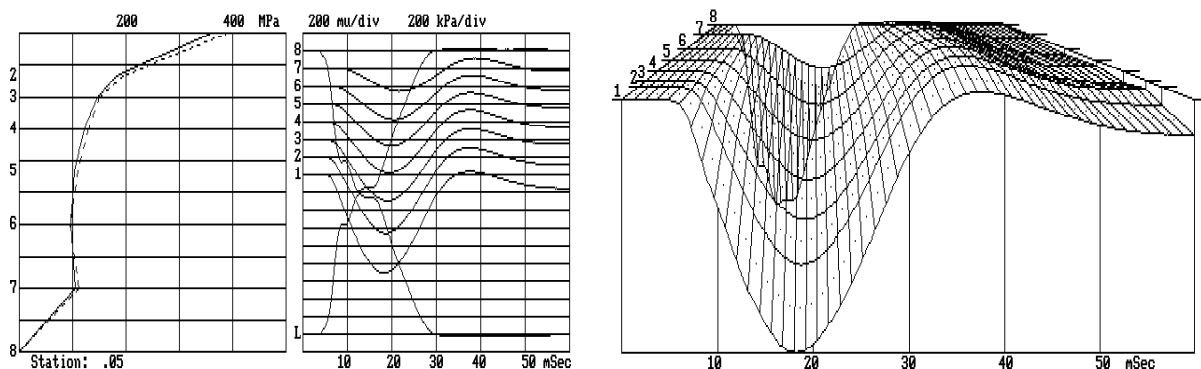


Figura 8 - Registro da magnitude e do tempo de aplicação de carga em cada geofone e delineação dos respectivos assentamentos reversíveis

3.4.2.1.7. – Definição do Posicionamento Longitudinal dos Geofones

Antes da realização dos ensaios, tornou-se necessário definir o posicionamento dos geofones em relação ao centro de aplicação de carga. Nesta definição, o aspecto mais importante reside no conhecimento preliminar do tipo de pavimento a analisar: se se trata de um pavimento flexível, as bacias de deformação são mais acentuadas, se dispondo em zonas de influência mais concentradas (menos abrangentes); se se trata de pavimento rígido, acontece exatamente o oposto, com as bacias de deformação menos acentuadas se distribuindo em grandes extensões (mais espraçadas), derivadas da maior capacidade de carga (maior rigidez) da camada de concreto de cimento Portland.

No caso presente, procurou-se adotar posicionamentos dos 7 geofones captadores das deflexões reversíveis do FWD de forma a se obter maior grau de precisão nas linhas de influência a serem medidas em pavimentos flexíveis. Para o efeito, tendo em conta as características de flexibilidade dos materiais constituintes das camadas do pavimento existente e também do solo de fundação, adotou-se os posicionamentos recomendados pelo **Programa SHRP**; as posições são indicadas no quadro a seguir.

QUADRO 3 DISPOSIÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS GEOFONES		
Geofone N°	Denominação da Deflexão Reversível	Distância em Relação ao Centro da Placa (cm)
1	D ₀	0
2	D ₂₀	20
3	D ₃₀	30
4	D ₄₅	45
5	D ₆₀	60
6	D ₉₀	90
7	D ₁₂₀	120

3.4.2.1.8. – Definição das Condições de Carga no FWD

De acordo com a metodologia proposta, o procedimento ideal consistiria em se promover medições em processo de varredura métrica. Entretanto, devido à dificuldade executiva que limita a aplicação do FWD, a alternativa que se apresentou foi a de se processar uma medição das linhas de influência a cada 20m, dispostas alternadamente em relação às faixas de tráfego; a admissão dessa estratégia de avaliação encontrou respaldo em praticamente todas as bibliografias consultadas, as quais consideram essa repetibilidade bastante e suficiente para caracterizar as características de deformabilidade de um pavimento rodoviário.

No caso da metodologia Paragon, para se processar a demarcação das estacas a cada 20 m – tarefa sempre morosa e substancialmente imprecisa quando feita por caminhamento – desenvolveu-se um equipamento eletrônico - *Automated Mark System* – o qual é dotado de um encoder ótico que permite marcações com precisão milimétrica:

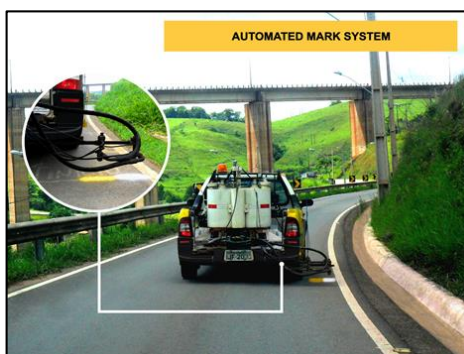


Figura 9 - Equipamento de demarcação viária *Automated Mark System*

3.4.2.1.9. – Definição dos Parâmetros a Serem Obtidos com o FWD

Os projetistas do *Falling Weight Deflectometer*, conhecedores profundos da imperiosa necessidade de se promover uma adequada caracterização de pavimentos rodoviários, resolveram dotá-lo de aparelhagem ultra sofisticada, capaz de processar - automaticamente - as leituras, medições e armazenagem das deflexões reversíveis acusadas pelos sete geofones quando da aplicação de uma carga dinâmica, com duração da ordem de 0,01 a 0,02 segundos; para determinação dos parâmetros tradutores da resposta do sistema estratificado elástico às solicitações de natureza dinâmica, proveram o FWD de uma série de 7 sensores sísmicos (ou "geofones"), ajustáveis a distâncias desejadas.

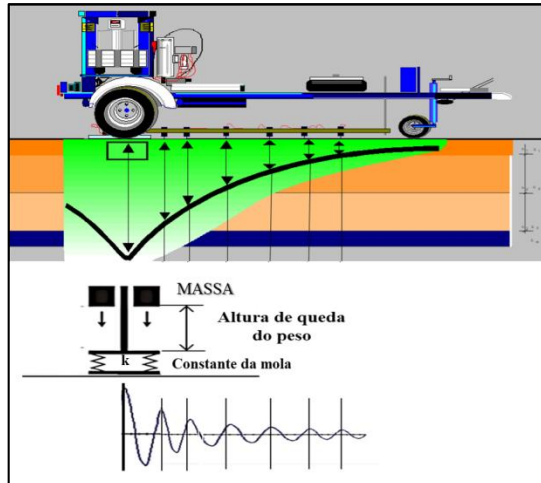


Figura 10 - Registro a velocidade de vibração imposta à estrutura por uma carga dinâmica e definição dos picos máximos da onda gerada a distintas distâncias do centro de aplicação de carga

Para medição da temperatura na superfície do pavimento, dotaram o equipamento de um termômetro ultrasensível do tipo emissor-captador de luz infravermelha. Para a determinação da temperatura do ar ambiente, foi acoplado um sistema termoelétrico, vinculado através de interface ao sistema computacional de bordo. Para avaliação da magnitude da carga dinâmica aplicada, compõe ainda o FWD uma célula de carga (load cell) de alta precisão.

Por outro lado, merece ainda destaque a existência de um "distanciômetro" que integra o deflectômetro FWD. Trata-se de um equipamento eletromecânico que apresenta uma precisão de 5/1000, ou seja, admite um erro máximo de 5m a cada quilômetro, que permite definir o local exato dos ensaios a serem efetuados. A ressaltar, finalmente, o fato de todos os equipamentos e aparelhagem componentes do FWD estarem diretamente conectados ao sistema computacional de bordo e de serem automaticamente acionados quando da realização de cada ensaio.

Com base nos equipamentos componentes, são normalmente medidos e armazenados os seguintes parâmetros:

- o registro da magnitude e do tempo de aplicação de carga;
- o registro da lei de variação dos assentamentos reversíveis experimentados pelos 7 geofones durante a aplicação da carga;
- o delineamento dos valores máximos dos assentamentos reversíveis captados no centro e à distintas distâncias do centro da aplicação da carga, bases referenciais para o estabelecimento da configuração grafo-analítica de toda a linha de influência e o valor específico da deflexão reversível máxima – $D_{máx}$.

3.4.2.1.10. – Raio de Curvatura

O cálculo do raio de curvatura das linhas de influência dos assentamentos reversíveis foi processado de acordo com recomendações do DNIT através da admissão de uma aproximação geométrica pela qual se admite que a variação das deflexões dispostas nas proximidades do eixo de aplicação da carga é regida pela curvatura de uma parábola do 2º grau. A partir da admissão dessa lei disciplinadora, o conhecimento da deflexão máxima (D_0) e de mais uma deflexão sequencial distante de um espaçamento definido (D_x), permite calcular o raio de curvatura do arco parabólico, o qual é associado ao raio de curvatura da bacia de deformação conforme ilustrado a seguir:

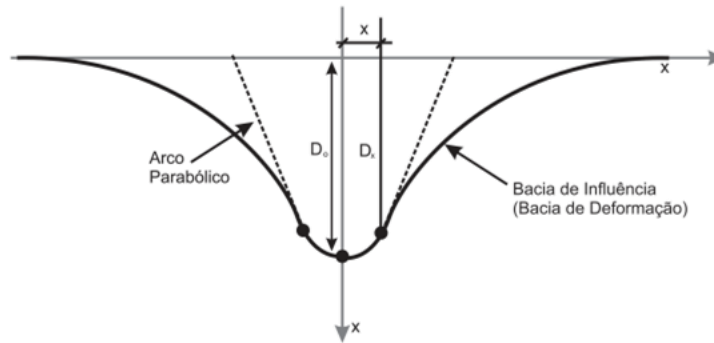


Figura 11 – Representação Gráfica do Raio de Curvatura

Assim, considerando a deflexão máxima – D_0 e uma deflexão D_x distanciada de uma abscissa x – o raio de curvatura pode ser definido pela equação a seguir descrita:

$$R = \frac{x^2}{2(D_0 - D_x)}$$

Como a exigência é de que o raio seja expresso em metros, a retromencionada equação parabólica toma a forma:

$$R = \frac{10x^2}{2(D_0 - D_x)}$$

Assim considerando, embora o DNIT mencione que o raio de curvatura de uma linha de influência possa ser calculado considerando a distância $x = 25$ cm, não se trata de uma determinação. Esta sábia não determinação decorre do conhecimento de que a representação da curvatura de uma parábola do 2º grau é tão mais correta quanto o ponto considerado se encontra de seu vértice (da deflexão reversível máxima). Assim considerando, e tendo em conta que as medições processadas pelos geofones do FWD mais próximas do centro de aplicação de carga são D_0 e D_{20} , a equação anterior, considerando a linha de influência obtida com o FWD se escreve:

$$R = \frac{4000}{2(D_0 - D_{20})}$$

3.4.2.2. – Análise dos resultados obtidos pelo Levantamento Deflectométrico

A análise dos resultados obtidos para o Levantamento Deflectométrico executado pelo Falling Weight Deflectometer (FWD) é de extrema importância para o conhecimento acerca da qualidade e condições da estrutura do pavimento do acostamento existente. Os resultados obtidos permitiram a definição das deflexões reversíveis máximas medidas a cada 40 metros, e foram mostrados próximo item do presente relatório em tabelas similares à ilustrada a seguir:

LEVANTAMENTO DEFLECTOMÉTRICO (FWD)													
RODOVIA: BR-020		EXTENSÃO TRECHO: 24,542 km											
TRECHO: Entr. DF-003 (Balão do Colorado) - Sobradinho - Planaltina												PISTA: Norte	
DISTÂNCIA (km)	ESTACA DE LEVANTAMENTO	PRESSÃO NOM. (kPa)	CARGA NOM. (kN)	TEMPERATURA (°C)		DEFLEXÕES (0,01 mm)							RAIO DE CURVATURA (m)
				Ar	Sup	D0	D20	D30	D45	D65	D90	D120	
0,000	0 + 0,0	585	41	30	47	46,3	29,5	21,8	15,4	10,1	7,6	5,8	119,0
0,040	2 + 0,0	585	41	30	47	44,4	29,1	21,2	14,4	8,4	6,2	4,7	130,7
0,080	4 + 0,0	588	42	30	47	47,6	30,6	22,8	15,9	9,7	7,0	5,4	117,6
0,121	6 + 1,0	580	41	30	47	38,7	25,9	19,3	13,8	8,9	6,8	5,5	156,3
0,160	8 + 0,0	586	41	30	47	43,9	27,4	19,6	13,8	8,9	6,9	5,5	121,2
0,200	10 + 0,0	574	41	30	47	50,3	34,0	25,7	18,0	10,7	7,5	5,7	122,7
0,240	12 + 0,0	566	40	30	47	47,5	31,0	22,6	16,0	10,2	7,7	6,1	121,2
0,280	14 + 0,0	556	39	30	47	47,1	27,5	18,6	12,3	7,4	5,6	4,4	102,0
0,320	16 + 0,0	554	39	30	47	39,9	26,0	18,5	11,6	5,9	3,7	3,0	143,9
0,360	18 + 0,0	596	42	30	47	31,5	20,9	16,5	11,2	5,9	3,3	2,3	188,7
0,400	20 + 0,0	600	42	30	47	26,2	18,1	15,0	11,0	8,0	6,1	4,2	246,9
0,440	22 + 0,0	608	43	30	47	24,2	14,1	11,1	7,9	5,1	3,8	3,1	198,0
0,480	24 + 0,0	591	42	30	47	20,1	12,2	10,0	7,4	4,8	3,5	2,7	253,2
0,522	26 + 2,0	612	43	30	47	24,0	14,4	11,4	8,1	4,2	3,3	2,7	208,3
0,560	28 + 0,0	601	42	30	47	28,9	18,2	14,5	10,4	5,9	4,1	2,9	186,9
0,600	30 + 0,0	605	43	30	47	26,1	18,0	15,0	11,0	7,1	4,9	3,4	246,9
0,640	32 + 0,0	597	42	29	46	42,8	28,5	21,6	14,7	8,4	5,5	3,6	139,9
0,680	34 + 0,0	594	42	29	46	33,4	22,7	19,0	13,5	8,6	6,1	4,3	186,9
0,720	36 + 0,0	596	42	29	46	42,2	28,3	22,5	16,3	10,5	7,1	5,3	143,9
0,760	38 + 0,0	598	42	29	46	33,8	23,3	19,7	15,2	10,6	7,7	5,8	190,5
0,800	40 + 0,0	588	42	29	46	39,2	27,6	21,7	15,0	9,0	6,2	4,5	172,4
0,840	42 + 0,0	586	41	29	46	41,9	28,7	21,9	15,1	9,3	6,7	5,0	151,5
0,880	44 + 0,0	590	42	29	46	37,0	25,7	19,8	14,0	8,9	6,3	4,8	177,0
0,920	46 + 0,0	589	42	29	46	40,8	28,5	22,4	16,7	10,6	7,5	5,6	162,6
0,960	48 + 0,0	591	42	29	46	41,9	29,7	24,4	17,9	11,8	8,3	6,3	163,9
1,000	50 + 0,0	580	41	29	46	44,5	32,1	26,1	19,2	12,8	9,2	7,0	161,3
1,040	52 + 0,0	584	41	29	46	45,0	27,5	21,6	15,8	10,5	7,7	6,1	114,3
1,080	54 + 0,0	605	43	29	46	30,7	23,1	20,0	16,8	12,8	9,4	6,7	263,2
1,120	56 + 0,0	600	42	29	46	30,4	22,8	19,6	16,0	12,6	9,6	7,2	263,2
1,160	58 + 0,0	596	42	29	46	33,0	23,3	20,4	16,5	11,9	8,9	6,5	206,2
1,200	60 + 0,0	584	41	29	46	51,5	35,0	27,0	20,1	12,7	9,4	7,4	121,2
1,240	62 + 0,0	584	41	29	46	54,1	37,5	29,5	21,4	12,3	8,0	5,6	120,5
1,280	64 + 0,0	575	41	29	46	67,1	49,0	40,8	30,6	18,1	11,8	8,2	110,5
1,320	66 + 0,0	593	42	29	46	46,4	34,2	27,7	21,2	13,7	9,5	7,1	163,9
1,361	68 + 1,0	597	42	29	46	43,0	32,0	27,0	21,6	14,2	9,9	7,3	181,8

Figura 12 – Representação dos resultados obtidos no levantamento deflectométrico

Os dados obtidos mostram que os valores das deflexões reversíveis máximas para os acostamentos das pistas norte e sul são, em geral, consideravelmente baixos, com média de 44,2 na Pista Norte e 58,9 na Pista Sul. Por sua vez, os valores calculados para o raio de curvatura das bacias de deflexão se mostram em sua maioria maiores que 100, com média de 187,5 na Pista Sul e 159,4 na Pista Norte.

Os dados supracitados são detalhados na tabela a seguir:

QUADRO 4		
Estatísticas do levantamento Deflectométrico – BR-020		
	Pista Norte	Pista Sul
Média D0 (0,01 mm)	44,2	58,9
Média Raio de Curvatura (m)	159,4	187,5
Razão de Raio > 100 (%)	76,47%	62,93%
Deflexão Característica (0,01 mm)	53,97	81,61

Posteriormente, de forma a se tratar mais detalhadamente os valores das deflexões obtidas pelo levantamento deflectométrico, buscou-se identificar segmentos onde os valores das deflexões se comportam de forma semelhante. Dessa forma, os seguintes segmentos foram identificados:

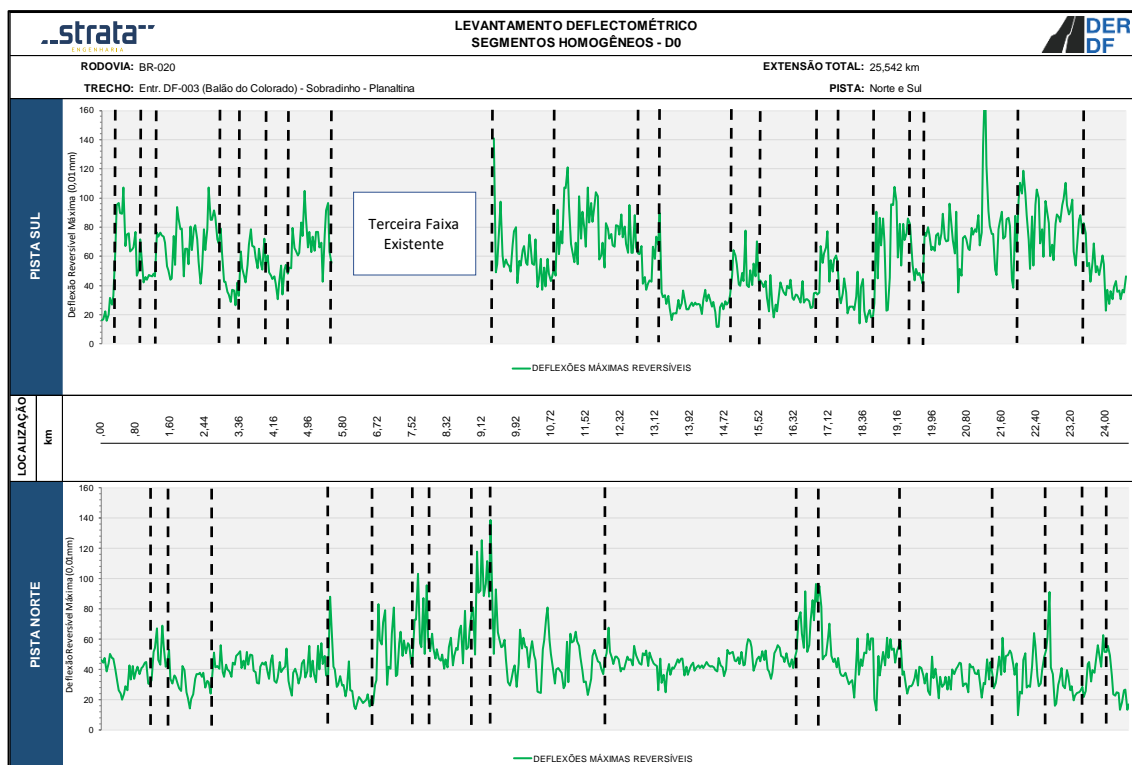


Figura 13 – Representação dos segmentos homogêneos do levantamento deflectométrico – D0

A partir da definição dos segmentos homogêneos a partir dos valores das deflexões obtidas pelo levantamento deflectométrico, se torna possível a análise desses valores de forma mais detalhada. A tabela a seguir detalha o cálculo da deflexão característica para cada segmento, calculada de acordo com a norma DNER-PRO 011/79, em ambos os sentidos da rodovia.

Cálculo da Deflexão Característica - Pista Norte - BR-020													
Segmento	km Inicial	km Final	Deflexão Média	Desvio Padrão	Quantidade n	Z	Limite Inferior	Limite Superior	Deflexão característica FWD	Deflexão característica Viga	Valor mínimo do segmento	Valor máximo do segmento	Raio de Curvatura
1	0,000	1,120	37,85	8,48	28	3	12,41	63,30	46,33	65,93	20,10	50,30	167,54
2	1,120	1,520	49,17	12,90	10	2,5	16,93	81,41	62,07	77,34	30,40	69,00	155,44
3	1,520	2,600	32,14	8,25	26	3	7,40	56,89	40,39	60,50	14,20	53,00	218,37
4	2,600	5,600	41,26	7,31	69	3	19,33	63,18	48,57	67,77	22,90	57,40	156,51
5	5,600	6,640	24,49	8,04	23	3	0,35	48,62	32,53	51,51	13,90	45,30	271,79
6	6,640	7,240	53,25	19,31	15	2,5	4,98	101,52	72,56	83,49	29,90	83,10	155,07
7	7,240	7,600	55,68	9,20	9	2,5	32,68	78,67	64,88	79,07	43,60	72,80	133,70
8	7,600	7,880	74,49	21,19	7	2,5	21,52	127,45	95,67	115,45	50,20	103,20	89,74
9	7,880	8,880	54,01	9,51	25	3	25,48	82,54	63,52	78,24	40,70	78,90	118,45
10	8,880	9,360	96,52	23,85	12	2,5	36,90	156,14	120,36	168,17	49,90	138,80	76,67
11	9,360	12,040	46,98	13,76	66	3	5,69	88,27	60,74	76,50	23,30	81,60	123,52
12	12,040	16,360	45,07	5,49	105	3	28,61	61,52	50,55	69,34	31,10	60,00	102,79
13	16,360	17,000	72,33	16,33	16	2,5	31,49	113,17	88,67	98,75	48,30	96,40	92,31
14	17,000	19,320	45,70	12,03	47	3	9,61	81,80	57,73	74,51	12,90	70,10	197,25
15	19,320	21,480	34,33	6,87	53	3	13,71	54,94	41,20	61,29	20,80	48,60	204,19
16	21,480	22,840	41,14	12,19	33	3	4,58	77,70	53,33	71,42	9,60	64,20	260,17
17	22,840	23,480	27,62	7,19	16	2,5	9,64	45,60	34,81	54,41	16,20	40,80	174,13
18	23,480	24,040	41,42	11,58	14	2,5	12,48	70,37	53,00	71,18	21,90	62,80	137,03
19	24,040	24,542	28,74	13,93	14	2,5	-6,09	63,57	42,67	62,68	13,30	55,40	235,01

Figura 14 – Deflexão Característica – Pista Norte

Cálculo da Deflexão Característica - Pista Sul - BR-020													
Segmento	km Inicial	km Final	Deflexão Média	Desvio Padrão	Quantidade n	Z	Limite Inferior	Limite Superior	Deflexão característica FWD	Deflexão característica Viga	Valor mínimo do segmento	Valor máximo do segmento	Raio de Curvatura
1	0,000	0,240	20,42	5,97	6	2	8,47	32,36	26,39	41,66	15,70	31,40	259,33
2	0,240	0,920	70,03	21,53	18	2,5	16,20	123,85	91,56	105,77	26,70	107,40	95,81
3	0,920	1,320	46,72	3,29	9	2,5	38,50	54,94	50,01	68,92	42,20	54,10	104,64
4	1,320	2,920	70,62	15,26	39	3	24,85	116,40	85,88	91,79	41,20	107,20	89,09
5	2,920	3,360	38,25	9,54	11	2,5	14,39	62,10	47,79	67,14	26,20	61,90	217,81
6	3,360	3,960	59,47	10,29	15	2,5	33,75	85,19	69,76	81,93	42,00	78,60	110,52
7	3,960	4,640	47,13	8,03	15	2,5	27,06	67,19	55,15	72,73	30,50	60,80	138,95
8	4,640	5,640	71,54	14,00	25	3	29,53	113,55	85,54	90,93	42,40	104,70	96,89
9	5,640	9,440	Terceira Faixa Existente										
10	9,440	10,920	57,60	13,36	35	3	17,52	97,68	70,96	82,61	37,00	97,60	126,18
11	10,920	12,960	77,43	17,05	51	3	26,27	128,59	94,48	112,70	46,80	120,90	101,05
12	12,960	13,400	52,62	12,94	11	2,5	20,26	84,98	65,56	79,49	37,10	73,60	124,84
13	13,400	15,120	26,57	5,65	41	3	9,62	43,52	32,22	51,10	11,50	36,90	524,88
14	15,120	15,880	49,29	11,79	19	2,5	19,81	78,77	61,08	76,71	33,50	77,70	265,47
15	15,880	17,280	33,14	6,83	35	3	12,64	53,64	39,97	60,08	18,10	47,20	433,33
16	17,280	17,720	59,32	9,12	11	2,5	36,52	82,11	68,44	81,18	42,70	77,10	171,27
17	17,720	18,640	28,25	9,85	22	3	-1,30	57,81	38,11	58,14	13,80	49,60	402,63
18	18,640	19,520	72,68	23,54	21	3	2,06	143,30	96,22	116,72	22,70	107,60	109,76
19	19,520	20,040	59,05	14,24	13	2,5	23,45	94,66	73,30	83,89	41,00	79,80	144,39
20	20,040	22,320	77,25	19,57	55	3	18,53	135,97	96,82	118,10	35,40	135,70	90,12
21	22,320	23,720	81,55	16,03	35	3	33,45	129,65	97,59	119,85	51,20	110,50	94,61
22	23,720	24,653	45,04	12,96	25	3	6,14	83,93	58,00	74,69	22,60	75,90	174,08

Figura 15 – Deflexão Característica – Pista Sul

De forma a facilitar a visualização dos resultados, as figuras a seguir demonstram os valores obtidos ao longo da extensão do trecho.

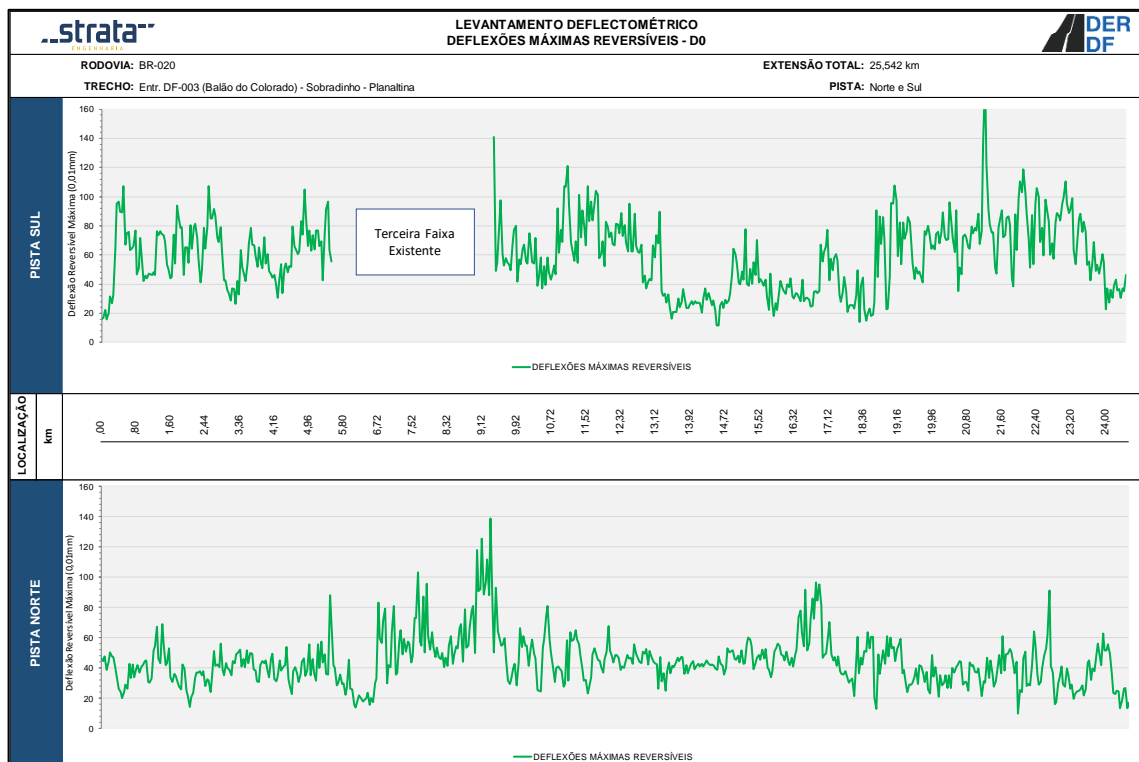


Figura 16 – Representação dos resultados obtidos no levantamento deflectométrico – D0

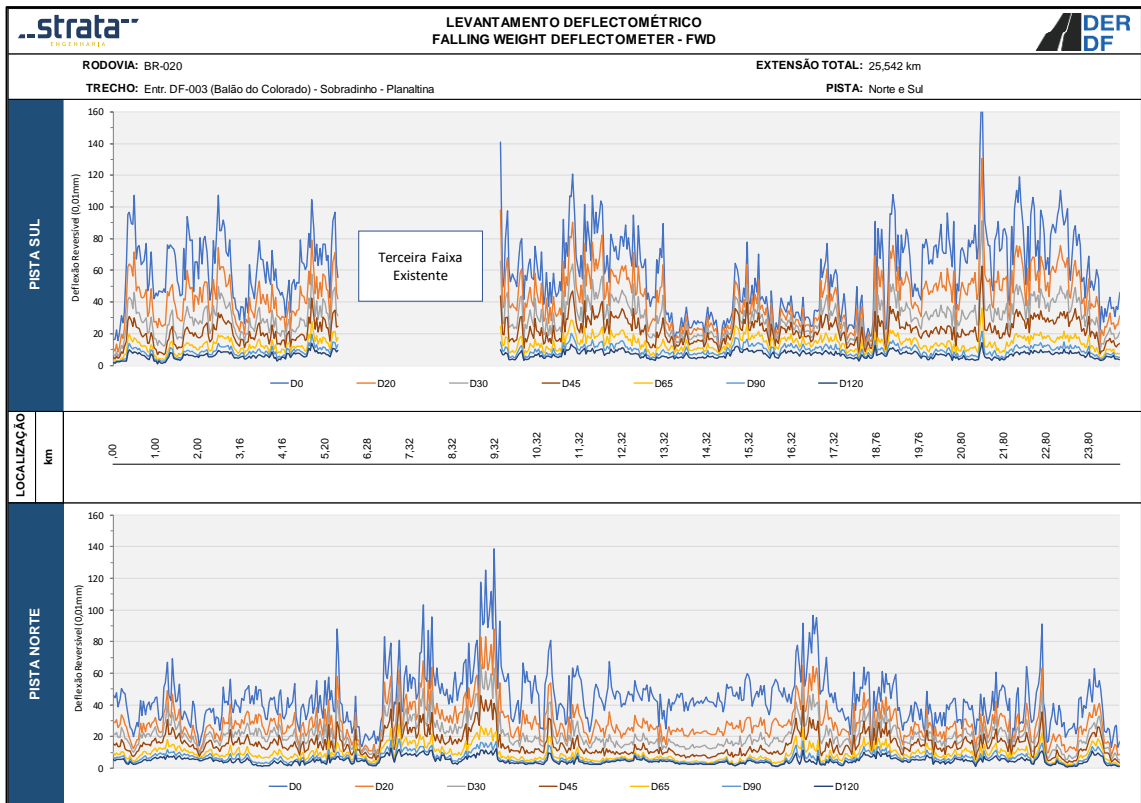


Figura 17 – Representação dos resultados obtidos no levantamento deflectométrico

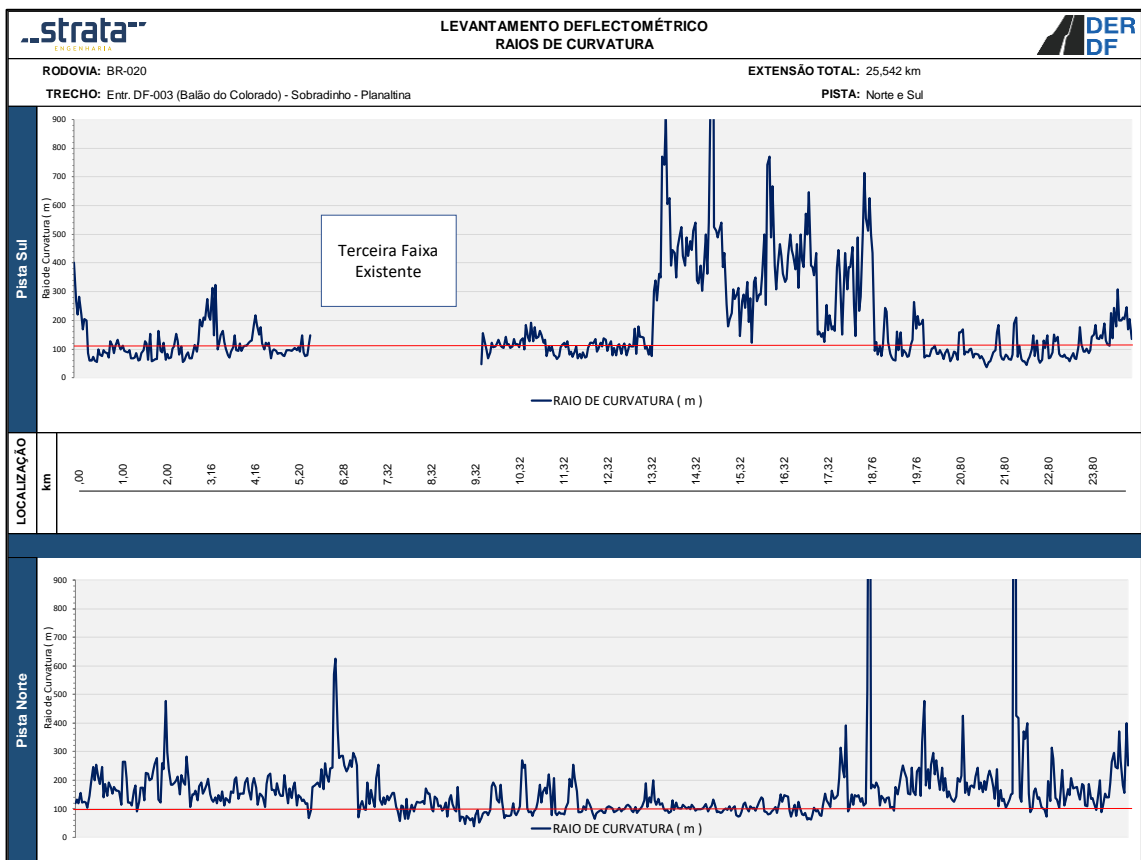


Figura 18 – Representação dos resultados obtidos no levantamento deflectométrico – Raio de Curvatura

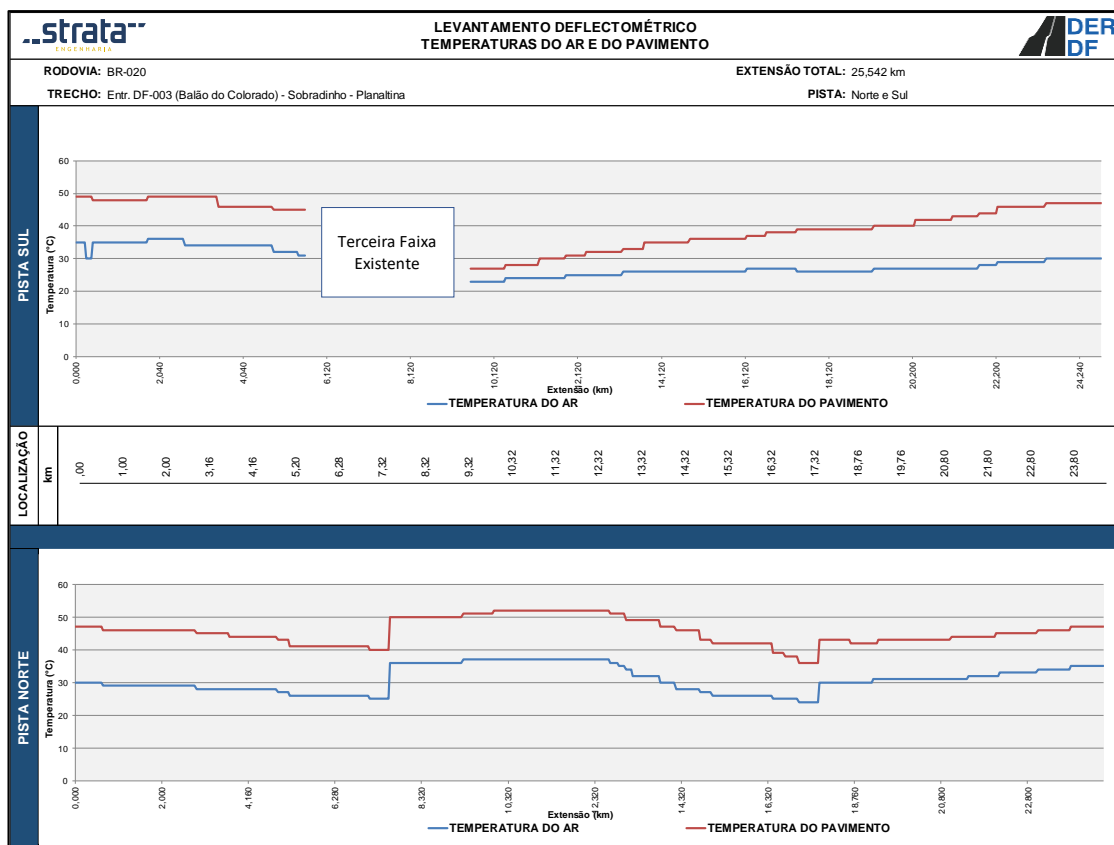


Figura 19 – Representação dos resultados obtidos no levantamento deflectométrico – Temperaturas do Ar e do Pavimento

Levando em consideração os resultados obtidos no levantamento deflectométrico, é possível identificar que, principalmente na Pista Norte, o pavimento apresenta deflexões reversíveis máximas que variam majoritariamente no intervalo entre 30 e 70 centésimos de milímetros com raios de curvatura em grande parte superiores à 100 metros. Por outro lado, a Pista Sul apresentou médias superiores para a deflexão reversível máxima, alcançando valores superiores à 80 (0,01 mm) em diversas estacas analisadas além de raios de curvatura inferiores à 100 metros em muitos pontos.

Ressalta-se que a correlação exata entre os dados obtidos pelo Falling Weight Deflectometer para Viga Benkelman deve ser definida através da realização dos dois métodos no mesmo ponto de aplicação e em instantes próximos, uma vez que fatores como estrutura e temperatura influenciam diretamente nos resultados.

3.4.3. – Dimensionamento dos Pavimentos Novos

3.4.3.1. – Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis – DNER/2006

3.4.3.1.1. – Generalidades

O método do DNER/1961 foi desenvolvido originalmente na “Califórnia Division of Highway” ao final da década de 30 pelo engenheiro O. J. Porter. Em 1942, durante a Segunda Guerra Mundial, o “USA – Corps of Engineers”, com a necessidade de se construir bases aéreas em vários países, solicitou ao Eng.º Porter a adequação da Curva de Dimensionamento original para o caso de pavimentos aeroportuários, particularidade que se tornou responsável pela divulgação dessa metodologia em vários países do mundo. No pós-guerra, esse método, já consolidado e extrapolado para aeroportos, foi devidamente adaptado para as condições brasileiras - final da década de 50 - pelo **Engenheiro Murillo Lopes de Souza** de acordo com os conselhos do Engenheiro norte-americano William H. Mills; foi oficializado pelo antigo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem em 1961.

Em 1964/1965, o Engenheiro Murillo Lopes de Souza aproveita os dados do AASHO ROAD TEST, expostos no trabalho de Turnbull, Foster e Ahlvin, e incorpora ao método dois novos conceitos: o Número “N” – número

de repetições do eixo padrão, tomado como sendo um eixo simples de rodas duplas de 8,2 tf, durante a vida útil de projeto, e o coeficiente de equivalência estrutural (K); sua oficialização pelo DNER foi processada em Fevereiro de 1966.

A partir desse novo procedimento, com a determinação do Índice de Suporte Califórnia do subleito e do número equivalente de solicitações de um eixo-padrão de 8,2 tf (Número “N”) durante a vida útil de projeto, o método evoluído do DNER torna-se possível a determinação da espessura total do pavimento requerida em termos granulares; essa determinação processa-se através do relacionamento matemático definido pela equação:

$$H_t = 77,67 \times N^{0,0482} \times ISC^{-0,598}$$

À espessura total do pavimento, definida em termos de um “material granular padrão” destinado a compor a camada de Base, atribui-se o valor do coeficiente estrutural $KB = 1,0$; ao concreto asfáltico confere-se um coeficiente estrutural $KR = 2,0$ - que corresponde ao dobro daquele referente ao material granular - e aos demais materiais não granulares, diferentes coeficientes de equivalência, sempre menores que 1,0.

As principais particularidades e recomendações desse método estão descritas a seguir, de forma resumida.

3.4.3.1.2. – Características dos Materiais

As principais características geotécnicas dos materiais a serem utilizados no pavimento, seus valores limites e alguns condicionamentos são indicados no quadro apresentado a seguir:

QUADRO 5						
CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS						
CAMADA	ISC	EXPANSÃO	IG	LL	IP	FAIXA GRANULOMÉTRICA
Base	≥ 60 % (1) ≥ 80 % (2)	≤ 0,5%	-	≤ 25 % ou EA > 30 %	≤ 6 % ou EA > 30 %	E ou F (1) A, B, C ou D (2)
Sub-base	≥ 20 %	≤ 1,0 %	0	-	-	-
Reforço	> ISC _{SL}	≤ 2,0 %	≤ IG _{SL}	-	-	-
Observações:						
(1) Para $N \leq 10^6$						
(2) Para $N \geq 10^6$						
Subleito: $ISC > 2 \%$ e $Expansão \leq 2 \%$						
Os materiais lateríticos deverão ser objetos de especificações particulares.						

3.4.3.1.3. – Determinação do Valor do Índice de Suporte de Projeto (ISPROJ)

Após a definição das ocorrências e localizações das distintas famílias de solo ocorrentes ao longo do trecho, devem ser elas analisadas de modo a poder determinar seus respectivos *ISPROJ*. Assim considerando, as análises e os estudos estatísticos deverão ser processados por segmentos que externem homogeneidade dos solos de fundação (subleito), devendo-se evitar tratamentos estatísticos do conjunto de resultados obtidos ao longo de todo o trecho em estudo.

Assim, para cada família de solo de fundação detectada sequencialmente, devem ser tratados os valores obtidos nos ensaios de caracterização, os quais devem ser submetidos a uma depuração estatística com os objetivos de se mapear a dispersão dos resultados dos ensaios de laboratório e de se promover o expurgo de valores anômalos e/ou espúrios. Para o efeito, é preconizada a adoção da seguinte equação:

$$X = \bar{X} \pm Z_1 \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \pm Z_2 \cdot \sigma$$

onde:

- \bar{X} = a média aritmética simples;
- σ = desvio padrão populacional;
- N = número de amostras; e
- Z_1 e Z_2 = são valores definidos em função de critérios estatísticos adotados no âmbito de uma distribuição normal; para aplicação dessa expressão o número de amostras deve ser maior que 9.

No caso presente adotaram-se os valores de $Z_1 = 1,29$ e $Z_2 = 0,68$, obtidos da **curva de distribuição normal ou Gaussiana**, os quais representam 10% de probabilidade de risco nos erros de ensaios ($Z_1 = 0,9015$) e 25% de probabilidade de imprecisão dos resultados apresentados, ou seja, um grau de confiança de 75% ($Z_2 = 0,7518$); tais valores, consagrados pelos organismos rodoviários, quando substituídos na equação anterior, dão origem às expressões:

$X_{\text{máx.}} = \bar{X} + 1,29 \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{N}} + 0,68 \cdot \sigma$
$X_{\text{mín.}} = \bar{X} - 1,29 \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{N}} - 0,68 \cdot \sigma$

as quais, no caso presente, devem ser empregadas para os cálculos do ISC_{CBR} mínimo e Expansão máxima.

Por outro lado, no âmbito de um dimensionamento estrutural do pavimento torna-se sempre importante correlacionar os valores obtidos nos ensaios ISC_{CBR} com os respectivos valores do Índice de Plasticidade (IP), haja vista que, de uma forma geral, o valor do suporte de um solo diminui com o aumento da plasticidade. De forma a se ter em conta essa particularidade, Dr. Murillo Lopes de Souza introduziu em seu procedimento de cálculo a incorporação do denominado **Índice de Grupo - IG**, parâmetro que, variando numericamente de 0 a 20, se propõe a retratar a importância conjunta da plasticidade e da graduação das partículas do solo de fundação; de uma forma geral, os valores do Índice de Grupo (IG) permitem promover a classificação dos solos em três grandes grupos:

- ❖ entre 0 e 4 o solo é considerado “granular” (também denominado solo pedregulhoso ou arenoso);
- ❖ entre 4 e 12 o solo é considerado siltoso; e
- ❖ entre 12 e 20 o solo é considerado argiloso.

Para o cálculo desse parâmetro aplica-se a seguinte expressão:

$$IG = 0,2 \underline{a} + 0,005 \underline{ac} + 0,01 \underline{bd}$$

onde:

- a = % de material que passa na peneira 200, menos 35. Se a % obtida nesta diferença for maior que 75, adota 75, se menor que 35, adota-se 35 (a varia de 0 a 40);
- b = % de material que passa na peneira 200, menos 15. Se a % obtida nesta diferença for maior que 55, adota-se 55, se for menor que 15, adota-se 15 (b varia de 0 a 40);
- c = valor do LL - 40. Se LL > 60, adota-se 60, se LL < 40, adota-se 40 (c varia de 0 a 20); e
- d = valor do IP menos 10. Se IP > 30, adota-se 30, se IP < 10, adota-se 10 (d varia de 0 a 20).

Para se ter em conta esse parâmetro no método de dimensionamento, Dr. Murillo tomou como padrão de resistência os solos de fundação “granulares” (IG = 0), atribuindo a eles um valor CBR máximo igual a 20%; para os demais solos, atribuiu valores CBR menores, decrescentes à medida de que cresciam as frações siltsosas e argilosas (menores valores de IG). Assim considerando, através de uma correlação empírica, atribuiu valores de CBR para cada um dos solos menos qualificados, criando um novo indicador denominado **Índice de Suporte em função do IG (IS_{IG})** – apresentado na tabela a seguir – o qual constitui, na realidade, uma artimanha para se policiar os valores do **ISC_{CBR}** - de forma a se garantir uma maior segurança na definição da capacidade de suporte do subleito:

QUADRO 6			
VALORES DE IS _{IG} EM FUNÇÃO DO IG			
ÍNDICE DE GRUPO		ÍNDICE DE SUPORTE	
IG		IS _{IG}	
0			20
1			18
2			15
3			13
4			12
5			10
6			9
7			8
8			7
9	A	10	6
11	A	12	5
13	A	14	4
15	A	17	3
18	A	20	2

A conjugação final proposta para a contemplação das duas variáveis então consideradas - os resultados **ISC_{CBR}** obtidos nas caracterizações laboratoriais e o índice **IS_{IG}** definido em função do IG – consistiu no cálculo da média aritmética simples dos dois valores representativos, o qual define o índice de suporte a ser adotado no dimensionamento da estrutura do pavimento (IS_{PROJ}):

$$IS_{PROJ} = (ISC_{CBR} + IS_{IG}) / 2$$

Valendo ainda ressaltar que no âmbito da criação desse artifício policlesco das variações da capacidade de suporte traduzidas pelo **ISC_{CBR}**, o Engenheiro Murillo estabeleceu mais uma condição final de seleção: caso se constate a condição **IS_{PROJ}** superior ao **ISC_{CBR}**, deve-se abandonar o valor obtido e adotar o valor do **ISC_{CBR}**.

3.4.3.1.4. – Coeficientes de Equivalência Estrutural

A resistência dos materiais empregados no pavimento se correlaciona empiricamente com a resistência de um material granular tomado como padrão de referência (K = 1,0). Os coeficientes de equivalência estrutural recomendados pelo método são os indicados no quadro a seguir, os quais foram definidos com base nos valores obtidos na pista experimental da AASHO (atualmente AASHTO):

QUADRO 7 COEFICIENTES DE EQUIVALÊNCIA ESTRUTURAL	
CAMADA DO PAVIMENTO	COEFICIENTE K
Base ou revestimento em concreto betuminoso	2
Base ou revestimento de PMQ denso	1,7
Base ou revestimento de PMF denso	1,4
Base ou revestimento por penetração	1,2
Camadas granulares (Referência: Brita Graduada Simples)	1,0
Solo-cimento - $R_{CS} > 4,5$ MPa (7 dias)	1,7
Solo-cimento - $2,8 < R_{CS} < 4,5$ MPa (7 dias)	1,4
Solo-cimento - $2,1 < R_{CS} < 2,8$ MPa (7 dias)	1,2

As nomenclaturas adotadas pelo método para os coeficientes de equivalência estrutural das camadas do pavimento são as seguintes:

- Revestimento : K_R
- Base : K_B
- Sub-base : : K_{SB}
- Reforço : K_{Ref}

Nos preceitos originais do método DNER, Dr. Murillo preconiza ainda que, caso os materiais selecionados para a constituição da camada de sub-base (ou de reforço do subleito) não atendam a condição:

$$CBR_{SB} > 3 \times CBR_{SL}$$

poderia, a critério do projetista, se afetar a espessura mínima da camada de sub-base calculada de um coeficiente de majoração (F), mantendo-se contudo o mesmo coeficiente de equivalência estrutural. O fator de correção da espessura da sub-base foi definido em função das capacidades de suporte dos materiais que compõem esta camada e o subleito, com o objetivo de impor uma transição menos brusca de materiais que apresentem, por ventura, módulos de CBR muito distintos. Tal conceito busca preservar a efetiva solidariedade entre camadas, característica primordial de um sistema estratificado e aplicada aos pavimentos flexíveis. Isto posto, apresenta-se a seguir a expressão do coeficiente de majoração (F) utilizada:

$$F = \sqrt[3]{\frac{1}{E_1/E_2}}$$

onde:

$$E_1 = CBR_{\text{subleito}}$$

$$E_2 = CBR_{\text{sub-base}}$$

3.4.3.1.5. – Tráfego

O tráfego que vai solicitar o futuro pavimento durante sua vida em serviço (vida de projeto) deve ser calculado com base em pesquisas socioeconômicas regionais e em contagens volumétricas e classificatórias do tráfego usuário – em estradas vicinais existentes – e correlacionado através da consideração de fatores de equivalência estabelecidos em função dos efeitos destrutivos exercidos pelos diversos tipos de eixos e cargas que irão atuar sobre o pavimento; em condições mais extremas, deve-se contemplar as condições climáticas vigorerantes na região. Esse número equivalente de aplicações de carga de um eixo padrão de 8,2 t – denominado *Número N* – deve ser calculado de acordo com a seguinte equação:

$$N = 365 \times FR \times FP \times FV \times \sum_{i=0}^n VMDAT_{C_i}$$

onde:

N = número de repetições do eixo-padrão de 8,2t;

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

FV = fator de veículos, conforme as metodologias:

- USACE (Corpo de Engenheiros do Exército Americano);
- AASHTO (*American Association of Highway and Transportation Officials*).

FP = fator direcional (FP = 0,5 considerando-se a distribuição do tráfego para cada faixa de rolamento);

VMDAT_{ci} = volume médio diário anual de tráfego de veículos comerciais (ônibus + caminhões + reboques + semirreboques).

3.4.3.1.6. – Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso

As espessuras mínimas de revestimento betuminoso preconizadas pelo Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis do DNIT devem ser definidas em função do valor do Número N, conforme apresentado no quadro a seguir.

QUADRO 8	
ESPESSURA MÍNIMA DE REVESTIMENTO ASFÁLTICO	
NÚMERO N	ESPESSURA MÍNIMA DE REVESTIMENTO ASFÁLTICO
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais asfálticos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos asfálticos com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Revestimentos asfálticos com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Revestimentos asfálticos com 10,0 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Revestimentos asfálticos com 12,5 cm de espessura

3.4.3.1.7. – Ábaco para Determinação da Espessura Total do Pavimento em Termos Material Granular Padrão

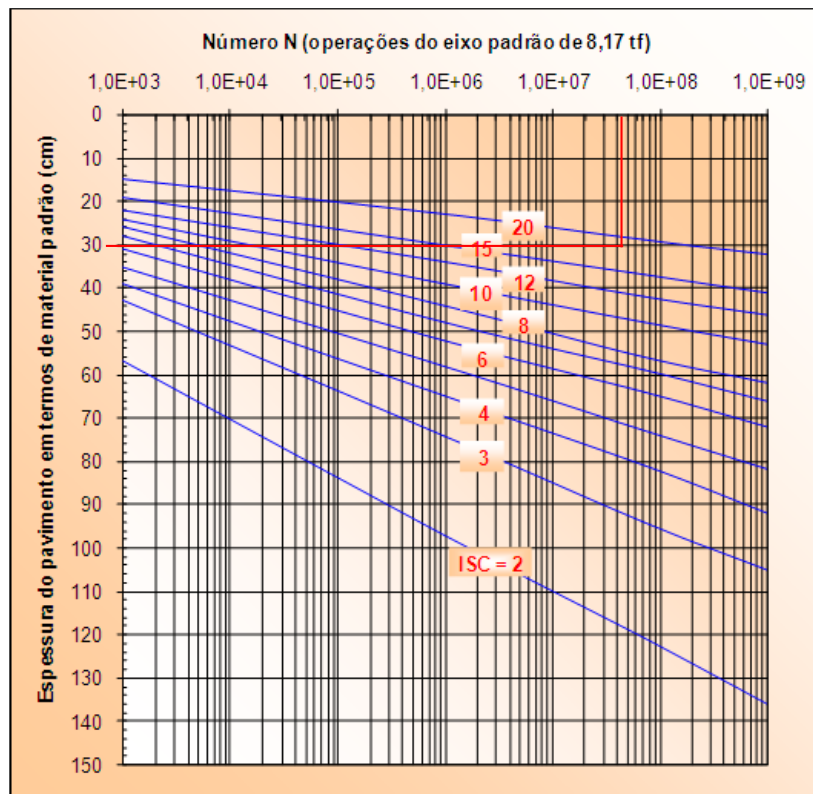


Figura 20 - Ábaco de Dimensionamento do Método DNER-1996

3.4.3.1.8. – Inequações de Dimensionamento

As espessuras finais das camadas do pavimento são calculadas através das inequações seguintes, exceto a do revestimento que é tabelada em função do Número N:

- Espessura do revestimento - R:

R é tabelado em função do Número N

- Espessura da base - B:

$$R \times K_R + B \times K_B \geq H_{20}$$

- Espessura da sub-base - SB:

$$R \times K_R + B \times K_B + SB \times K_{SB} \geq H_n$$

- Espessura do reforço - REF:

$$R \times K_R + B \times K_B + SB \times K_{SB} + REF \times K_{REF} \geq H_m$$

onde:

R – espessura do revestimento (cm)

K_R – coeficiente de equivalência estrutural do revestimento

B – espessura da base (cm)

K_B – coeficiente de equivalência estrutural da base

SB – espessura da sub-base (cm)

K_{SB} – coeficiente de equivalência estrutural da sub-base

REF – espessura do reforço (cm)

K_{REF} – coeficiente de equivalência estrutural do reforço

H_{20} – espessura de material granular padrão necessária à proteção da sub-base

H_n – espessura de material granular padrão necessária à proteção do reforço

H_m – espessura de material granular padrão necessária à proteção do subleito

Para fins de dimensionamento, o **ISC da sub-base** deve ser sempre considerado como igual a **20 %**, mesmo que o material indicado para essa camada apresente valor de ISC superior; tais parâmetros estão representados na figura a seguir:

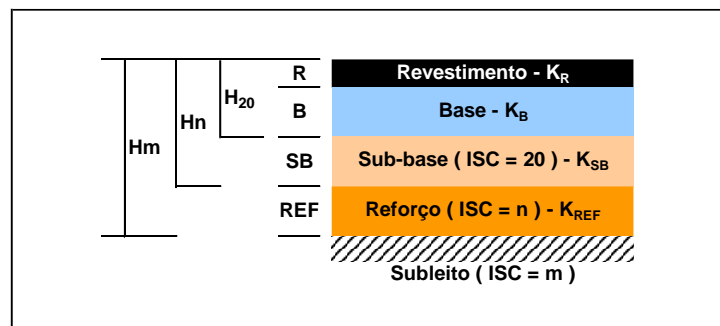


Figura 21 - Esquema Gráfico do Pavimento e Parâmetros de Dimensionamento

3.4.3.1.9. – Recomendações Gerais

O método faz as seguintes recomendações de caráter executivo:

- a) O subleito e todas as camadas granulares do pavimento deverão ser compactados com, no mínimo, 100% de grau de compactação;

- b) Todos os materiais do subleito que apresentam $ISC < IS_{PROJ}$ e/ou expansão $\geq 2\%$ deverão ser substituídos por materiais com $ISC \geq IS_{PROJ}$ determinado para o subleito e expansão $< 2\%$;
- c) A menor espessura a ser adotada para as camadas granulares do pavimento é 15 cm;
- d) As espessuras mínima e máxima de compactação de materiais granulares são, respectivamente, 10 cm e 20 cm.

3.4.3.2. – Resultados Obtidos para o trecho em questão – Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis DNER/2006

3.4.3.2.1. – Determinação do Número “N”

O número “N” determinado para o dimensionamento do pavimento teve em conta os fatores de equivalência de carga **FEC/USACE** e uma vida de projeto de 10 anos; considerou-se 2025 como sendo o ano de abertura da rodovia aos usuários. A contagem de tráfego foi executada em 11 (onze) Postos de Contagem definidos pelo Termo de Referência – BR-020, sendo considerado, por segurança, o maior N encontrado para o cálculo do dimensionamento, uma vez que a ordem de grandeza dos valores obtidos não varia a ponto de alterações na espessura do pavimento.

Dessa forma, o resultado para o Número “N” utilizado no dimensionamento do pavimento foi obtido através da pesquisa de tráfego referente ao Posto de Contagem 4, localizado no Entroncamento com a DF-230. O cálculo do Número N, apresentado nos Estudos de Tráfego e mostrado de forma resumida a seguir, evidenciou números equivalentes de aplicações de carga de um eixo padrão de 8,2 t iguais a:


PROJEÇÃO DO "VMDA" E DO NÚMERO "N"										
		RODOVIA: BR-020				LOCALIZAÇÃO: Entroncamento com a DF-230				
		TRECHO: DF-003 (EPIA) - Planaltina				POSTO: Posto de Contagem 4				
Ano	Volume Médio Anual de Tráfego (VMDA)					Valores do Número "N"				Observações
	Veículos-tipo				Total	USACE		AASHTO		
	Moto	Passeio	Coletivo	Carga		Ano a Ano	Acumulado	Ano a Ano	Acumulado	
2020	2.951	32.035	734	2.658	38.378	***	***	***	***	Pesquisa
2021	3.040	32.996	763	2.764	39.563	***	***	***	***	
2022	3.131	33.986	793	2.873	40.783	***	***	***	***	
2023	3.225	35.005	824	2.988	42.042	***	***	***	***	
2024	3.322	36.055	857	3.107	43.341	***	***	***	***	
2025	3.422	37.136	891	3.232	44.681	8,12E+06	8,12E+06	3,15E+06	3,15E+06	1º ano
2026	3.525	38.250	927	3.360	46.062	8,45E+06	1,66E+07	3,27E+06	6,42E+06	5º ano
2027	3.631	39.397	964	3.495	47.487	8,79E+06	2,54E+07	3,40E+06	9,82E+06	
2028	3.740	40.579	1.002	3.634	48.955	9,14E+06	3,45E+07	3,54E+06	1,34E+07	
2029	3.852	41.796	1.042	3.778	50.468	9,50E+06	4,40E+07	3,68E+06	1,70E+07	
2030	3.968	43.050	1.084	3.928	52.030	9,88E+06	5,39E+07	3,82E+06	2,09E+07	
2031	4.087	44.341	1.127	4.083	53.638	1,03E+07	6,41E+07	3,98E+06	2,48E+07	
2032	4.210	45.671	1.172	4.246	55.299	1,07E+07	7,48E+07	4,13E+06	2,90E+07	
2033	4.336	47.041	1.219	4.416	57.012	1,11E+07	8,59E+07	4,30E+06	3,33E+07	
2034	4.466	48.452	1.267	4.592	58.777	1,15E+07	9,75E+07	4,47E+06	3,77E+07	10º ano
Composição Percentual do Tráfego (%)					Parâmetros Adotados no Cálculo do Número de Operações do Eixo-padrão de 8,2 t - Número "N"					
Moto	Passeio	Coletivo	Carga	Fatores de Veículo - FV			Fator Climático		Fator de Pista	
7,69	83,47	1,91	6,93	FV _{USACE}	FV _{AASHTO}	FR		FP		
Taxas de Crescimento do Tráfego (%)					5,998	2,323	1,000		0,900	
Moto	Passeio	Coletivo	Carga	Ano Inicial para o Cálculo do Número "N"					2025	
3,00	3,00	4,00	4,00	Período de Projeto para o Cálculo do Número "N"					10 anos	

Figura 22 – Projeção do VMDAT e do número N ao longo do período de projeto

QUADRO 9		
NÚMERO “N” UTILIZADO PARA DIMENSIONAMENTO (USACE)		
TRECHO	EXTENSÃO	NÚMERO “N”
Pista Simples	24,00 km	9,75 x 10 ⁷

3.4.3.2.2. – Determinação da Espessura Mínima de Revestimento Asfáltico

Para esse valor do número “N” representativo do tráfego no trecho em estudo, o Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis do DNER recomenda como revestimento uma camada betuminosa com **12,5 cm** de espessura.

QUADRO 10 ESPESSURA MÍNIMA DE REVESTIMENTO ASFÁLTICO	
NÚMERO N	CBUQ
$N > 5 \times 10^7$	Concreto Betuminoso com 12,5 cm de espessura

3.4.3.2.3. – Determinação do valor do ISC de projeto (IS_{PROJ})

Os solos do subleito foram compactados com energia correspondente à do Proctor Intermediário em atendimento à Norma DNIT 107/2009 ES – Terraplenagem – Empréstimos – Especificação de Serviço que especifica em seu item 5. Condições Específicas – 5.1 Materiais – alínea d):

“Para efeito de execução da camada de final de aterros e/ou substituição da camada superficial de cortes, apresentar, dentro das disponibilidades e em consonância com os preceitos de ordem técnico-econômica, a melhor capacidade de suporte e expansão menor ou igual a 2%, cabendo a determinação dos valores de CBR e de expansão pertinentes, por intermédio dos seguintes ensaios:

- *Ensaio de compactação – Norma DNER-ME 129/94 (Método B);*
- *Ensaio de Índice de Suporte Califórnia – ISC Norma DNER/49/94 com energia do Ensaio de Compactação (Método B)”*

Ressalta-se ainda que, segundo a Norma DNIT 108/2009 ES – Terraplenagem – Aterros – Especificação de Serviço, a camada final deve possuir 60,0 cm de espessura dividida em três camadas de 20,0 cm compactadas na energia de compactação Intermediária.

Os valores de IS_{PROJ} foram definidos através de análises e estudos estatísticos dos resultados obtidos em ensaios de laboratório, com amostras representativas dos subleitos do presente trecho.

Inicialmente, plotaram-se os valores dos Limites de Liquidez - LL, dos Índices de Plasticidade - IP, dos Índices de Grupo - IG, dos Índices de Suporte Califórnia - ISC, das Expansões e das Granulometrias obtidos para o subleito ao longo do trecho; os valores de ISC e expansão foram definidos nas condições ótimas de compactação da energia correspondente ao Proctor Intermediário; seguidamente, processou-se a análise estatística dos resultados obtidos – para cada um dos parâmetros determinados – e definiu-se os segmentos que demandaram a substituição do solo de fundação por não atingirem as exigências mínimas em termos de suporte e expansão.

RODOVIA: BR-020

TRECHO: Interseção com a DF-033 (Epia) Balão do Colorado/ Sobradinho até Av. Independência - Planaltina

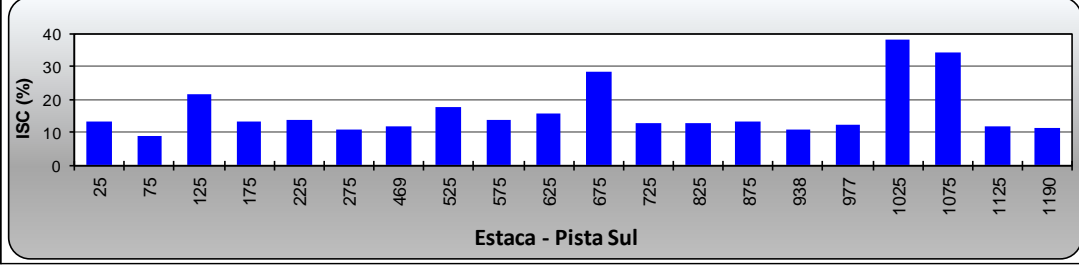
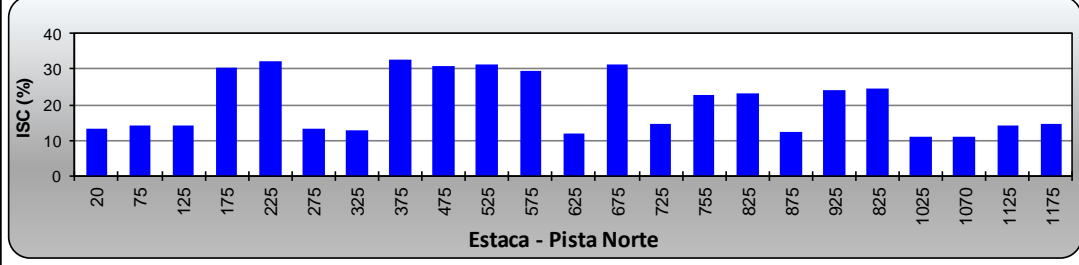
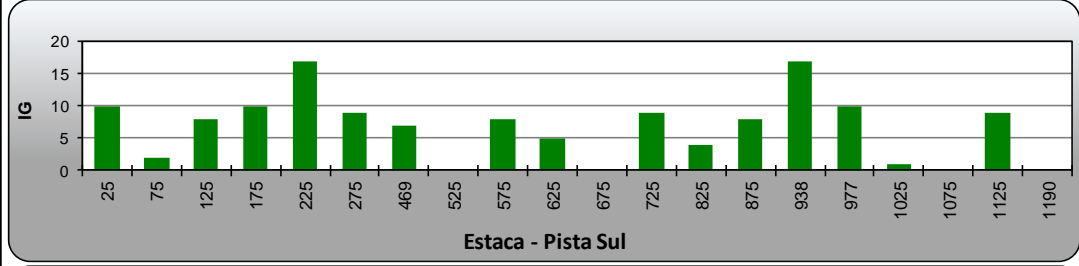
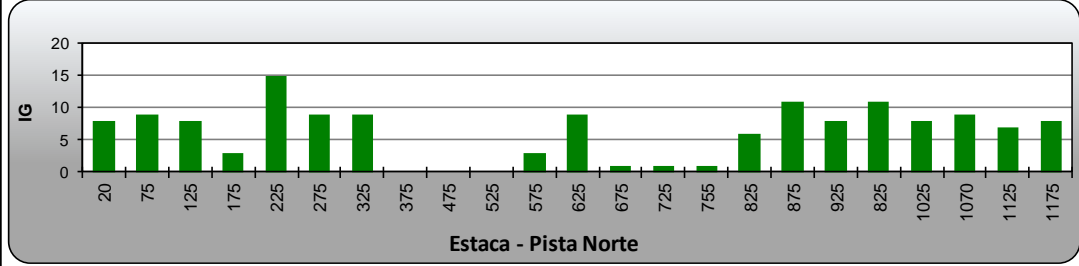
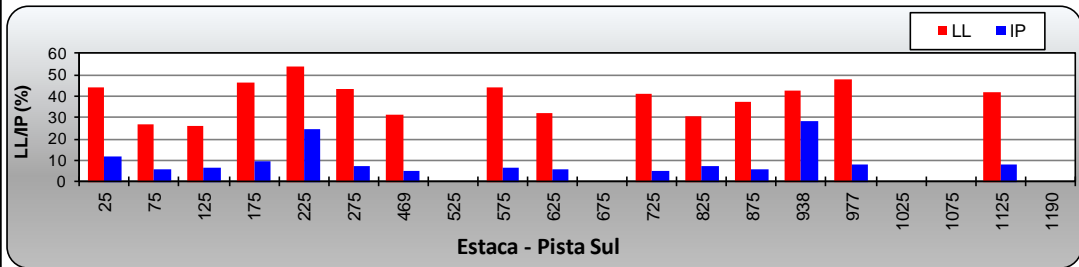
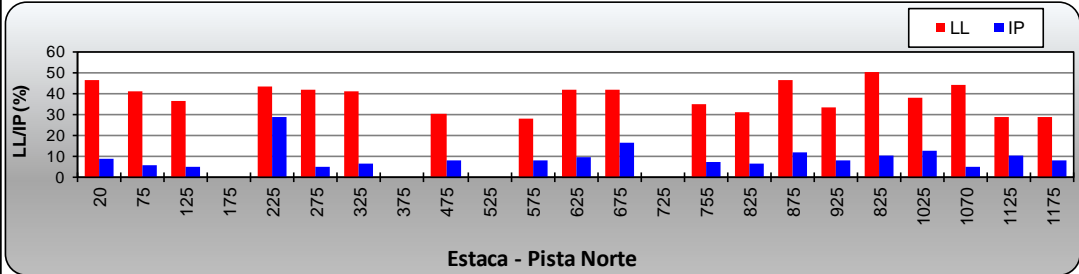
EXTENSÃO DE CADA SENTIDO: 25,0 km

EXTENSÃO TOTAL: 50,0 km

ESTUDO DA CAMADA DE PAVIMENTO - SUBLITO PROCTOR NORMAL (12 GOLPES)

SEGMENTO:

ESTUDO:



RODOVIA: BR-020

TRECHO: Interseção com a DF-033 (Epia) Balão do Colorado/ Sobradinho até Av. Independencia - Planaltina

EXTENSÃO DE CADA SENTIDO: 25,0 km

EXTENSÃO TOTAL: 50,0 km

ESTUDO DA CAMADA DE PAVIMENTO - SUBLITO PROCTOR NORMAL (12 GOLPES)

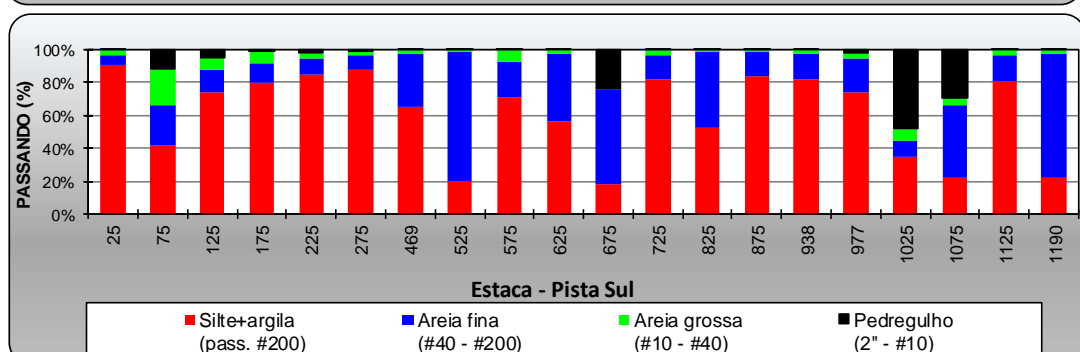
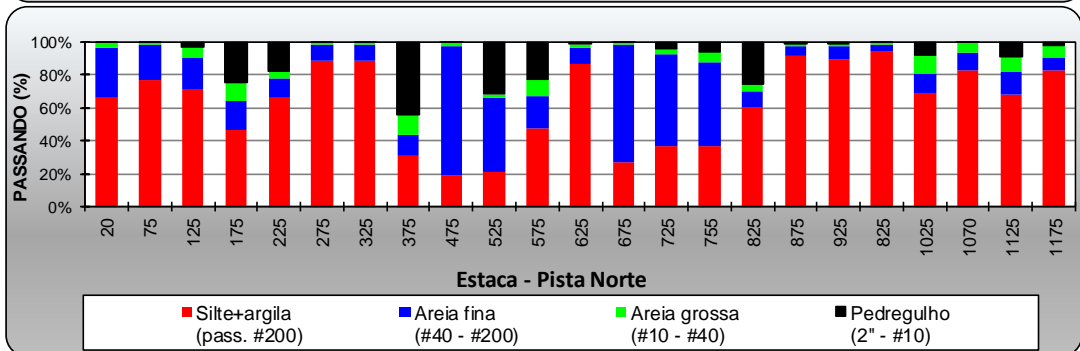
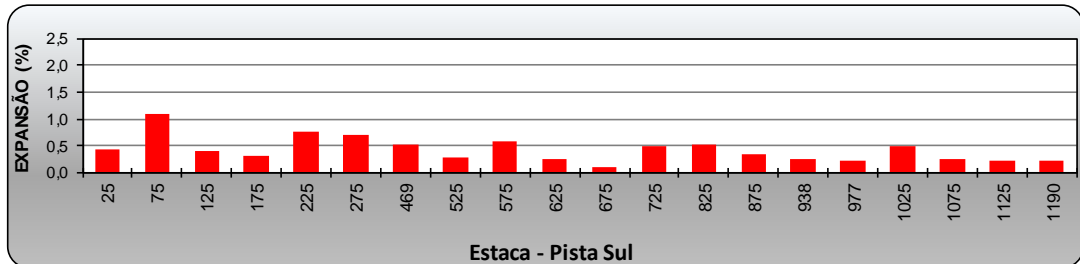
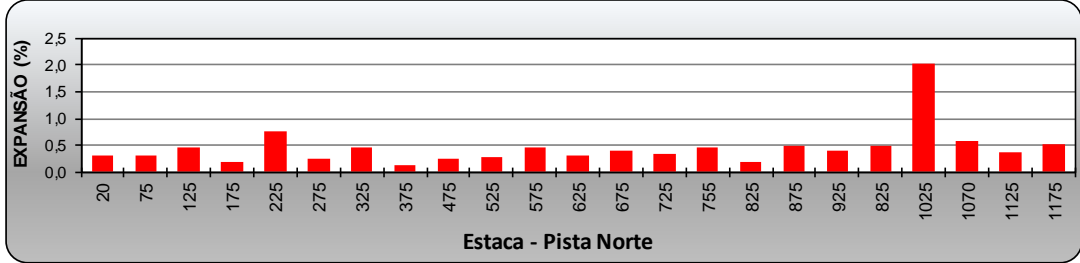


Figura 23 - Gráfico dos ensaios do subleito / Proctor Normal (12 Golpes)


ANÁLISE ESTATÍSTICA														
RODOVIA: BR-020 TRECHO: Interseção com a DF-033 (Epiá) Balão do Colorado/ Sobradinho até Av. Independência - Planaltina										EXTENSÃO DE CADA SENTIDO: 25,0 km EXTENSÃO TOTAL: 50,0 km				
PROCEDÊNCIA DO MATERIAL ESTUDO DA CAMADA DE PAVIMENTO - SUBLEITO PROCTOR NORMAL (12 GOLPES)										ELABORAÇÃO: 				
PARÂMETRO	LIMITES		GRANULOMETRIA							COMPACTAÇÃO 12 GOLPES				IG
	LL (%)	IP (%)	2" (50,8mm)	1" (25,4 mm)	3/8" (9,5 mm)	# 4 (4,8 mm)	# 10 (2,0 mm)	# 40 (0,42 mm)	# 200 (0,074 mm)	Hót (%)	D max. (g/cm³)	Exp. (%)	CBR (%)	
N	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	6
\bar{X}	38,72	9,65	100,00	99,48	97,23	95,33	92,27	87,54	62,13	14,57	1,65	0,44	18,57	
σ	7,31	6,19	0,00	1,53	6,15	9,46	12,50	14,64	24,79	3,23	0,12	0,31	8,34	
μ_{\min}	37,3	8,4	100,00	99,18	96,02	93,47	89,81	84,66	57,25	13,94	1,63	0,38	16,93	
μ_{\max}	40,2	10,9	100,00	99,78	98,44	97,19	94,73	90,42	67,01	15,21	1,68	0,50	20,21	
X_{\min}	32,3	4,2	100,00	98,14	91,83	87,04	81,31	74,71	40,39	11,74	1,55	0,16	11,25	
X_{\max}	45,1	15,1	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	83,87	17,41	1,76	0,72	25,88	

Figura 24 - Análise estatística do estudo do subleito/Proctor Normal (12 golpes)

A partir dos gráficos apresentados, pode-se evidenciar fundamentalmente o seguinte sobre os solos de fundação:

- Trata-se de um segmento onde o IG possui valor médio de 6, em que o solo é predominantemente siltoso.
- são de plasticidade mediana, afirmação que se respalda na detecção de índices de plasticidade IP na maior parte enquadrados no intervalo de 5 a 12%, com valores médios da ordem dos 9,65%. Os furos 08, 10, 14, 31, 34, 40, 41 e 43 foram classificados como não plásticos;
- são pouco expansivos, característica traduzida por expansões que raramente, exceto pontos espúrios, ultrapassaram a fronteira de 1%; o valor médio representativo ronda a casa dos 0,4%;
- os valores de CBR determinados com base na energia de compactação do Proctor Normal, traduziram valores médios da ordem dos 18,57% (desvio-padrão populacional $\sigma = 8,34$);
- Considerando o valor médio de CBR e afetando-o com o desvio padrão retromencionado, obteve-se o seguinte valor para X_{\min} :

➤ **Proctor Normal: $X_{\min} = 11\%$**

Na sequência, determinou-se o *índice de suporte a ser adotado no dimensionamento da estrutura do pavimento (IS_{PROJ})*, o qual foi processado tendo em conta o emprego do valor de CBR mínimo retrocitado, devidamente policiado pelo IS do Índice de Grupo; como se verifica Índice de Grupo IG = 6, o valor do IS_{IG} correspondente a 9, conforme definido na tabela apresentada a seguir:

QUADRO 11				
VALORES DE IS _{IG} EM FUNÇÃO DO IG				
ENERGIA DE COMPACTAÇÃO	ÍNDICE DE GRUPO IG			ÍNDICE DE SUPORTE IS _{IG}
		0		
	1			18
	2			15
	3			13
	4			12
	5			10
Proctor Normal	6			9
	7			8
	8			7
	9	A	10	6
	11	A	12	5
	13	A	14	4
	15	A	17	3
	18	A	20	2

Assim procedendo e tendo em conta que:

$$IS_{PROJ} = (IS_{IG} + IS_{CBR}) / 2$$

Foram obtidos os seguintes valores:

➤ **Proctor Intermediário:** $IS_{PROJ} = (9 + 11) / 2 = 10$

$$IS_{PROJ} = 10\%$$

Obs.:

Foram previstas substituições de porção de solo de fundação em dois segmentos do trecho, um por extrapolar o limite de expansão de 2,0% e um por não atingir os requisitos mínimos de IS_{PROJ} de 10,0%. Além disso, a fiscalização do DER/DF recomenda a execução de um rebaixo de 40,0 em pontos de corte para posterior compactação em duas camadas de 20,00 cm do mesmo material na energia Intermediária (26 golpes), de modo a melhorar as características do solo da região que é classificado como colapsível.

O quadro a seguir indica onde ocorrerão essas substituições assim como serão apresentados no item específico para Estudo Geotécnico e Terraplanagem.

Rodovia: BR-020

Trecho: Interseção com a DF-033 (Epiá) Balão do Colorado/ Sobradinho até Av. Independência - Planaltina

Extensão: 50,0 km

Pista: Norte

INTERVALO	EXTENSÃO (m)	PROFUNDIDADE (m)	Classificação TRB	CLASSIFICAÇÃO EXPEDITA DO MATERIAL	ISC _{PROJ}	Exp. (%)	ISC (%) Proctor Normal	SUBSTITUIÇÃO DO SUBLEITO	ESPESSURA DE SUBSTITUIÇÃO	SERVENTIA DO MATERIAL
18,0 a 22,0	80	0,68 - 1,50	A-5	ARGILA AVERMELHADA	11	0,31	14,0			● CAMADA FINAL
73,0 a 77,0	80	0,60 - 1,50	A-5	ARGILA AVERMELHADA	11	0,32	14,0			● CAMADA FINAL
123,0 a 127,0	80	0,60 - 1,50	A-4	SILTE VARIEGADO	11	0,45	14,0			● CAMADA FINAL
173,0 a 177,0	80	0,60 - 1,50	A-4	CASCALHO LATERÍTICO AVERMELHADO	11	0,20	30,0			● CAMADA FINAL
223,0 a 227,0	80	0,59 - 1,50	A-7-6	ARGILA SILTOSA C/ PEDREGULHO	11	0,77	32,0			● CAMADA FINAL
273,0 a 277,0	80	0,65 - 1,50	A-5	ARGILA AVERMELHADA	11	0,24	13,0			● CAMADA FINAL
323,0 a 327,0	80	0,55 - 1,50	A-5	ARGILA AMARELADA	11	0,45	13,0			● CAMADA FINAL
373,0 a 377,0	80	0,53 - 1,50	A-2-4	CASCALHO LATERÍTICO AVERMELHADO	11	0,13	33,0			● CAMADA FINAL
473,0 a 477,0	80	0,59 - 1,50	A-2-4	ARGILA AVERMELHADA	11	0,26	31,0			● CAMADA FINAL
523,0 a 527,0	80	0,56 - 1,50	A-2-4	CASCALHO LATERÍTICO ARENOSO AMARELADO	11	0,29	31,0			● CAMADA FINAL
573,0 a 577,0	80	0,58 - 1,50	A-4	CASCALHO LATERÍTICO AVERMELHADO	11	0,46	29,0			● CAMADA FINAL
623,0 a 627,0	80	0,57 - 1,50	A-5	ARGILA AMARELADA	11	0,30	12,0			● CAMADA FINAL
673,0 a 677,0	80	0,60 - 1,50	A-2-7	ARGILA AMARELADA	11	0,39	31,0			● CAMADA FINAL
723,0 a 727,0	80	0,71 - 1,50	A-4	ARGILA AMARELADA	11	0,34	15,0			● CAMADA FINAL
753,0 a 757,0	80	0,72 - 1,50	A-4	ARGILA AMARELADA	11	0,45	23,0			● CAMADA FINAL
823,0 a 827,0	80	0,73 - 1,50	A-4	ARGILA SILTOSA C/ PEDREGULHO	11	0,19	23,0			● CAMADA FINAL
873,0 a 877,0	80	0,70 - 1,50	A-7-5	ARGILA AVERMELHADA	11	0,50	12,0			● CAMADA FINAL
923,0 a 927,0	80	0,77 - 1,50	A-4	ARGILA AVERMELHADA	11	0,40	24,0			● CAMADA FINAL
973,0 a 977,0	80	0,73 - 1,50	A-7-5	ARGILA AVERMELHADA	11	0,48	25,0			● CAMADA FINAL
1.023,0 a 1.027,0	80	0,65 - 1,50	A-6	SILTE VARIEGADO C/ PEDREGULHO	11	2,03	11,0	X	60	● CORPO DE ATERRO
1.068,0 a 1.072,0	80	0,68 - 1,50	A-5	ARGILA AVERMELHADA	11	0,59	11,0			● CAMADA FINAL
1.123,0 a 1.127,0	80	0,48 - 1,50	A-6	ARGILA AMARELADA	11	0,36	14,0			● CAMADA FINAL
1.173,0 a 1.177,0	80	0,65 - 1,50	A-4	ARGILA AVERMELHADA	11	0,53	15,0			● CAMADA FINAL

Figura 25 – Classificação de material quanto á serventia para o subleito – Pista Norte

Rodovia: BR-020

Trecho: Interseção com a DF-033 (Epiá) Balão do Colorado/ Sobradinho até Av. Independência - Planaltina

Extensão: 50,0 km

Pista: Sul

INTERVALO	EXTENSÃO (m)	PROFUNDIDADE (m)	Classificação TRB	CLASSIFICAÇÃO EXPEDITA DO MATERIAL	ISC _{PROJ}	Exp. (%)	ISC (%) Proctor Normal	SUBSTITUIÇÃO DO SUBLEITO	ESPESSURA DE SUBSTITUIÇÃO	SERVENTIA DO MATERIAL
23,0 a 27,0	80	0,35 - 1,50	A-7-5	ARGILA AVERMELHADA	10	0,42	13,0			● CAMADA FINAL
73,0 a 77,0	80	0,43 - 1,50	A-4	ARGILA SILTOSA VARIEGADA	10	1,11	9,0	X	20	● CORPO DE ATERRO
123,0 a 127,0	80	0,50 - 1,50	A-4	ARGILA AVERMELHADA	10	0,41	21,0			● CAMADA FINAL
173,0 a 177,0	80	0,49 - 1,50	A-5	ARGILA AVERMELHADA	10	0,30	13,0			● CAMADA FINAL
223,0 a 227,0	80	0,58 - 1,50	A-7-6	ARGILA AVERMELHADA	10	0,77	14,0			● CAMADA FINAL
273,0 a 277,0	80	0,59 - 1,50	A-5	ARGILA AVERMELHADA	10	0,71	11,0			● CAMADA FINAL
467,0 a 471,0	80	0,60 - 1,50	A-4	ARGILA ARENOSA AMARELADA	10	0,51	12,0			● CAMADA FINAL
523,0 a 527,0	80	0,60 - 1,50	A-2-4	ARGILA ARENOSA AMARELADA	10	0,27	18,0			● CAMADA FINAL
573,0 a 577,0	80	0,55 - 1,50	A-5	ARGILA AVERMELHADA	10	0,57	14,0			● CAMADA FINAL
623,0 a 627,0	80	0,55 - 1,50	A-4	ARGILA AVERMELHADA	10	0,25	16,0			● CAMADA FINAL
673,0 a 677,0	80	0,61 - 1,50	A-2-4	ARGILA ARENOSA C/ PEDREGULHO	10	0,09	28,0			● CAMADA FINAL
723,0 a 727,0	80	0,57 - 1,50	A-5	ARGILA AVERMELHADA	10	0,50	13,0			● CAMADA FINAL
823,0 a 827,0	80	0,65 - 1,50	A-4	ARGILA AVERMELHADA	10	0,53	13,0			● CAMADA FINAL
873,0 a 877,0	80	0,61 - 1,50	A-4	ARGILA AMARELADA	10	0,35	13,0			● CAMADA FINAL
936,0 a 940,0	80	0,56 - 1,50	A-7-6	ARGILA AVERMELHADA	10	0,26	11,0			● CAMADA FINAL
975,0 a 979,0	80	0,80 - 1,70	A-5	ARGILA AVERMELHADA	10	0,23	12,0			● CAMADA FINAL
1.023,0 a 1.027,0	80	0,56 - 1,50	A-4	CASCALHO LATERÍTICO AVERMELHADO	10	0,50	38,0			● CAMADA FINAL
1.073,0 a 1.077,0	80	0,42 - 1,50	A-2-4	ARGILA ARENOSA C/ PEDREGULHO	10	0,25	34,0			● CAMADA FINAL
1.123,0 a 1.127,0	80	0,59 - 1,50	A-5	ARGILA AVERMELHADA	10	0,23	12,0			● CAMADA FINAL
1.188,0 a 1.192,0	80	0,60 - 1,50	A-2-4	ARGILA AMARELADA	10	0,23	11,0			● CAMADA FINAL

Figura 26 – Classificação de material quanto á serventia para o subleito – Pista Sul

Ressalta-se ainda que, estatisticamente, o solo de fundação atende ao CBR de projeto de 10% quando avaliado no intervalo de -2% e 1,5% de desvio de umidade em relação à umidade ótima, sendo esse permitido para a execução da regularização do subleito. Tal constatação é esclarecida através do gráfico a seguir:

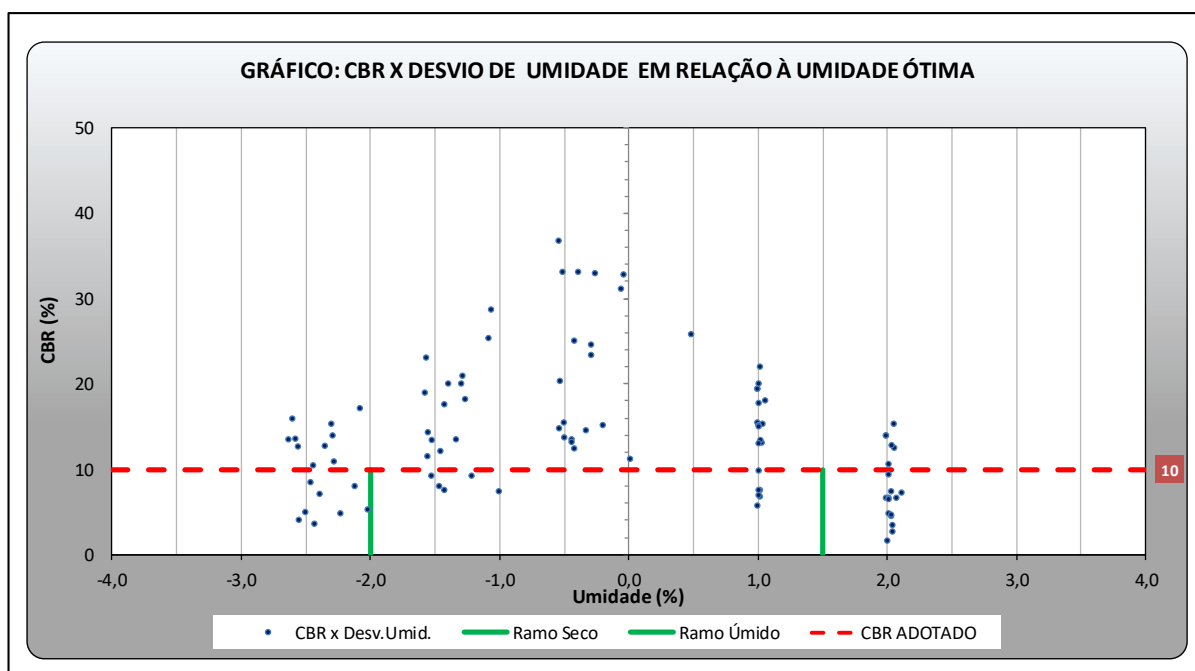


Figura 27 - Gráfico: CBR e Desvio de umidade em relação à umidade ótima - estudo do subleito / Proctor Normal (12 golpes).

3.4.3.2.4. – Dimensionamento do Pavimento (Procedimentos de Cálculo)

Conforme evidenciado anteriormente:

$$N = 9,75 \times 10^7$$

o qual, em conjunto com a resistência do subleito (CBR), permite calcular a espessura total do pavimento (H_t) em termos de material granular (com coeficiente estrutural $K=1,0$) através da equação:

$$H_t = 77,67 \times N^{0,0482} \times CBR^{-0,598}$$

ou seja:

$$H_t = 77,67 \times (9,75 \times 10^7)^{0,0482} \times (10)^{-0,598} \quad (1)$$
$$H_t = 47,57 \text{ cm}$$

Conforme anteriormente exposto, a espessura mínima do revestimento asfáltico, determinada em função do tráfego (Número N), deverá ser, de acordo com o método em epígrafe, igual a **$R = 12,5 \text{ cm}$** .

Seguidamente, promoveu-se o cálculo do H_{20} (sub-base), condição esta que estabelece um CBR para esta camada de sub-base igual a 20%. Sobre esse particular cabe ressaltar que embora não se admitindo o emprego de materiais com valores $CBR < 20\%$ para composição desta camada de sub-base, caso o material selecionado exceda capacidade de suporte traduzida por $CBR > 20\%$, deve-se, mesmo assim, adotar o valor 20%; na prática, esta proposição se manifesta como um coeficiente de segurança. Assim, considerando números N iguais a $9,75 \times 10^7$ e um material com **$CBR = 20\%$** , verifica-se que a espessura de material granular padrão necessária à proteção da sub-base é igual substancialmente a mesma, da ordem de:

$$H_{20} = 31,41 \text{ cm}$$

Ademais, para $N > 10^7$, Dr. Murillo recomenda que se deve multiplicar H_{20} por 1,2. Dessa forma, tem-se:

$$H_{20} = 37,70 \text{ cm}$$

Quanto ao dimensionamento final da estrutura do pavimento, foi o mesmo ser processado através da compatibilização das inequações a seguir representadas, tendo-se considerado os seguintes coeficientes de equivalência estrutural:

- Revestimento (K_R) = 2,0
- Base granular (K_B) = 1,0
- Sub-base granular (K_S) = 1,0

$$R.K_R + B.K_B \geq H_{20} \quad (1.1)$$

$$R.K_R + B.K_B + h_{20}.K_S \geq H_n \quad (1.2)$$

nas quais, substituindo-se os valores correspondentes, obtêm-se:

$$\text{Base: } B \geq 12,7 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad \text{Valor adotado: } B = 15,0 \text{ cm};$$

$$\text{Sub-base (} h_{20} \text{): } SB \geq 7,57 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad \text{Valor adotado: } SB = 15,0 \text{ cm}$$

Porém, de forma a compatibilizar a nova estrutura com o pavimento existente nas faixas principais da via, julgou-se válido a utilização, na faixa adicional, a mesma espessura de revestimento asfáltico da estrutura existente, que varia de

Com base nos cálculos e nas devidas considerações, a estrutura final do pavimento destinado a compor a rodovia deverá apresentar a seguinte composição:

- *Revestimento asfáltico* = 12,5 cm;
- *Base granular* = 15,0 cm;
- *Sub-base granular* = 15,0 cm

No quadro apresentado a seguir, mostra-se o dimensionamento final com as espessuras da cada camada que deve compor o pavimento novo do trecho em questão.

QUADRO 12			
DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO (MÉTODO DNIT)			
CAMADAS DO PAVIMENTO	ESPESSURAS (cm)	COEFICIENTES ESTRUTURAIS	ESPESSURAS EQUIVALENTES (cm)
Revestimento	12,5	2,0	25,0
Base	15,0	1,0	15,0
Sub-base	15,0	1,0	15,0

A espessura total equivalente preconizada pelo Método de Dimensionamento do pavimento foi de $H_t = 47,57$ cm; as espessuras equivalentes calculadas no quadro acima perfazem um total de 55,0 cm, satisfazendo, portanto o método considerado.

Trecho: Interseção com a DF-033 (Epia) Balão do Colorado/ Sobradinho até Av. Independencia - Planaltina

Extensão: 25 km

BR-020

Características do subleito

ISC_{PROJETO} = **10,0**

Características do reforço

ISC_{REF} =

Características dos materiais empregados no pavimento

Coefficiente de Equivalência Estrutural

ISC (%)

Base $K_B =$ **1,00**

80

← ISC > 80 para Tráfego > 5x10⁶

Sub-Base $K_S =$ **1,00**

20

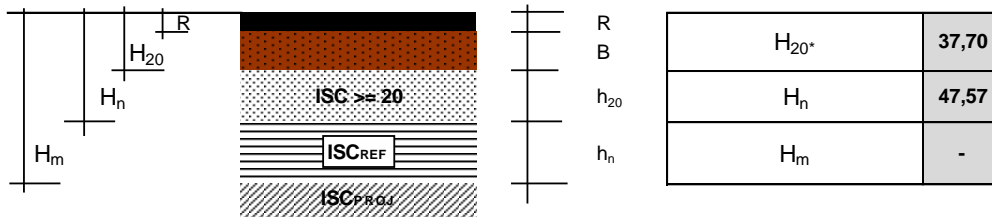
Reforço $K_{ref} =$

-

Revestimento $K_R =$ **2,0**

Espessura **12,50** cm **CBUQ**

ESPESSURAS EQUIVALENTES



Parâmetros atuantes no pavimento

Número terminal de solicitações do eixo-padrão (USACE) **9,75E+07**

Pressão de contato pneu-pavimento **81,52**

Cálculo das espessuras

Base	$R \cdot K_R + B \cdot K_B \geq H_{20}$
	$B \geq$ 12,70 cm
adotado	B = 15 cm

Sub-Base	$R \cdot K_R + B \cdot K_B + h_{20} \cdot K_S \geq H_n$
	$h_{20} \geq$ 7,57 cm
adotado	h₂₀ = 15 cm

Reforço	$R \cdot K_R + B \cdot K_B + h_{20} \cdot K_S + h_n \cdot K_{ref} \geq H_m$
	$h_n \geq$ - cm
	h_n = - cm

RESUMO DAS ESPESSURAS ADOTADAS	
Camada	Esp. (cm)
Revestimento	12,5
Base	15,0
Sub-Base	15,0
Reforço	-
Total	42,5

Observação:

(*) Conforme explicitado na norma, para $N > 10^7$ recomenda-se multiolcar H20 por 1,2.

Figura 28 - Dimensionamento do Pavimento pelo Método do DNER

3.4.3.2. – Dimensionamento do Pavimento pelo Método Mecanístico

Complementarmente, e em atendimento às solicitações emanadas pela Comissão Técnica do DER/DF, promoveu-se seguidamente uma avaliação da solução preconizada pelo Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis do DNIT através de critérios modernos de estruturação, alicerçados na compatibilização entre os esforços atuantes (tensões/extensões horizontais de tração na base da camada de revestimento e tensões/extensões verticais de compressão no solo de fundação) e os esforços resistentes, intrínsecos a cada material. Para o efeito, selecionou-se metodologia de análise mecanística calcada no Programa de Análise Elástica de Múltiplas Camadas (AEMC), que calcula tensões e deformações em estruturas de pavimentos com até oito camadas sob carregamento de rodas do tipo eixo rodoviário.

3.4.3.2.1. – Considerações Sobre a Análise Mecanística

Como resultado de intensas pesquisas conduzidas na década de 80 no âmbito da Mecânica dos Pavimentos e com o evento do aprimoramento das máquinas cibernéticas, os métodos de dimensionamento de pavimentos baseados em critérios mecanísticos ou racionais evoluíram substancialmente, passando a ser de domínio amplo e de largo emprego. As análises mecanísticas se alicerçam em critérios clássicos das Teorias da Elasticidade – ou da Viscoelasticidade – aplicadas à Mecânica dos Pavimentos, e vislumbram o pavimento como um sistema estratificado elástico (ou visco-elástico) submetido a esforços solicitantes (tensões e deformações) quando atuados por cargas exteriores. O axioma postulado nessa metodologia consiste, portanto, em se cotejar os esforços atuantes (solicitantes) que se desenvolverão no seio das camadas constitutivas do sistema estratificado composto pelo pavimento/solo de fundação quando carregado exteriormente, com os esforços resistentes, intrínsecos a cada material constituinte e em se garantir que tais esforços coexistam na estrutura final sem que os primeiros sobrepujem os últimos; os esforços resistentes são definidos através de ensaios específicos ou de leis previsionais que contemplam a correlação entre a capacidade resistente dos materiais com os números de solicitações de carga (no caso, para números de aplicação de carga correspondente aquele previsto para incidir no pavimento durante a sua prestação de serviços - vida de projeto).

De uma forma geral, as condições de dimensionamento se estabelecem pela necessidade de se cotejar os esforços atuantes impostos pelas cargas do tráfego e os esforços resistentes intrínsecos a cada material constituinte: constitui reivindicação fundamental que os esforços atuantes não sobrepujem os esforços resistentes, a serem definidos em função do número de repetições de carga previsto a incidir na estrutura durante sua vida de projeto (vida útil). Fundamentalmente, consideram-se como principais esforços atuantes aqueles que se desenvolvem no seio da estrutura, quais sejam:

- as tensões/extensões horizontais-radiais de tração que atuam as camadas betuminosas ou cimentadas, as quais atingem suas magnitudes máximas na fibra inferior - mais tracionada - correspondente à face inferior das respectivas camadas; tais esforços, surgentes em materiais dotados do denominado “efeito de placa”, respondem pela instalação do fenômeno da “fadiga”, prodígio consumitivo que se acumula com a repetição do número de aplicações de carga. Todo material externa um número máximo admissível de solicitações ou de repetições de uma carga com determinada magnitude, as quais, quando analisadas em conjunto, propiciam a determinação da lei de fadiga dos materiais. Desta forma, quando a repetição de esforços atuantes com determinada magnitude excede o número de repetições máximas admissíveis dos materiais, definido para uma determinada magnitude de carga (vida de fadiga), quebra-se a regra fundamental de qualquer composição estrutural, haja vista que sob tais condições instala-se uma inadequabilidade que responde pela surgência e evolução do trincamento das camadas e pelo colapso da estrutura;
- as tensões/extensões verticais de compressão, que atuam em todas as camadas do pavimento e no solo de fundação e que decrescem com a profundidade (bulbo de pressões), assumem maiores importâncias quando atuam no solo de fundação, o mais frágil dos materiais de constituição do sistema e que carece de maior proteção. Os esforços de compressão atuantes, quando repetidos sucessivamente, respondem pela imposição de um regime cumulativo de deformações permanentes aos materiais granulares e ao solo de fundação e, se este número de solicitações exceder à capacidade de resistência intrínseca do material, rompe-se também a regra fundamental que rege o comportamento estrutural: a repetição dos esforços solicitantes quando

ultrapassa a capacidade de resistência máxima admitida de cada material – traduzida pelo número de solicitações necessário para se promover a sua ruptura por puncionamento – verifica-se um acúmulo exagerado de deformação permanente e o colapso do pavimento.

Em resumo a metodologia desenvolvida tem por base a verificação de duas condições principais de dimensionamento:

○ **1ª Condição: Resistência à Fadiga das Camadas Betuminosas do Revestimento**

A camada de revestimento deverá apresentar espessura capaz de suportar a fadiga que lhe será imposta pelas futuras aplicações de carga, decorrentes da utilização do pavimento pelo tráfego usuário durante os próximos 10 anos;

○ **2ª Condição: Resistência às Deformações Permanentes do Solo de Fundação**

As camadas que compõem a estrutura do pavimento deverão apresentar espessuras que também garantam, concomitantemente, que as deformações permanentes acumuladas no pavimento apresentem, ao final da vida útil esperada, valores compatíveis com critérios estruturais e de segurança.

3.4.3.2.2. – Leis de Comportamento Seleccionadas para o presente Projeto de Pavimentação

• **Lei de Fadiga para Mistura Asfáltica**

No caso presente, adotou-se a lei de fadiga proposta pelo *The Asphalt Institute* para mistura asfáltica, traduzida pela equação:

$$N_f = FLC \times C \times 6,167 \times 10^{-5} \times \varepsilon^{-3,291} \times E^{-0,854}$$

onde:

- N_f = número terminal de solicitações do eixo-padrão rodoviário;
 FL = fator laboratório-campo. O valor recomendado é de 50, para 25% de área trincada;
 ε_t = deformação específica horizontal na fibra inferior da camada betuminosa;
 E = módulo de elasticidade da mistura, em MPa;
 C = fator de ajustagem na formulação de diferentes misturas conforme a equação abaixo.

$$C = 10^M \quad \text{em que} \quad M = 4,84 \times \left(\frac{V_b}{V_v + V_b} - 0,69 \right)$$

onde:

- V_v = volume de vazios;
 V_b = percentagem de volume de betume.

• **Lei de Deformação Permanente para o Solo de Fundação**

Na seleção da lei que estabelece o valor da deformação específica de compressão máxima admissível no solo de fundação considerou-se, dentre as várias leis previsionais publicadas por pesquisadores em estudos nacionais e internacionais, a equação desenvolvida por *Dormon & Metcalf* (“*Design curves for flexible pavements based on layered system theory.*” *Highway Research Record, Number 71, Flexible Pavement Design, Highway Research Board, Washington, D. C., 1965, pp. 69-84.*); esta lei de deformação permanente para o solo de fundação tem sido recomendada por diversas instituições, podendo-se citar dentre elas o Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo (DER-SP).

Dessa forma, adotou-se a equação preconizada por Dormon & Metcalf, reescrita da seguinte forma:

$$N = 6,069 \times 10^{-10} \times \left(\frac{1}{\varepsilon_v} \right)^{4,762}$$

onde:

- ε_v = deformação específica vertical máxima admissível no topo do subleito;
 N = número terminal de solicitações do eixo-padrão rodoviário.

- **Lei de Tensão na Fibra Inferior da Base de Brita Graduada Tratada com Cimento**

Em casos de estruturas que contemplam em sua camada de base a Brita Graduada Tratada com cimento, também é necessária realizar a verificação mecanicista quanto à fadiga na fibra inferior da camada. Para tal verificação, o Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo (DER-SP) recomenda em Instrução de Projeto a utilização da seguinte equação:

$$N_f = 10^{(17,137 - 19,608 RT)}$$

onde:

- N_f = número terminal de solicitações do eixo-padrão rodoviário;
 RT = relação entre a tensão de tração na flexão atuante e a tensão de tração na flexão de ruptura característica do material.

3.4.3.2.3. Programa de Análise Mecanística Selecionado

Uma vez definidos os parâmetros intervenientes e as leis comportamento, utilizou-se do Programa de Análise Elástica de Múltiplas Camadas para se obter os valores das tensões e deformações, bem como deflexões superficiais que são indispensáveis para verificação mecanicista da estrutura em questão. As seguintes premissas foram consideradas para o carregamento externo:

- ✓ pressão de inflação dos pneus considerada constante, igual a 80 psi (0,56 MPa ou 560 KPa);
- ✓ quatro cargas uniformemente distribuídas sobre áreas circulares correspondentes ao eixo-padrão de 8,2 tf;
- ✓ as magnitudes das cargas por rodas foram definidas dividindo-se a carga do eixo padrão pelo número de rodas, resultando assim: $8.200/4 = 2.050$ kgf ou 20.500 N, distribuídas em áreas circulares com $r = 10,79$ cm, ou seja, exercendo uma pressão de contato pneu-pavimento de 5,60 kgf/cm² (80 psi);
- ✓ sistema de distribuição das cargas num sistema de coordenadas X-Y, conforme ilustrado na figura apresentada a seguir, transposto para o sistema de coordenadas do AEMC, que considera o ponto entre as rodas como o ponto de coordenada (0;0).

Representação Gráfica do carregamento para análise

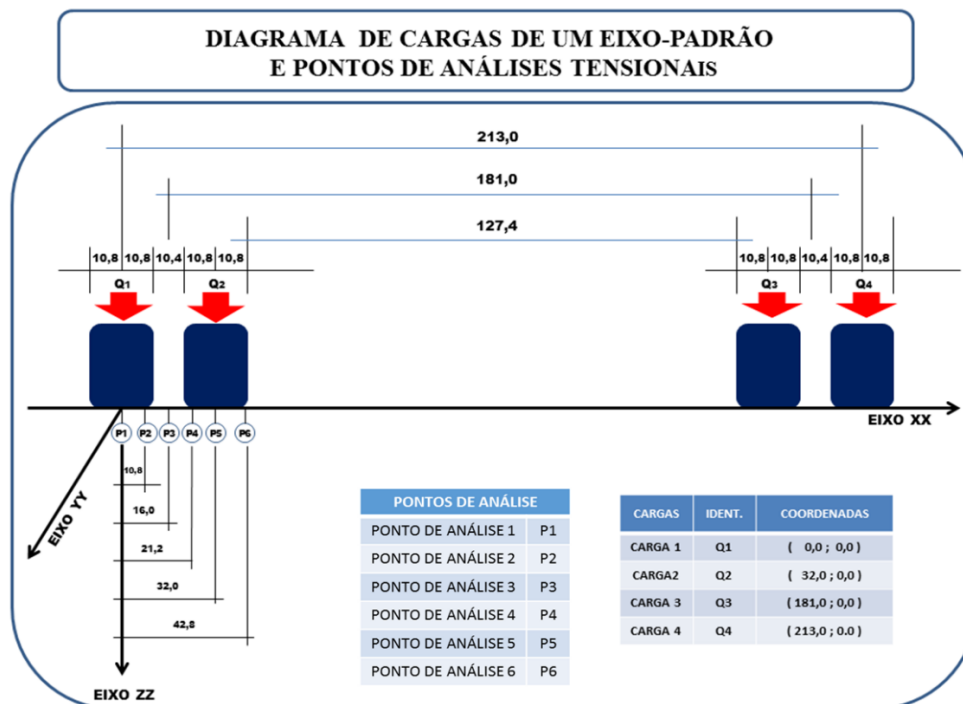


Figura 29 - Diagrama de carga de um Eixo-Padrão e pontos de análises tensionais

O Programa *de Análise Elástica de Múltiplas Camadas (AEMC)* permite, fundamentalmente, a determinação dos seguintes parâmetros de interesse na análise comportamental da estrutura:

- Deflexão superficial (U_z), em μm ;
- tensão de tração nas fibras inferiores das camadas asfálticas e bases cimentadas (S_x e S_y), em Mpa ;
- Tensão vertical no topo do subleito (S_z), em Mpa ;
- Tensões principais (s_1 , s_2 e s_3), em Mpa ;
- Extensão de tração na fibra inferior da camada asfáltica e base cimentada (E_x e E_y), em m/m ;
- Extensão vertical de compressão no topo do subleito (E_z), em m/m ;
- Deformações específicas principais (e_1 , e_2 e e_3), em m/m .

3.4.3.3. – Dimensionamento do Pavimento

3.4.3.3.1. – Implantação da Terceira Faixa

3.4.3.3.2. – Concepção da Solução e Definição dos Materiais

Para consecução desse procedimento mecanístico, tornou-se essencial a determinação dos materiais constituintes das camadas de revestimento, base e sub-base, de modo a permitir a definição dos módulos de rigidez e resiliência das referidas camadas. Com base nas informações das jazidas apresentadas nos Estudos Geotécnicos, bem como na distância média de transporte (DMT) e nas características externadas pelos materiais provenientes de cada uma delas, definiu-se o tipo de material empregado em cada uma das camadas do pavimento conforme apresentado a seguir.

Salienta-se que os materiais a serem empregados na constituição das camadas de base e sub-base deverão apresentar qualificações técnicas compatíveis com as equivalências estruturais anteriormente consideradas e cuja avaliação deve ser processada em função de suas respectivas características físicas e capacidades de suporte. No âmbito dessa definição, deve-se ter em consideração, concomitantemente, o atendimento pleno a todos os quesitos técnicos, associados às condições de disponibilidade dos materiais e adequadas relações custo-benefício.

Apesar de, no geral, o pavimento do acostamento apresentar boas condições estruturais, não se torna viável o seu aproveitamento por completo devido à questões executivas de maquinário. Além disso, a junção entre a estrutura nova e a antiga poderia se localizar, por questões geométricas, exatamente na trilha de roda interna da terceira faixa a ser implantada, gerando um trinca longitudinal do início ao fim e criando um ponto fraco exatamente onde são aplicadas as cargas do tráfego.

De forma a evitar que essa trinca longitudinal ocorra na trilha de roda interna da terceira faixa a ser implantada, julgou-se prudente executar a fresagem contínua do revestimento presente no acostamento existente e aproveitar de alguma forma as camadas granulares na terceira faixa a ser implantada, uma vez que os resultados obtidos tanto pela análise estrutural através do levantamento deflectométrico quanto pela análise do material coletado nos poços de inspeção mostraram que as características e condições do material existente permitem tal aproveitamento. Dessa forma, a junção entre as estruturas acontecerá efetivamente na divisão entre a faixa antiga e a nova, evitando que se crie um ponto fraco da estrutura na trilha de roda.

Os resultados obtidos – cujos resumos estatísticos são apresentados em detalhe na parte de Estudos Geotécnicos – vieram a evidenciar que o emprego do cascalho laterítico da estrutura do acostamento existente para composição da camada de sub-base, se apresenta bastante viável e pelo menos em princípio, adequado. Os ensaios de caracterização evidenciaram tratar-se de materiais:

- Não plásticos no caso do material da base existente, e com plasticidade média girando em torno de 6,52% no material da subbase do acostamento existente.
- CBR superiores a 50% no proctor intermediário, possuindo valores médios de 53,95% do material coletado da subbase existente e 66,61% para o material da base, ambas as camadas em cascalho laterítico;
- de expansão inferiores a 0,30%, com média de 0,32% no material coletado da base existente e 0,19% para a subbase.

Do exposto e da análise dos resultados obtidos, verifica-se que o cascalho laterítico proveniente das **camadas granulares do acostamento existente** atendem às necessidades para composição da camada de sub-base do pavimento. Ressalta-se ainda que, devido à concepção da remoção do acostamento existente, os segmentos definidos pela avaliação das deflexões reversíveis máximas do mesmo não serão utilizados para definição da proposta de solução.

Assim definido o material da camada de sub-base, se torna necessária a definição dos materiais a serem utilizados nas camadas de base e revestimento do pavimento. Assim considerando, e tendo em conta a ausência de jazidas de cascalho laterítico nas proximidades da região em questão, três soluções se apresentaram e estão descritas a seguir:

- ✓ **Alternativa I:** sub-base de cascalho laterítico proveniente das camadas granulares do acostamento existente + base de Solo – Brita (70% BGS – 30% Argila) + Revestimento em CBUQ com polímero;
- ✓ **Alternativa II:** sub-base de cascalho laterítico proveniente das camadas granulares do acostamento existente + base de brita graduada simples (BGS) + Revestimento em CBUQ com polímero;
- ✓ **Alternativa III:** sub-base de cascalho laterítico proveniente das camadas granulares do acostamento existente + base de Brita Graduada Tratada com Cimento (95% BGS – 5% cimento) + Camada Antirreflexão de Trincas (CART) + Revestimento em CBUQ com polímero.

A preferência da mistura de brita graduada com solo argiloso para constituição da camada de base e sub-base, em detrimento da brita graduada simples (BGS), deve-se principalmente aos seguintes fatores:

- Acréscimo da resistência ao cisalhamento: a introdução de material argiloso na mistura proporciona aporte de resistência ao cisalhamento à mistura final, através da incorporação da propriedade coesiva inerente a esse tipo de solo (representado pela parcela c' da envoltória de resistências de solos argilosos em condições drenadas). Desse modo, a adição dessa propriedade, somada às características naturais de atrito interno dos agregados pétreos, potencializa a resistência ao cisalhamento da mistura, sempre ditada pela combinação do atrito interno e da coesão (Lei de Coulomb: $\tau = c + \text{tg}\phi$), conforme ilustrado na figura a seguir:

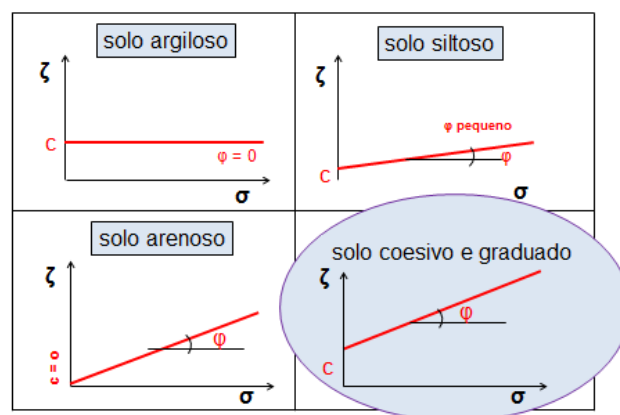


Figura 30 – Impacto do Atrito Interno e da Coesão na Resistência dos Materiais

- Proteção dos agregados pétreos: a resistência de camadas constituídas exclusivamente com agregados pétreos decorre fundamentalmente do atrito de suas arestas, e se torna tão mais acentuada quanto maior o “embricamento” ou “engavetamento” das partículas, ou seja, a resistência depende basicamente da densificação da camada constituída: quanto maior, mais resistente a camada. Entretanto, a repetição acentuada e severa das cargas provenientes do tráfego impõe naturalmente uma movimentação vertical à camada composta exclusivamente por agregados, a qual se processa através das movimentações diferenciais dos agregados, os quais se movem relativamente uns aos outros, “roçando” suas arestas, as quais acabam sendo moídas ao longo do tempo. Condicionados pela moagem sistemática e contínua das arestas, a camada pétrea se torna cada vez mais resiliente, condição esta que responde pela imposição de um regime de tração forçado, progressivo e cada vez mais severo às camadas asfálticas superiores, que culmina com suas rupturas impostas pelo fenômeno da fadiga; no caso presente, tal distorção nefasta se apresenta potencializada ao considerar que os agregados pétreos a serem utilizados são de natureza calcária, bastante brandos e de pequena resistência ao desgaste. Em suma, a moagem das arestas das britas quando aplicadas puras, na forma de BGS (sem mistura), resulta em uma diminuição substancial da resistência ao cisalhamento da camada – função unicamente do atrito de aresta entre os agregados – altamente comprometedor e indesejável.

Apesar da melhoria fornecida pela argila à BGS e do atendimento comprovado por ensaios dessa mistura aos requisitos para utilização em camadas de base, no presente caso em específico sua utilização é desfavorecida

pelo fato do agregado pétreo encontrado na região ser de origem calcária, ou seja, altamente frágil no que diz respeito à moagem e apresentando valores modulares baixos quando comparados à outras naturezas de agregado que resultam em demandas elevadas de espessuras que se tornam inviáveis de serem executadas.

Dessa forma, avaliou-se a Alternativa III, referente ao uso da Brita Graduada Tratada com Cimento, para indicação do presente projeto. Esse tipo de material estabilizado quimicamente apresenta elevada resistência mecânica, característica essa que é acrescida com o aumento do teor de cimento, afirmativa encontrada em diversas literaturas e corroborada pelos ensaios de resistência à compressão simples realizados pela consultora. Além disso a BGTC também apresenta valores modulares consideravelmente elevados, inclusive superiores aos módulos considerados para o concreto asfáltico, como observado na ***Instrução de Projeto IP-08 - Análise Mecanicista à Fadiga de Estruturas de Pavimento (DER - São Paulo)***.

Após tal análise, considerou-se a **Alternativa III** como a melhor alternativa, em acordo com a fiscalização do DER/DF, para se obter uma camada de base que atenda aos critérios geotécnicos expostos em norma, apresentando bom comportamento mecânico e valores modulares suficientes para não se ter um dimensionamento com espessuras inviáveis de serem executadas, principalmente no quesito econômico.

A Pedreira Contagem foi selecionada para coleta dos agregados pétreos a serem ensaiados em laboratório em mistura com cimento Portland e os resultados obtidos para o material tratado com 5% de cimento atenderam plenamente aos critérios estabelecidos pela especificação técnica publicada pelo DER/SP ET-DE-P00/009 – Sub-base ou base de brita graduada tratado com cimento – BGTC. O detalhamento dos ensaios realizados é exposto nos estudos geotécnicos.



Figura 31 – Usina localizada na Pedreira Contagem

Os materiais constituintes de cada camada, além da especificação de serviço a ser seguida para execução das mesmas estão expostos no quadro a seguir.

QUADRO 13 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO		
CAMADAS DO PAVIMENTO	MATERIAL CONSTITUINTE DAS CAMADAS DO PAVIMENTO	ESPECIFICAÇÕES
Revestimento	Concreto Asfáltico - Faixa C com polímero	DNER-ES 385/99
Base	Brita Graduada Tratada com 5% de Cimento (BGTC)	ET-DE-P00/009
Sub-base	Cascalho laterítico proveniente das camadas granulares do antigo acostamento existente	139/2010 - ES

Considerando os materiais previstos para a constituição das camadas de base e de sub-base e a natureza do solo de fundação, selecionaram-se os módulos de resiliência teóricos de acordo com as disposições contidas na *Instrução de Projeto IP-08 - Análise Mecanicista à Fadiga de Estruturas de Pavimento (DER - São Paulo)*, quais sejam:

QUADRO 14	
MÓDULO DE RESILIÊNCIA ADOTADO PARA O SUBLEITO	
REFERÊNCIA	ADOTADO
<p>Subleito Não laterítico:</p> $E_{SL} = 18(ICS_{SL})^{0,64}$ <p>onde:</p> <ul style="list-style-type: none"> - E_{SL} = Módulo de Resiliência do subleito - ICS_{SL} = Índice de Suporte Califórnia do Subleito 	<p>Considerando a análise estatística dos resultados de ISC/CBR, tem-se:</p> $ISC_{X_{mín}} = 10,00 \%$ <p>A partir do valor de $X_{mín}$ obteve-se o seguinte valor modular:</p> $E_{SUB} = 18(10,00)^{0,64}$ $E_{SUB} = 78,57 \text{ MPa}$ <p>E_{SUB} adotado = 75 MPa</p>

QUADRO 15	
MÓDULO DE RESILIÊNCIA ADOTADO PARA A SUB-BASE	
REFERÊNCIA	ADOTADO
<p>Sub-base Granular:</p> $E_{SUB} = 18(ICS_{SUB})^{0,64} \times \sqrt[3]{\frac{3 \times ICS_{SL}}{ICS_{SUB}}}$ <p>onde:</p> <ul style="list-style-type: none"> - E_{SUB} = Módulo de Resiliência da Subbase - ICS_{SUB} = Índice de Suporte Califórnia da Subbase - ICS_{SL} = Índice de Suporte Califórnia do Subleito 	<p>Considerando a análise estatística dos resultados de ISC/CBR, tem-se:</p> $ISC_{X_{mín}} = 45,50 \%$ <p>A partir do valor de $X_{mín}$ obteve-se o seguinte valor modular:</p> $E_{SUB} = 18(45,50)^{0,64} \times \sqrt[3]{\frac{3 \times 11,25}{45,50}}$ $E_{SUB} = 187,56 \text{ MPa}$ <p>E_{SUB} adotado = 185 MPa</p>

QUADRO 16	
MÓDULO DE RESILIÊNCIA ADOTADO PARA A BASE	
REFERÊNCIA	ADOTADO
<p>Brita Graduada Tratada com Cimento (5%)</p>	<p>E_B adotado = 7500 MPa</p>

Ressalta-se que foi utilizada a equação referente à solos não lateríticos para o subleito de forma à se obter valores seguros para os esforços resistentes, considerando ainda que o material do subleito de apenas cinco poços de inspeção foi classificado como cascalho laterítico, especificamente o PI-04, PI-08, PI-10, PI-11 e PI-40, havendo predominância de material argiloso.

A seguir são listados os módulos adotados para o dimensionamento mecânico:

- Base: 75.000 kgf/cm²;
- Sub-base: 1.850 kgf/cm²;
- Subleito: 750 kgf/cm²;

os quais, complementados pelo módulo de rigidez da mistura asfáltica selecionada:

- Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) com Polímero: 50.000 kgf/cm², de acordo com a recomendação da fiscalização do DER-DF;

permitiram calcular os esforços horizontais *atuantes* na fibra inferior da camada de reforço e os esforços verticais de compressão *atuantes* no topo do subleito e cotejá-los com os esforços *resistentes* intrínsecos a cada material constituinte, definidos para um número de aplicações de carga equivalentes de um eixo-padrão de 8,2 tf igual a $N_{AASHTO} = 3,77 \times 10^7$ e $N_{USACE} = 9,75 \times 10^7$, de acordo com as respectivas leis previsionais:

- lei de fadiga para a mistura asfáltica selecionada: The Asphalt Institute,
- lei de deformação permanente para o solo de fundação: Dormon & Metcalf e
- Lei de fadiga para Brita Graduada Tratada com Cimento: José Tadeu Balbo.

No processamento dos cálculos realizados através do Programa de Análise Elástica de Múltiplas Camadas (AEMC), procurou-se primeiramente avaliar a estrutura proposta pelo Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis do DNIT, conforme ilustrado a seguir.

Camada	Coef. de Poisson	Espessura (cm)	Módulo (Mpa)	Carga de Eixo:	8,2 tonf
1	0,3	12,5	5000	Pressão de Pneus:	0,56 Mpa
2	0,25	15	7500	Raio de Contato:	10,79 cm
3	0,35	15	185		
4	0,4	-	75		

Posição 1: X = 0,0 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
12,49	1	1,27E-01	1,30E-01	2,97E-01	0,00E+00	0,00E+00	-4,05E-02
27,49	2	-4,47E-01	-5,40E-01	2,14E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,83E-03
42,51	4	2,11E-03	1,55E-03	1,38E-02	0,00E+00	0,00E+00	-1,61E-03

Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)
12,49	1	0,00E+00	0,00E+00	4,40E-05	1,28E+00	0,00E+00	2,53E+02
27,49	2	-4,20E-05	-5,80E-05	3,60E-05	-6,66E+00	0,00E+00	2,48E+02
42,51	4	-5,40E-05	-6,40E-05	1,65E-04	-8,97E+00	0,00E+00	2,32E+02

Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
12,49	1	3,06E-01	1,30E-01	1,18E-01	4,60E-05	0,00E+00	-3,00E-06
27,49	2	2,14E-02	-4,47E-01	-5,40E-01	3,60E-05	-4,20E-05	-5,80E-05
42,51	4	1,41E-02	1,89E-03	1,55E-03	1,69E-04	-5,80E-05	-6,40E-05

Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
12,49	1	0,00E+00	0,00E+00	-2,10E-05	1,84E-01	8,62E-02	
27,49	2	0,00E+00	0,00E+00	-1,00E-06	-3,22E-01	2,46E-01	
42,51	4	0,00E+00	0,00E+00	-6,00E-05	5,83E-03	5,81E-03	

Posição 2: X = 10,8 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
12,49	1	1,37E-01	1,02E-01	1,53E-01	0,00E+00	0,00E+00	4,63E-02
27,49	2	-4,41E-01	-5,59E-01	2,16E-02	0,00E+00	0,00E+00	-8,28E-04
42,51	4	2,00E-03	1,56E-03	1,44E-02	0,00E+00	0,00E+00	-5,30E-04

Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)
12,49	1	1,20E-05	3,00E-06	1,60E-05	7,79E-01	0,00E+00	2,56E+02
27,49	2	-4,10E-05	-6,10E-05	3,60E-05	-2,09E+00	0,00E+00	2,53E+02
42,51	4	-5,80E-05	-6,60E-05	1,73E-04	-2,98E+00	0,00E+00	2,35E+02

Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
12,49	1	1,92E-01	1,02E-01	9,81E-02	2,60E-05	3,00E-06	2,00E-06
27,49	2	2,16E-02	-4,41E-01	-5,59E-01	3,60E-05	-4,10E-05	-6,10E-05
42,51	4	1,44E-02	1,98E-03	1,56E-03	1,73E-04	-5,90E-05	-6,60E-05

Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
12,49	1	0,00E+00	0,00E+00	2,40E-05	1,31E-01	4,34E-02	
27,49	2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-3,26E-01	2,51E-01	
42,51	4	0,00E+00	0,00E+00	-2,00E-05	5,98E-03	5,95E-03	

Figura 32 – Resultados dos cálculos do programa AEMC para estrutura proposta pelo Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis do DNIT

Camada	Coef. de Poisson	Espessura (cm)	Módulo (Mpa)	Carga de Eixo:	8,2 tonf
1	0,3	12,5	5000	Pressão de Pneus:	0,56 Mpa
2	0,25	15	7500	Raio de Contato:	10,79 cm
3	0,35	15	185		
4	0,4	-	75		

Posição 3: X = 16,0 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
12,49	1	1,40E-01	9,18E-02	1,00E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
27,49	2	-4,33E-01	-5,59E-01	2,15E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
42,51	4	1,99E-03	1,58E-03	1,44E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)
12,49	1	1,70E-05	4,00E-06	6,00E-06	0,00E+00	0,00E+00	2,56E+02
27,49	2	-4,00E-05	-6,10E-05	3,60E-05	0,00E+00	0,00E+00	2,53E+02
42,51	4	-5,90E-05	-6,60E-05	1,73E-04	0,00E+00	0,00E+00	2,35E+02

Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
12,49	1	1,40E-01	1,00E-01	9,18E-02	1,70E-05	6,00E-06	4,00E-06
27,49	2	2,15E-02	-4,33E-01	-5,59E-01	3,60E-05	-4,00E-05	-6,10E-05
42,51	4	1,44E-02	1,99E-03	1,58E-03	1,73E-04	-5,90E-05	-6,60E-05

Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
12,49	1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,11E-01	2,11E-02	
27,49	2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-3,24E-01	2,49E-01	
42,51	4	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,99E-03	5,95E-03	

Posição 4: X = 21,2 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
12,49	1	1,37E-01	1,02E-01	1,53E-01	0,00E+00	0,00E+00	-4,63E-02
27,49	2	-4,41E-01	-5,59E-01	2,16E-02	0,00E+00	0,00E+00	8,28E-04
42,51	4	2,00E-03	1,56E-03	1,44E-02	0,00E+00	0,00E+00	5,30E-04

Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)
12,49	1	1,20E-05	3,00E-06	1,60E-05	-7,79E-01	0,00E+00	2,56E+02
27,49	2	-4,10E-05	-6,10E-05	3,60E-05	2,09E+00	0,00E+00	2,53E+02
42,51	4	-5,80E-05	-6,60E-05	1,73E-04	2,98E+00	0,00E+00	2,35E+02

Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
12,49	1	1,92E-01	1,02E-01	9,81E-02	2,60E-05	3,00E-06	2,00E-06
27,49	2	2,16E-02	-4,41E-01	-5,59E-01	3,60E-05	-4,10E-05	-6,10E-05
42,51	4	1,44E-02	1,98E-03	1,56E-03	1,73E-04	-5,90E-05	-6,60E-05

Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
12,49	1	0,00E+00	0,00E+00	-2,40E-05	1,31E-01	4,34E-02	
27,49	2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-3,26E-01	2,51E-01	
42,51	4	0,00E+00	0,00E+00	2,00E-05	5,98E-03	5,95E-03	

Figura 33 – Resultados dos cálculos do programa AEMC para estrutura proposta pelo Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis do DNIT

Camada	Coef. de Poisson	Espessura (cm)	Módulo (Mpa)	Carga de Eixo:	8,2 tonf		
1	0,3	12,5	5000	Pressão de Pneus:	0,56 Mpa		
2	0,25	15	7500	Raio de Contato:	10,79 cm		
3	0,35	15	185				
4	0,4	-	75				
Posição 5: X = 32,0 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
12,49	1	1,27E-01	1,30E-01	2,97E-01	0,00E+00	0,00E+00	4,05E-02
27,49	2	-4,47E-01	-5,40E-01	2,14E-02	0,00E+00	0,00E+00	3,83E-03
42,51	4	2,11E-03	1,55E-03	1,38E-02	0,00E+00	0,00E+00	1,61E-03
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)
12,49	1	0,00E+00	0,00E+00	4,40E-05	-1,28E+00	0,00E+00	2,53E+02
27,49	2	-4,20E-05	-5,80E-05	3,60E-05	6,66E+00	0,00E+00	2,48E+02
42,51	4	-5,40E-05	-6,40E-05	1,65E-04	8,97E+00	0,00E+00	2,32E+02
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
12,49	1	3,06E-01	1,30E-01	1,18E-01	4,60E-05	0,00E+00	-3,00E-06
27,49	2	2,14E-02	-4,47E-01	-5,40E-01	3,60E-05	-4,20E-05	-5,80E-05
42,51	4	1,41E-02	1,89E-03	1,55E-03	1,69E-04	-5,80E-05	-6,40E-05
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
12,49	1	0,00E+00	0,00E+00	2,10E-05	1,84E-01	8,62E-02	
27,49	2	0,00E+00	0,00E+00	1,00E-06	-3,22E-01	2,46E-01	
42,51	4	0,00E+00	0,00E+00	6,00E-05	5,83E-03	5,81E-03	
Posição 6: X = 42,8 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
12,49	1	1,02E-01	9,07E-02	1,52E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,51E-01
27,49	2	-3,31E-01	-4,55E-01	1,80E-02	0,00E+00	0,00E+00	6,79E-03
42,51	4	2,47E-03	1,57E-03	1,26E-02	0,00E+00	0,00E+00	2,51E-03
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)
12,49	1	6,00E-06	3,00E-06	1,90E-05	-1,44E+00	0,00E+00	2,42E+02
27,49	2	-3,00E-05	-5,00E-05	2,90E-05	1,07E+01	0,00E+00	2,39E+02
42,51	4	-4,20E-05	-5,90E-05	1,46E-04	1,42E+01	0,00E+00	2,25E+02
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
12,49	1	2,81E-01	9,07E-02	-2,62E-02	5,20E-05	3,00E-06	-2,80E-05
27,49	2	1,81E-02	-3,31E-01	-4,55E-01	2,90E-05	-3,00E-05	-5,00E-05
42,51	4	1,32E-02	1,88E-03	1,57E-03	1,57E-04	-5,40E-05	-5,90E-05
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
12,49	1	0,00E+00	0,00E+00	7,90E-05	1,15E-01	1,26E-01	
27,49	2	0,00E+00	0,00E+00	2,00E-06	-2,56E-01	2,00E-01	
42,51	4	0,00E+00	0,00E+00	9,40E-05	5,54E-03	5,39E-03	

Figura 34 – Resultados dos cálculos do programa AEMC para estrutura proposta pelo Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis do DNIT

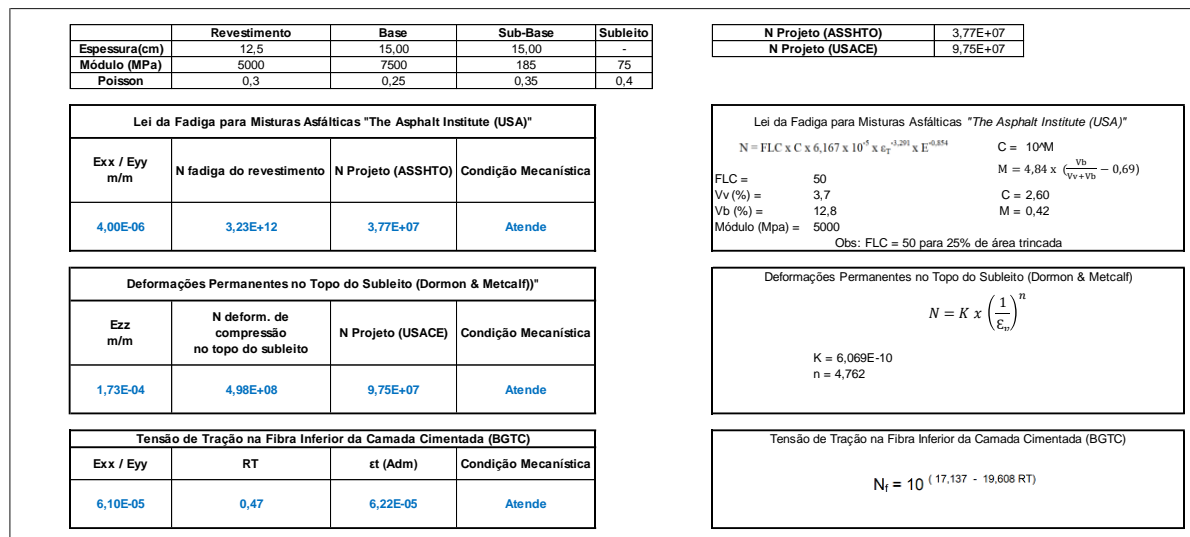


Figura 35 – Verificação da estrutura proposta pelo Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis do DNIT para atendimento às condições mecánísticas através dos dados obtidos no AEMC

Os resultados obtidos evidenciaram um pavimento adequado, em termos de compatibilização estrutural - com os esforços atuantes nunca sobrepujando os esforços resistentes – quando representado pela estrutura proposta pelo Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis do DNIT. Percebe-se que, no presente caso, a condição crítica da estrutura é a tensão de fração na fibra inferior da base de Brita Graduada Tratada com Cimento, uma vez que o valor de saída do software AEMC para a deformação em tal posição se mostrou relativamente próxima à admissível, apesar do atendimento com folga aos critérios de fadiga para misturas asfálticas e deformação permanente no topo do subleito.

A estrutura final apresentou as seguintes espessuras:

- **Revestimento asfáltico** = 12,5 cm;
- **Base granular** = 15,0 cm;
- **Sub-base granular** = 15,0 cm.

De forma complementar, como solicitado pela fiscalização do DER/DF, apresenta-se na próxima imagem a verificação mecánicista da estrutura proposta pelo Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis do DNIT considerando o revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente Faixa "C" sem polímero. Para tal, considerou-se o módulo de 3500 Mpa para o revestimento e os resultados mostraram que a estrutura dimensionada não resiste aos esforços de tração na fração inferior da camada de base cimentada. Dessa forma, uma espessura maior seria demandada para o atendimento à todos critérios mecánicistas, fazendo com que a consultora opte pela utilização do revestimento com polímero. Além disso, diversos benefícios fornecidos pelo modificador elastomérico favorecem tal escolha, como maior durabilidade, flexibilidade, coesão, melhoras nas propriedades mecánicas, entre outros, que são de extrema importância para um pavimento que será solicitado por cargas provenientes de um tráfego expresso por um Número "N" consideravelmente elevado.

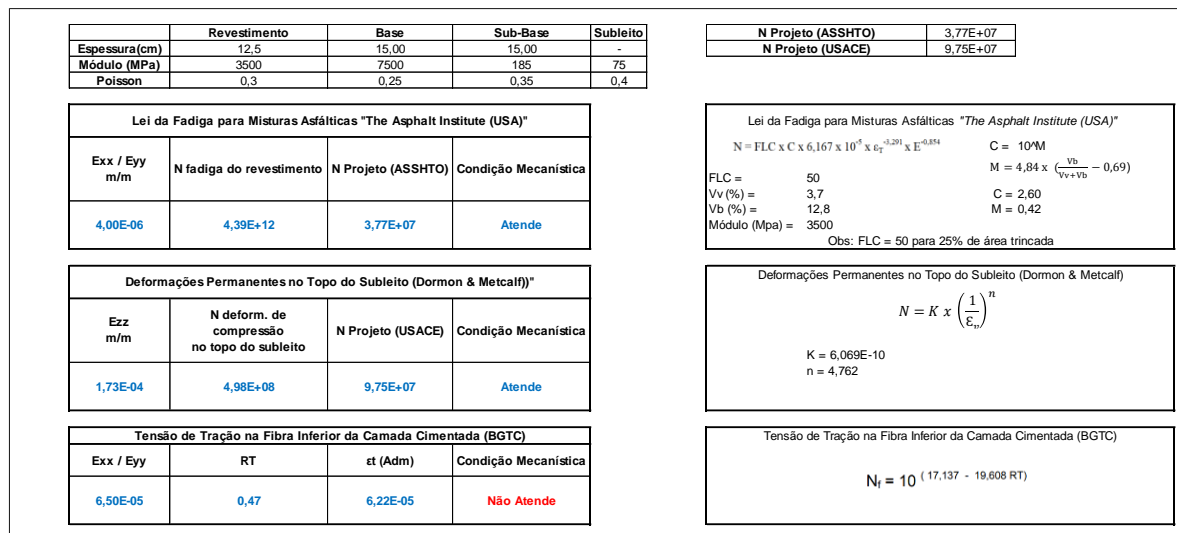


Figura 36 – Verificação da estrutura proposta pelo Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis do DNIT para atendimento às condições mecânicas através dos dados obtidos no AEMC – Revestimento sem polímero

3.4.3.3.3. – Controle Deflectométrico

Intencionando-se avaliar a homogeneidade e atendimento às condições exigíveis do processo executivo durante a construção são apresentados no presente tópico os valores de deflexão máximas - controle deflectométrico - admitidos no topo da camada do subleito, sub-base, base e revestimento asfáltico.

Camada	Coef. de Poisson	Espessura (cm)	Módulo (Mpa)	Carga de Eixo:	8,2 tonf		
1	0,3	4	5000	Pressão de Pneus:	0,56 Mpa		
2	0,3	4	5000	Raio de Contato:	10,79 cm		
3	0,3	3,5	5000				
4	0,25	15	7500				
5	0,35	15	185				
6	0,4	-	75				
Posição 1: X = 0,0 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,01	1	5,44E-01	5,84E-01	5,86E-01	0,00E+00	0,00E+00	-4,66E-03
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)
0,01	1	3,90E-05	4,90E-05	5,00E-05	6,17E+00	0,00E+00	2,52E+02
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,01	1	5,87E-01	5,84E-01	5,43E-01	5,00E-05	4,90E-05	3,80E-05
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,01	1	0,00E+00	0,00E+00	-2,00E-06	5,71E-01	1,98E-02	
Posição 2: X = 10,8 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,01	1	4,27E-01	4,39E-01	2,66E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,61E-01
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)
0,01	1	4,30E-05	4,60E-05	1,00E-06	2,45E+00	0,00E+00	2,51E+02
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,01	1	5,27E-01	4,39E-01	1,67E-01	6,90E-05	4,60E-05	-2,50E-05
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,01	1	0,00E+00	0,00E+00	8,40E-05	3,78E-01	1,53E-01	
Posição 3: X = 16,0 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,01	1	3,39E-01	3,67E-01	4,71E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)
0,01	1	4,30E-05	5,00E-05	-3,30E-05	0,00E+00	0,00E+00	2,48E+02
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,01	1	3,67E-01	3,39E-01	4,71E-02	5,00E-05	4,30E-05	-3,30E-05
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,01	1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,51E-01	1,45E-01	

Figura 37 – Resultado dos cálculos do programa AEMC para a terceira camada de revestimento - Página 1

Camada	Coef. de Poisson	Espessura (cm)	Módulo (Mpa)	Carga de Eixo:	8,2 tonf		
1	0,3	5	5000	Pressão de Pneus:	0,56 Mpa		
2	0,3	4	5000	Raio de Contato:	10,79 cm		
3	0,3	3,5	5000				
4	0,25	15	7500				
5	0,35	15	185				
6	0,4	-	75				
Posição 4: X = 21,2 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,01	1	4,27E-01	4,39E-01	2,66E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,61E-01
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (μm)	Uy (μm)	Uz (μm)
0,01	1	4,30E-05	4,60E-05	1,00E-06	-2,45E+00	0,00E+00	2,51E+02
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,01	1	5,27E-01	4,39E-01	1,67E-01	6,90E-05	4,60E-05	-2,50E-05
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,01	1	0,00E+00	0,00E+00	-8,40E-05	3,78E-01	1,53E-01	
Posição 5: X = 32,0 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,01	1	5,44E-01	5,84E-01	5,86E-01	0,00E+00	0,00E+00	4,66E-03
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (μm)	Uy (μm)	Uz (μm)
0,01	1	3,90E-05	4,90E-05	5,00E-05	-6,17E+00	0,00E+00	2,52E+02
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,01	1	5,87E-01	5,84E-01	5,43E-01	5,00E-05	4,90E-05	3,80E-05
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,01	1	0,00E+00	0,00E+00	2,00E-06	5,71E-01	1,98E-02	
Posição 6: X = 42,8 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,01	1	3,56E-01	3,99E-01	3,22E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,76E-01
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (μm)	Uy (μm)	Uz (μm)
0,01	1	2,80E-05	3,90E-05	1,90E-05	-9,39E+00	0,00E+00	2,38E+02
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,01	1	5,15E-01	3,99E-01	1,63E-01	6,90E-05	3,90E-05	-2,20E-05
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,01	1	0,00E+00	0,00E+00	9,10E-05	3,59E-01	1,47E-01	

Figura 38 – Resultado dos cálculos do programa AEMC para a terceira camada de revestimento - Página 2

Camada	Coef. de Poisson	Espessura (cm)	Módulo (Mpa)	Carga de Eixo: 8,2 tonf			
1	0,3	4	5000	Pressão de Pneus: 0,56 Mpa			
2	0,3	3,5	5000	Raio de Contato: 10,79 cm			
3	0,25	15	7500				
4	0,35	15	185				
5	0,4	-	75				
Posição 1: X = 0,0 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,01	1	6,08E-01	6,66E-01	5,96E-01	0,00E+00	0,00E+00	-7,38E-03
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)
0,01	1	4,60E-05	6,10E-05	4,30E-05	7,62E+00	0,00E+00	2,93E+02
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,01	1	6,66E-01	6,11E-01	5,92E-01	6,10E-05	4,70E-05	4,20E-05
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,01	1	0,00E+00	0,00E+00	-4,00E-06	6,23E-01	3,11E-02	
Posição 2: X = 10,8 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,01	1	5,13E-01	5,39E-01	2,89E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,57E-01
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)
0,01	1	5,30E-05	6,00E-05	-5,00E-06	2,98E+00	0,00E+00	2,94E+02
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,01	1	5,94E-01	5,39E-01	2,08E-01	7,40E-05	6,00E-05	-2,60E-05
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,01	1	0,00E+00	0,00E+00	8,20E-05	4,47E-01	1,70E-01	
Posição 3: X = 16,0 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,01	1	4,30E-01	4,71E-01	7,48E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)
0,01	1	5,30E-05	6,40E-05	-3,90E-05	0,00E+00	0,00E+00	2,91E+02
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,01	1	4,71E-01	4,30E-01	7,48E-02	6,40E-05	5,30E-05	-3,90E-05
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,01	1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,25E-01	1,78E-01	

Figura 39 – Resultado dos cálculos do programa AEMC para a segunda camada de revestimento - Página 1

Camada	Coef. de Poisson	Espessura (cm)	Módulo (Mpa)	Carga de Eixo: 8,2 tonf			
1	0,3	4	5000	Pressão de Pneus: 0,56 Mpa			
2	0,3	3,5	5000	Raio de Contato: 10,79 cm			
3	0,25	15	7500				
4	0,35	15	185				
5	0,4	-	75				
Posição 4: X = 21,2 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,01	1	5,13E-01	5,39E-01	2,89E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,57E-01
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (μm)	Uy (μm)	Uz (μm)
0,01	1	5,30E-05	6,00E-05	-5,00E-06	-2,98E+00	0,00E+00	2,94E+02
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,01	1	5,94E-01	5,39E-01	2,08E-01	7,40E-05	6,00E-05	-2,60E-05
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,01	1	0,00E+00	0,00E+00	-8,20E-05	4,47E-01	1,70E-01	
Posição 5: X = 32,0 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,01	1	6,08E-01	6,66E-01	5,96E-01	0,00E+00	0,00E+00	7,38E-03
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (μm)	Uy (μm)	Uz (μm)
0,01	1	4,60E-05	6,10E-05	4,30E-05	-7,62E+00	0,00E+00	2,93E+02
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,01	1	6,66E-01	6,11E-01	5,92E-01	6,10E-05	4,70E-05	4,20E-05
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,01	1	0,00E+00	0,00E+00	4,00E-06	6,23E-01	3,11E-02	
Posição 6: X = 42,8 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,01	1	4,07E-01	4,70E-01	3,36E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,77E-01
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (μm)	Uy (μm)	Uz (μm)
0,01	1	3,30E-05	4,90E-05	1,50E-05	-1,15E+01	0,00E+00	2,76E+02
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,01	1	5,52E-01	4,70E-01	1,91E-01	7,10E-05	4,90E-05	-2,30E-05
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,01	1	0,00E+00	0,00E+00	9,20E-05	4,04E-01	1,54E-01	

Figura 40 – Resultado dos cálculos do programa AEMC para a segunda camada de revestimento - Página 2

Camada	Coef. de Poisson	Espessura (cm)	Módulo (Mpa)	Carga de Eixo: 8,2 tonf			
1	0,3	3,5	5000	Pressão de Pneus:	0,56 Mpa		
2	0,25	15	7500	Raio de Contato:	10,79 cm		
3	0,35	15	185				
4	0,4	-	75				
Posição 1: X = 0,0 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,01	1	6,85E-01	7,64E-01	6,18E-01	0,00E+00	0,00E+00	-9,50E-03
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (μm)	Uy (μm)	Uz (μm)
0,01	1	5,40E-05	7,50E-05	3,70E-05	8,74E+00	0,00E+00	3,34E+02
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,01	1	7,64E-01	6,86E-01	6,17E-01	7,50E-05	5,40E-05	3,60E-05
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,01	1	0,00E+00	0,00E+00	-5,00E-06	6,89E-01	6,05E-02	
Posição 2: X = 10,8 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,01	1	5,85E-01	6,43E-01	3,21E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,53E-01
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (μm)	Uy (μm)	Uz (μm)
0,01	1	5,90E-05	7,40E-05	-9,00E-06	3,26E+00	0,00E+00	3,38E+02
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,01	1	6,55E-01	6,43E-01	2,51E-01	7,70E-05	7,40E-05	-2,80E-05
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,01	1	0,00E+00	0,00E+00	8,00E-05	5,16E-01	1,88E-01	
Posição 3: X = 16,0 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,01	1	5,01E-01	5,78E-01	1,18E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (μm)	Uy (μm)	Uz (μm)
0,01	1	5,90E-05	7,80E-05	-4,10E-05	0,00E+00	0,00E+00	3,36E+02
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,01	1	5,78E-01	5,01E-01	1,18E-01	7,80E-05	5,90E-05	-4,10E-05
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,01	1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,99E-01	2,01E-01	

Figura 41 – Resultado dos cálculos do programa AEMC para a primeira camada de revestimento - Página 1

Camada	Coef. de Poisson	Espessura (cm)	Módulo (Mpa)	Carga de Eixo:	8,2 tonf		
1	0,3	12,5	5000	Pressão de Pneus:	0,56 Mpa		
2	0,25	15	7500	Raio de Contato:	10,79 cm		
3	0,35	15	185				
4	0,4	-	75				
Posição 4: X = 21,2 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,01	1	5,85E-01	6,43E-01	3,21E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,53E-01
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (μm)	Uy (μm)	Uz (μm)
0,01	1	5,90E-05	7,40E-05	-9,00E-06	-3,26E+00	0,00E+00	3,38E+02
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,01	1	6,55E-01	6,43E-01	2,51E-01	7,70E-05	7,40E-05	-2,80E-05
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,01	1	0,00E+00	0,00E+00	-8,00E-05	5,16E-01	1,88E-01	
Posição 5: X = 32,0 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,01	1	6,85E-01	7,64E-01	6,18E-01	0,00E+00	0,00E+00	9,50E-03
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (μm)	Uy (μm)	Uz (μm)
0,01	1	5,40E-05	7,50E-05	3,70E-05	-8,74E+00	0,00E+00	3,34E+02
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,01	1	7,64E-01	6,86E-01	6,17E-01	7,50E-05	5,40E-05	3,60E-05
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,01	1	0,00E+00	0,00E+00	5,00E-06	6,89E-01	6,05E-02	
Posição 6: X = 42,8 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,01	1	4,52E-01	5,44E-01	3,56E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,80E-01
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (μm)	Uy (μm)	Uz (μm)
0,01	1	3,60E-05	6,00E-05	1,10E-05	-1,33E+01	0,00E+00	3,13E+02
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,01	1	5,90E-01	5,44E-01	2,18E-01	7,20E-05	6,00E-05	-2,40E-05
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,01	1	0,00E+00	0,00E+00	9,30E-05	4,51E-01	1,66E-01	

Figura 42 – Resultado dos cálculos do programa AEMC para a primeira camada de revestimento - Página 2

Camada	Coef. de Poisson	Espessura (cm)	Módulo (Mpa)	Carga de Eixo: 8,2 tonf			
1	0,3	15	7500	Pressão de Pneus:	0,56 Mpa		
2	0,25	15	185	Raio de Contato:	10,79 cm		
3	0,35	0	75				
4	0,4	-	0				
Posição 1: X = 0,0 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,01	1	1,20E+00	1,42E+00	5,60E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (μm)	Uy (μm)	Uz (μm)
0,01	1	9,30E-05	1,31E-04	-1,30E-05	1,23E+01	0,00E+00	3,90E+02
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,01	1	1,42E+00	1,20E+00	5,60E-01	1,31E-04	9,30E-05	-1,30E-05
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,01	1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,06E+00	3,65E-01	
Posição 2: X = 10,8 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,01	1	9,02E-01	1,28E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (μm)	Uy (μm)	Uz (μm)
0,01	1	7,80E-05	1,40E-04	-7,30E-05	2,95E+00	0,00E+00	3,96E+02
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,01	1	1,28E+00	9,02E-01	0,00E+00	1,40E-04	7,80E-05	-7,30E-05
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,01	1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,27E-01	5,37E-01	
Posição 3: X = 16,0 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,01	1	6,29E-01	1,15E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (μm)	Uy (μm)	Uz (μm)
0,01	1	4,60E-05	1,32E-04	-5,90E-05	0,00E+00	0,00E+00	3,95E+02
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,01	1	1,15E+00	6,29E-01	0,00E+00	1,32E-04	4,60E-05	-5,90E-05
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,01	1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,92E-01	4,69E-01	

Figura 43 – Resultados dos cálculos do programa AEMC para camada de Base – Página 1

Camada	Coef. de Poisson	Espessura (cm)	Módulo (Mpa)	Carga de Eixo:	8,2 tonf		
1	0,3	12,5	5000	Pressão de Pneus:	0,56 Mpa		
2	0,25	15	7500	Raio de Contato:	10,79 cm		
3	0,35	15	185				
4	0,4	-	75				
Posição 4: X = 21,2 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,01	1	9,02E-01	1,28E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (μm)	Uy (μm)	Uz (μm)
0,01	1	7,80E-05	1,40E-04	-7,30E-05	-2,95E+00	0,00E+00	3,96E+02
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,01	1	1,28E+00	9,02E-01	0,00E+00	1,40E-04	7,80E-05	-7,30E-05
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,01	1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,27E-01	5,37E-01	
Posição 5: X = 32,0 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,01	1	1,20E+00	1,42E+00	5,60E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (μm)	Uy (μm)	Uz (μm)
0,01	1	9,30E-05	1,31E-04	-1,30E-05	-1,23E+01	0,00E+00	3,90E+02
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,01	1	1,42E+00	1,20E+00	5,60E-01	1,31E-04	9,30E-05	-1,30E-05
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,01	1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,06E+00	3,65E-01	
Posição 6: X = 42,8 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,01	1	6,89E-01	1,08E+00	5,60E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (μm)	Uy (μm)	Uz (μm)
0,01	1	3,70E-05	1,02E-04	1,60E-05	-2,07E+01	0,00E+00	3,60E+02
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,01	1	1,08E+00	6,89E-01	5,60E-01	1,02E-04	3,70E-05	1,60E-05
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,01	1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,75E-01	2,19E-01	

Figura 44 – Resultados dos cálculos do programa AEMC para camada de Base – Página 2

Camada	Coef. de Poisson	Espessura (cm)	Módulo (Mpa)	Carga de Eixo: 8,2 tonf			
1	0,35	15	185	Pressão de Pneus: 0,56 Mpa			
2	0,4	0	75	Raio de Contato: 10,79 cm			
Posição 1: X = 0,0 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,01	1	5,68E-01	6,14E-01	5,60E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)
0,01	1	8,50E-04	1,19E-03	7,90E-04	5,13E+01	0,00E+00	1,14E+03
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,01	1	6,14E-01	5,68E-01	5,60E-01	1,19E-03	8,50E-04	7,90E-04
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,01	1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,81E-01	2,39E-02	
Posição 2: X = 10,8 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,01	1	2,48E-01	3,53E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)
0,01	1	6,72E-04	1,44E-03	-1,14E-03	-4,84E+00	0,00E+00	9,89E+02
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,01	1	3,53E-01	2,48E-01	0,00E+00	1,44E-03	6,72E-04	-1,14E-03
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,01	1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,00E-01	1,48E-01	
Posição 3: X = 16,0 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,01	1	-3,57E-02	1,85E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)
0,01	1	-5,43E-04	1,07E-03	-2,83E-04	0,00E+00	0,00E+00	8,93E+02
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,01	1	1,85E-01	0,00E+00	-3,57E-02	1,07E-03	-2,83E-04	-5,43E-04
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,01	1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,99E-02	9,68E-02	

Figura 45 – Resultados dos cálculos do programa AEMC para camada de sub-base – Página 1

Camada	Coef. de Poisson	Espessura (cm)	Módulo (Mpa)	Carga de Eixo:	8,2 tonf		
1	0,35	15	185	Pressão de Pneus:	0,56 Mpa		
2	0,4	0	75	Raio de Contato:	10,79 cm		
Posição 4: X = 21,2 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,01	1	2,48E-01	3,53E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (μm)	Uy (μm)	Uz (μm)
0,01	1	6,72E-04	1,44E-03	-1,14E-03	4,84E+00	0,00E+00	9,89E+02
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,01	1	3,53E-01	2,48E-01	0,00E+00	1,44E-03	6,72E-04	-1,14E-03
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,01	1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,00E-01	1,48E-01	
Posição 5: X = 32,0 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,01	1	5,68E-01	6,14E-01	5,60E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (μm)	Uy (μm)	Uz (μm)
0,01	1	8,50E-04	1,19E-03	7,90E-04	-5,13E+01	0,00E+00	1,14E+03
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,01	1	6,14E-01	5,68E-01	5,60E-01	1,19E-03	8,50E-04	7,90E-04
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,01	1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,81E-01	2,39E-02	
Posição 6: X = 42,8 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,01	1	2,49E-01	3,64E-01	5,60E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (μm)	Uy (μm)	Uz (μm)
0,01	1	-3,99E-04	4,34E-04	1,87E-03	-1,15E+02	0,00E+00	8,39E+02
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,01	1	5,60E-01	3,64E-01	2,49E-01	1,87E-03	4,34E-04	-3,99E-04
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,01	1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,91E-01	1,28E-01	

Figura 46 – Resultados dos cálculos do programa AEMC para camada de sub-base – Página 2

Camada	Coef. de Poisson	Espessura (cm)	Módulo (Mpa)	Carga de Eixo: 8,2 tonf			
1	0,35	0,1	185	Pressão de Pneus: 0,56 Mpa			
2	0,4	0	75	Raio de Contato: 10,79 cm			
Posição 1: X = 0,0 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,11	1	5,82E-01	6,13E-01	5,60E-01	0,00E+00	0,00E+00	2,00E-06
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (μm)	Uy (μm)	Uz (μm)
0,11	1	9,10E-04	1,14E-03	8,66E-04	3,47E+01	0,00E+00	1,58E+03
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,11	1	6,23E-01	5,82E-01	5,49E-01	1,33E-03	9,14E-04	6,72E-04
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,11	1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,85E-01	3,06E-02	
Posição 2: X = 10,8 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,11	1	2,48E-01	2,94E-01	1,17E-02	0,00E+00	0,00E+00	8,36E-03
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (μm)	Uy (μm)	Uz (μm)
0,11	1	7,80E-04	1,08E-03	-9,32E-04	-2,77E+00	0,00E+00	1,19E+03
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,11	1	3,06E-01	2,45E-01	2,68E-03	1,31E-03	7,25E-04	-1,10E-03
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,11	1	0,00E+00	0,00E+00	3,12E-04	1,85E-01	1,32E-01	
Posição 3: X = 16,0 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,11	1	-1,56E-01	1,26E-01	4,78E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (μm)	Uy (μm)	Uz (μm)
0,11	1	-1,05E-03	9,78E-04	3,60E-05	0,00E+00	0,00E+00	9,62E+02
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,11	1	1,29E-01	2,55E-03	-1,61E-01	1,03E-03	7,50E-05	-1,15E-03
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,11	1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-9,90E-03	1,19E-01	

Figura 47 – Resultados dos cálculos do programa AEMC para camada de subleito – Página 1

Camada	Coef. de Poisson	Espessura (cm)	Módulo (Mpa)	Carga de Eixo:	8,2 tonf		
1	0,35	0,1	185	Pressão de Pneus:	0,56 Mpa		
2	0,4	0	75	Raio de Contato:	10,79 cm		
Posição 4: X = 21,2 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,11	1	2,48E-01	2,94E-01	1,17E-02	0,00E+00	0,00E+00	-8,36E-03
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (μm)	Uy (μm)	Uz (μm)
0,11	1	7,80E-04	1,08E-03	-9,32E-04	2,77E+00	0,00E+00	1,19E+03
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,11	1	3,06E-01	2,45E-01	2,68E-03	1,31E-03	7,25E-04	-1,10E-03
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,11	1	0,00E+00	0,00E+00	-3,12E-04	1,85E-01	1,32E-01	
Posição 5: X = 32,0 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,11	1	5,82E-01	6,13E-01	5,60E-01	0,00E+00	0,00E+00	-2,00E-06
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (μm)	Uy (μm)	Uz (μm)
0,11	1	9,10E-04	1,14E-03	8,66E-04	-3,47E+01	0,00E+00	1,58E+03
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,11	1	6,23E-01	5,82E-01	5,49E-01	1,33E-03	9,14E-04	6,72E-04
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,11	1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,85E-01	3,06E-02	
Posição 6: X = 42,8 cm; Y = 0,0 cm							
Tensões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Sx (MPa)	Sy (MPa)	Sz (MPa)	Sxy (MPa)	Syz (MPa)	Sxz (MPa)
0,11	1	2,01E-01	3,30E-01	5,46E-01	0,00E+00	0,00E+00	8,72E-03
Deformações e Deflexões Normais							
Posição em Z (cm)	Camada	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)	Ux (μm)	Uy (μm)	Uz (μm)
0,11	1	-5,75E-04	3,52E-04	2,01E-03	-8,49E+01	0,00E+00	1,06E+03
Tensões e Deformações Principais							
Posição em Z (cm)	Camada	s1 (MPa)	s2 (MPa)	s3 (MPa)	e1 (m/m)	e2 (m/m)	e3 (m/m)
0,11	1	5,53E-01	3,30E-01	1,94E-01	2,13E-03	3,52E-04	-6,96E-04
Deformações Específicas de Cisalhamento e Tensões octaédricas							
Posição em Z (cm)	Camada	Exy (m/m)	Eyz (m/m)	Exz (m/m)	sOctNor (MPa)	sOctCis (MPa)	
0,11	1	0,00E+00	0,00E+00	3,25E-04	3,59E-01	1,48E-01	

Figura 48 – Resultados dos cálculos do programa AEMC para camada de subleito – Página 2

QUADRO 17 DEFLEXÕES MÁXIMAS	
Camada	Deflexão
Terceira camada de Revestimento	25×10^{-2} mm
Segunda camada de Revestimento	29×10^{-2} mm
Primeira camada de Revestimento	34×10^{-2} mm
Base	40×10^{-2} mm
Sub-base	114×10^{-2} mm
Subleito	158×10^{-2} mm

3.4.3.4. – Estrutura Selecionada para o Pavimento

Após os cálculos efetuados utilizando-se as duas metodologias citadas anteriormente e considerando a estrutura que atende efetivamente à todos os critérios clássicos da Mecânica dos Pavimentos, garantindo-se que os esforços atuantes não ultrapassem os esforços resistentes intrínsecos de cada material constituinte, julgou-se necessário e importante a avaliação dessa estrutura sendo executada como um encaixe à uma estrutura já existente, como é o caso do presente projeto.

A primeira situação a ser considerada diz respeito à necessidade de evitar que a junção entre o pavimento novo e o antigo se localize na trilha de roda da pista a ser implantada, o que é resolvido pela fresagem contínua do revestimento presente no acostamento existente e espalhamento do material granular da base e sub-base para composição da nova sub-base da estrutura alargada. Dessa forma, evita-se que se crie um ponto de extrema fragilidade na trilha de roda da faixa a ser implantada, que naturalmente culminaria no surgimento de patologias e manifestações de ruína na parcela longitudinal mais solicitada da faixa, principalmente em uma via com um tráfego elevadíssimo expresso por um Número “N” próximo de 10^8 .

Além disso, em situações como essa, é desejável que o pavimento novo apresente espessuras e materiais semelhantes aos do pavimento existente, de modo a evitar ao máximo diferenças de trabalhabilidade e comportamento entre as duas estruturas de idades distintas e, conseqüentemente, o surgimento de uma trinca longitudinal ao longo de toda a extensão de projeto. No presente caso, devido à ausência de jazidas de cascalho laterítico para composição da base, como citado em tópicos anteriores, se tornou necessária e viável tecnicamente a utilização da Brita Graduada Tratada com Cimento.

É de conhecimento geral que camadas cimentadas são suscetíveis à retração, fenômeno referente à variações volumétricas causadas pela perda de água (cura). Por esse motivo, além de outros, camadas compostas por BGTC sofrem com elevado grau de trincamento que, caso não combatido, ascenderá e será espelhado na superfície da camada asfáltica de revestimento. Esse espelhamento ocorre devido à aderência entre as camadas de base e de revestimento, uma vez que a camada asfáltica não acompanha a variação volumétrica incondicional da base cimentada. Dessa forma, para combater esse fenômeno, utiliza-se uma camada denominada Camada Antirreflexão de Trincas (CART) que, motivada pelo elevado teor de vazios, adequa-se na funcionalidade de evitar que as trincas com origem na camada de base proliferem e alcancem a superfície do pavimento. As trincas necessitam de um meio sólido para se propagarem, sendo os vazios regiões do material onde as tensões são aliviadas e as trincas são dissipadas.

Ademais, no presente caso, estrutura do pavimento existente se mostrou bastante variada no que diz respeito às espessuras, situação identificada nas camadas granulares, mas principalmente no revestimento asfáltico, como consequência dos diversos procedimentos de “recapeamento” executados na via que resultaram em espessuras que beiram 30,00 cm em determinados pontos. Dessa forma, ao se definir uma estrutura para o pavimento novo com determinada espessura, naturalmente haverá divergência em muitos pontos da via em relação ao pavimento existente, além da diferença do próprio material constituinte da camada de base, como já citado anteriormente.

Portanto, julgou-se pertinente a indicação do escalonamento das camadas granulares do próprio pavimento, com diferenças em torno de 20,0 cm entre as mesmas. Tal procedimento contribui para a prevenção do surgimento da trinca longitudinal ao longo da extensão da faixa adicional ao evitar que a junção entre as estruturas fique localizada em um único ponto de fragilidade no pavimento.



Figura 49 – Revestimento espesso – Poço de inspeção 34.

Além disso, por se tratar de uma importante rota do Distrito Federal que atende um tráfego consideravelmente elevado expresso por um Número “N” que tangencia a casa de 10⁸, foi avaliado e definido, em conjunto e acordo com a fiscalização do DER/DF, que a utilização da geogrelha flexível de alta resistência à tração na interseção entre o pavimento novo e o antigo se mostra como uma boa alternativa para aumentar a vida útil do pavimento e contribuir para evitar o surgimento da trinca longitudinal como consequência de acomodações diferenciais.

Para a execução do procedimento com geogrelha flexível, é importante o entendimento de que a mesma apresenta duas funções principais: conferir uma maior resistência à tração à mistura asfáltica e contribuir no combate ao surgimento de fissuras que surgem na fibra inferior do revestimento e tendem a ascender até alcançar a superfície ou que surgem devido à acomodação da estrutura. No presente caso, a principal motivação para a indicação da geogrelha é o risco de surgimento de uma trinca longitudinal ao longo da extensão do trecho devido à junta construtiva, não havendo nenhuma consideração do uso do material para o dimensionamento do pavimento.

Posto isso, levando em consideração a espessura de 12,5 cm definida para o revestimento da faixa adicional a ser implantada do presente projeto, julgou-se pertinente a indicação da execução de tal espessura em 3 camadas de CBUQ faixa “C”, sendo a primeira de 3,5 cm, a segunda de 4,0 cm e a última de 5,0 cm, como solicitado pela fiscalização do DER/DF. Dessa forma, a geogrelha deve ser aplicada na profundidade de 5,0 cm, entre a segunda e a última camada de revestimento. Ressalta-se ainda que a terceira camada de CBUQ, com espessura de 5,0 cm, não será executada no acostamento, culminando em um degrau nessa mesma espessura entre a pista de rolamento e o acostamento.

Para a aplicação da geogrelha, é necessária também a fresagem do revestimento da faixa de tráfego existente na largura de 1,5 metros, largura essa definida de forma a evitar que a junta entre o revestimento novo e o antigo se localize na trilha de roda da faixa de tráfego já existente. A profundidade de fresagem será de 5,0 cm, de forma a se alcançar a posição em que a geogrelha será implantada. Ressalta-se ainda que a geogrelha terá largura de 1,0 m, se localizando na junta entre as estruturas e garantindo uma ancoragem de 0,50 m para cada lado. Após tal procedimento, o revestimento em CBUQ Faixa “C” com polímero será executado na largura fresada da pista existente e no alargamento da estrutura, de forma a alcançar a espessura determinada pelo dimensionamento.

QUADRO 18
ESTRUTURA DIMENSIONADA PARA O PAVIMENTO (COTEJAMENTO DOS MÉTODOS)

Estaca Inicial	Estaca Final	Camadas do pavimento	Espessura (cm)	Material constituinte das camadas do pavimento	Especificação	
			Pista			
0	428	Revestimento	12,50	Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) – Faixa “C” com Polímero	DNER-ES 385/99	
		Base	15,00		Brita Graduada Tratada com Cimento (5%)	ET-DE-P00/009
		Sub-base	15,00		Cascalho laterítico proveniente das camadas granulares do acostamento existente	DNIT 139/2010 - ES
		Subleito	CBR _{mín} = 10%		DNIT 137/2010 – ES	

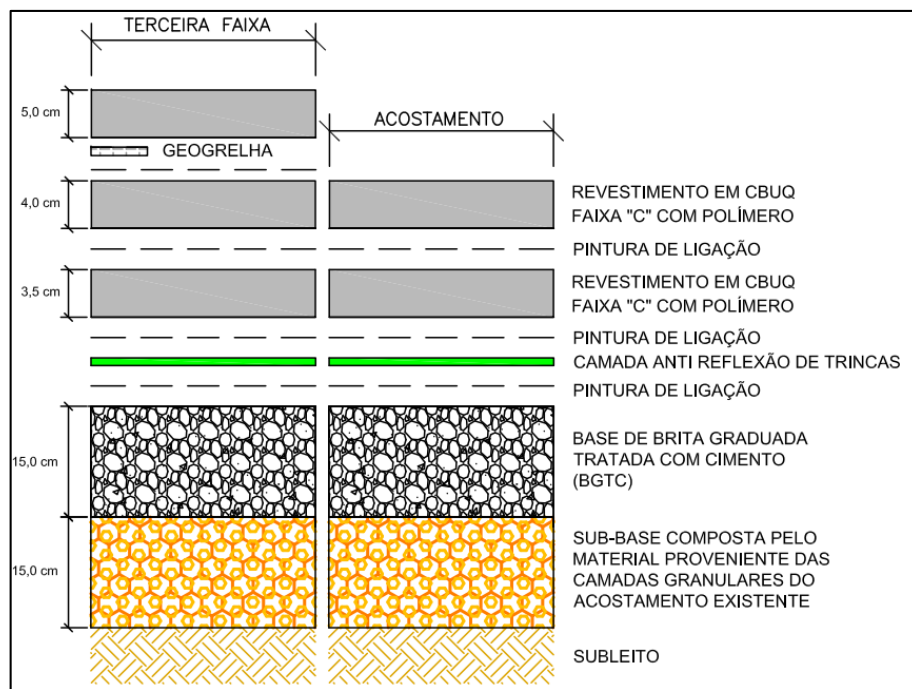


Figura 50 - Detalhe da Estrutura da Pista a ser implantada

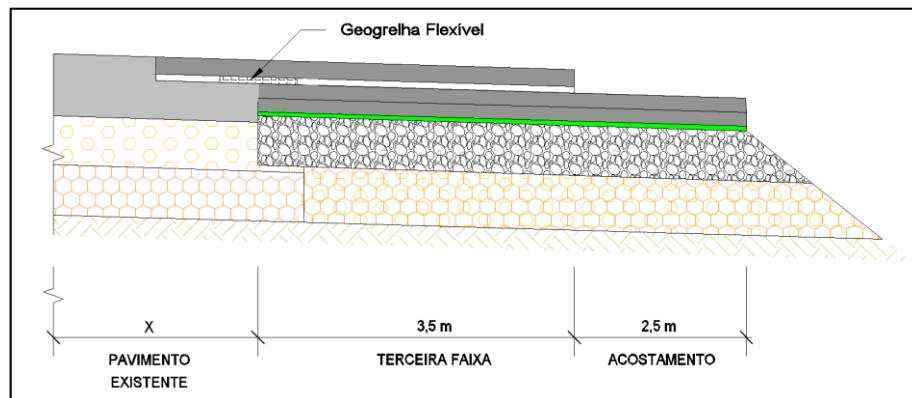


Figura 51 – Seção Tipo da Estrutura Escalonada com Geogrelha

3.4.4. Especificações de Serviços e de Materiais

Lista-se a seguir as especificações de Serviço e de Materiais a serem recomendadas para execução dos serviços:

- NORMA DNIT 159/2011-ES - Pavimentos asfálticos – Fresagem a frio – Especificação de serviço;
- NORMA DNIT 145/2012-ES: Pavimentação – Pintura de ligação com ligante asfáltico – Especificação de serviço;
- NORMA DNER-ES 395/99 - Pavimentação - pintura de ligação com asfalto polímero – Especificação de serviço;
- NORMA DNIT 139/2010 - ES: Pavimentação – Sub-base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço;
- NORMA ET-DE-P00/009 – Sub-base ou base de brita graduada tratada com cimento – BGTC – Especificação Técnica;
- NORMA DNIT 137/2010- ES: Pavimentação – Regularização do subleito - Especificação de serviço;
- NORMA DNER – ES 385/99: Pavimentação – Concreto asfáltico com asfalto polímero;
- NORMA DNIT 129/2011 – EM: Cimento Asfáltico de Petróleo Modificado com Polímero Elastomérico;
- NORMA DNER – ES 392/99: Pavimentação – Tratamento Superficial Duplo com Asfalto Polímero.

3.4.5. Etapas Construtivas e Especificações de Serviço

a. Fresagem do Revestimento

A camada de revestimento do acostamento existente deve ser removida continuamente na sua espessura total por processo mecânico à frio. Os materiais utilizados, os equipamentos necessários, o processo executivo, o controle e aceitação do serviço devem estar em acordo com a NORMA DNIT 159/2011-ES - Pavimentos asfálticos – Fresagem a frio – Especificação de serviço.

O mesmo procedimento deverá ser realizado na pista existente para a aplicação da geogrelha, em uma largura de 1,5 metros e profundidade de 5,0 cm, de força a se alcançar a espessura onde o material será aplicado.

O material asfáltico fresado será destinado ao 1º Distrito Rodoviário do DER-DF, localizado a 3,1 km do eixo da via em questão, na estaca 1075 de projeto da pista Norte ou ao Parque Rodoviário do DER-DF, localizado a 2,2 km do eixo da via na estaca final da Pista Sul, escolha essa que deve almejar a menor distância de transporte de acordo com a posição do trecho.



Figura 52 – Localização do 1º Distrito Rodoviário e do Parque Rodoviário do DER/DF.

b. Regularização do Subleito

Em casos de aterros, como explicitado na norma DNIT 109/2009 – ES: Terraplenagem – Aterros – Especificação de Serviço, a camada final (60,0 cm de espessura) deverá apresentar a melhor capacidade de suporte ($CBR \geq CBR_{PROJ} \geq 10\%$) e expansão menor ou igual a 2%, cabendo a determinação de tais valores por intermédio dos ensaios de Compactação (Norma DNER-ME 129/94) e Ensaio de índice de Suporte Califórnia (Norma DNER-ME 49/94), ambos com a energia de compactação Intermediária (Método B).

Nos casos de cortes, em atendimento à alínea “c” do item 5.3.4 da Norma DNIT 106/2009, a fiscalização do DER/DF determina que deve ser executado um rebaixo de 40,00 cm da cota de terreno e posterior compactação em duas camadas de 20,00 cm na energia intermediária (26 golpes) devido às conhecidas características colapsíveis do solo encontrado na região. Demais direcionamentos pertinentes à execução da terraplenagem em segmentos de corte, são apresentados na norma DNIT 106/2009 – ES: Terraplenagem – Cortes – Especificação de Serviço.

Os materiais constituintes do subleito deverão apresentar ISC igual ou superior ao adotado no dimensionamento do pavimento (10%) como representativo do subleito e expansão inferior a 2%. O subleito deverá ser regularizado e compactado com a energia de referência do Proctor Intermediário (26 golpes por camada), com desvio de umidade máxima, em relação à umidade ótima, de -2% (ramo seco) e + 1,5% (ramo úmido), além de apresentar grau de compactação (GC) no mínimo igual a 100% em relação à massa específica aparente seca máxima obtida em laboratório, de forma a atender a Especificação de Serviço DNIT 137/2010-ES: Pavimentação – Regularização do Subleito.

A deflexão esperada é de 158×10^{-2} mm, como citado no item 3.4.3.3.3 – Controle deflectométrico.

c. Sub-base Estabilizada Granulometricamente

A camada de sub-base será estabilizada granulometricamente com o material proveniente das camadas granulares do acostamento existente e deverá ser compactada na energia de referência do Proctor Intermediário (26 golpes por camada) e desvio de umidade máxima, em relação à umidade ótima, de -2,0% (ramo seco) e +1,0% (ramo úmido). A espessura final após a compactação deverá ser de 15,00 cm, conforme adequação da solução prevista pelo método do DNIT à luz dos preceitos advindos do método mecanístico de dimensionamento de pavimentos. A deflexão esperada para a camada é de 114×10^{-2} mm, como citado no item 3.4.3.3.3 – Controle deflectométrico.

O processo executivo, materiais utilizados, equipamentos necessários, o controle e a aceitação do serviço deverão estar em conformidade com as norma DNIT 139/2010-ES: Pavimentação – Sub-Base Estabilizada Granulometricamente.

d. Base de Brita Graduada Tratada com Cimento

A camada de base será composta com Brita Graduada Tratada com Cimento. A espessura final após a compactação deverá ser de 15,00 cm, conforme adequação da solução prevista pelo método do DNIT à luz dos preceitos advindos do método mecanístico de dimensionamento de pavimentos.

Dentre outros requisitos normativos, o espalhamento deve ser realizado utilizando uma vibro-acabadora, de forma a se obter uma mistura uniforme sem segregação. A camada de base deverá ser compactada na energia de referência do Proctor Intermediário (26 golpes por camada) e apresentar desvio de umidade máxima, em relação à umidade ótima, de -2,0% (ramo seco) e + 1,0% (ramo úmido). A deflexão esperada para a camada é de 40×10^{-2} mm, como citado no item 3.4.3.3.3 – Controle deflectométrico.

No presente caso, se tratando de uma base cimentada, é importante ressaltar a necessidade de se evitar a evaporação da água através da execução uma pintura de cura com RR-2C imediatamente após o término da compactação da camada. Se necessário, a camada deve ser umedecida previamente à aplicação da pintura de cura.

O processo executivo, materiais utilizados, equipamentos necessários, o controle e a aceitação do serviço deverão estar em conformidade com a Especificação Técnica de São Paulo ET-DE-P00/009 – SUB-BASE OU BASE DE BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO – BGTC. Já para a resistência à compressão simples de projeto, deve-se considerar, aos sete dias, o valor mínimo de 3,5 MPa e máximo de 8,0 MPa, em acordo com a Especificação de Serviço DER/PR ES-P 16/18 – Pavimentação: Brita Graduada Tratada Com Cimento.

O traço referencial utilizado pela consultora para realização dos ensaios e verificação dos requisitos mínimos é composto por 35% de brita 1, 30% de brita 0, 30% de pó de pedra e 5% de Cimento – CP II – 32.

e. Pintura de Ligação entre Camadas Asfálticas

Aplicação de Pintura de Ligação *entre as camadas de CBUQ*, caso elas não sejam executadas sequencialmente, ou seja, sejam executadas em épocas distintas, e ainda se a camada inicial for liberada ao tráfego usuário. Deve-se empregar como material betuminoso emulsão asfáltica de ruptura rápida do tipo RR-1C diluída em água na proporção 1:1, taxa de aplicação igual a 0,9 l/m², resultando em 0,45 l/m² de emulsão. Ressalta-se que a água deve ser isenta de teores nocivos de sais ácidos, álcalis, ou matéria orgânica e outras substâncias nocivas.

O processo executivo, materiais utilizados, equipamentos necessários, o controle e a aceitação do serviço deverão estar em conformidade com as norma DNIT 145/2012-ES – Pintura de Ligação com Ligante Asfáltico.

No caso de aplicação da pintura de ligação em superfícies asfálticas que serão sobrepostas por geogrelha flexível, a taxa de aplicação deve ser de 1,0 l/m², resultando em 0,5 l/m² de emulsão.

f. Pintura de Ligação sobre a BGTC

Aplicação de Pintura de Ligação *sobre a BGTC*, com o objetivo de promover condições adequadas para o processo de cura (evitando perda de umidade acelerada) e conferir aderência entre a camada e o revestimento asfáltico à ela sobreposto. Deve-se empregar como material betuminoso emulsão asfáltica de ruptura rápida modificada por polímero elastomérico do tipo RR-2C-E diluída em água na proporção 1:1, taxa de aplicação igual a 1,0 l/m², resultando em 0,5 l/m² de emulsão. A preferência por tal emulsão em relação à RR-1C-E se dá principalmente pelo seu maior percentual de cimento asfáltico (CAP) em sua composição (67% na RR-2C-E contra 62% na RR-1C-E), resultando em uma emulsão com maior capacidade de aderência com os agregados e, conseqüentemente, melhor ligação entre as camadas. Em um pavimento com base cimentada, o procedimento da pintura de ligação, que naturalmente já é de extrema importância, se torna ainda mais indispensável para evitar a ascensão das fissuras para o revestimento asfáltico, prejudicando sua capacidade estrutural.

Ressalta-se que a água utilizada deve ser isenta de teores nocivos de sais ácidos, álcalis, ou matéria orgânica e outras substâncias nocivas. O processo executivo, materiais utilizados, equipamentos necessários, o controle e a aceitação do serviço deverão estar em conformidade com as norma DER/PR ES-P 17/17 – Pavimentação: Pinturas Asfálticas.

g. Geogrelha Flexível de Alta Resistência à Tração

A geogrelha flexível, fornecida em bobinas de 1,0 metro de largura será executada sobre a primeira camada de revestimento asfáltico de 5,0 cm. O material, para atendimento ao caso do presente projeto de reforçar o revestimento asfáltico, deve apresentar as seguintes características:

- **Matéria prima principal:** Poliéster (PET);
- **Revestimento Protetor:** Betuminoso;
- **Abertura de malha nominal:** 40,00 mm x 40,00 mm;
- **Resistência à tração nominal – Longitudinal:** 50 kN/m;
- **Resistência à tração nominal – Transversal:** 50 kN/m.

A sua aplicação deve ser realizada através de equipamentos não danosos ao material, sem dobras ou rugas, devendo ser posicionada de forma centralizada na junção entre o pavimento novo e antigo, englobando 0,5 metros de cada pista e garantindo a ancoragem mínima em cada lado. Além disso, deverá acontecer após a execução de uma pintura de ligação com emulsão RR-1C diluída em água na proporção 1:1, taxa de aplicação igual a 1,0 l/m², resultando em 0,50 l/m² residual de emulsão.

O revestimento asfáltico acabado sobre a geogrelha terá espessura de 5,0 cm e na sua execução as máquinas necessárias deverão movimentar-se com cuidado, sem freadas e mudanças bruscas de velocidade, de forma a evitar o deslocamento da geogrelha na superfície. A compactação da camada asfáltica deve seguir o procedimento usual.

Demais informações acerca da aplicação devem ser obtidas pelo manual da fornecedora do material. O manual da empresa Huesker LTDA. para aplicação da geogrelha está anexado ao final do presente projeto como referência.

h. Camada Antirreflexão de Trincas (CART)

Como citado no item 3.4.3.4 – *Estrutura Selecionada Para o Pavimento*, uma camada com elevado percentual de vazios possui a função de evitar que trincas originadas em bases cimentadas se espelhem na superfície do revestimento asfáltico e comprometam suas propriedades.

Nessa conjuntura, para composição da Camada Antirreflexão de Trincas (CART), inicialmente a projetista propôs a utilização de uma especificação particular para execução de um Tratamento Superficial Duplo monogranular que, devido às dimensões dos agregados e à granulometria uniforme de suas camadas, apresenta um maior percentual de vazios, resultando em uma blindagem mais efetiva contra a ascensão de fissuras que partem da camada de base cimentada e tendem a se espelhar na superfície do revestimento.

Contudo, o Termo de Referência, objeto do contrato, veda a utilização de especificações técnicas particulares. Portanto, adotou-se a Especificação de Serviço DNER – ES 392/99: Pavimentação – Tratamento Superficial Duplo com Asfalto Polímero, que considera uma faixa granulométrica distribuída de agregados. Dessa forma, tal referência deve ser utilizada para execução do Tratamento Superficial Duplo (TSD) como Camada Antirreflexão de Trincas (CART). Posto isso, a consultora indica a execução do tratamento com uma curva granulométrica que tangencie a faixa exequível mais aberta da referenciada especificação de serviço, com o menor teor de finos possível, obtendo dessa maneira um material com vazios suficientes para alívio das tensões e dissipações das trincas. As faixas granulométricas A e B foram selecionadas para a primeira e segunda camada, respectivamente.

Peneira de malha quadrada		Porcentagem passando, em peso (faixas)			Tolerância na curva de projeto (%)
ABNT	Abertura	A 1ª Camada	B 1ª ou 2ª Camada	C 2ª Camada	
1"	25,4	100	-	-	-
3/4"	19,1	90-100	-	-	± 7
1/2"	12,5	20-55	100	-	± 7
3/8"	9,5	0-15	85-100	100	± 7
Nº 4	4,8	0-5	10-30	85-100	± 5
Nº 10	2,0	-	0-10	10-40	± 5
Nº 200	0,075	0-2	0-2	0-2	± 2

Figura 53 – Faixas granulométricas (DNER – ES 392/99)

A emulsão asfáltica a ser utilizada deverá ser a RR-2C-E (emulsão asfáltica bicatiônica polimerizada), a uma taxa de aplicação de 3,73 l/m². O processo executivo, materiais utilizados, equipamentos necessários, o controle e a aceitação do serviço deverão estar em conformidade com a norma DNER – ES 392/99: Pavimentação – Tratamento Superficial Duplo com Asfalto Polímero.

i. Revestimento

A camada de rolamento será executada em CBUQ, com espessura total mínima de 12,5 cm e distribuição granulométrica dos agregados enquadrada na Faixa “C”, atendendo a especificação DNER – ES 385/99. O cimento asfáltico utilizado deverá ser o CAP 60/85-E, de acordo com Especificação de Material DNIT 129/2011 – EM: Cimento Asfáltico de Petróleo Modificado com Polímero Elastomérico. A aplicação do revestimento asfáltico deverá acontecer em 3 camadas: a primeira terá 3,5 cm de espessura, a segunda 4,0 cm e a última 5,0. Ressalta-se que a primeira camada será aplicada diretamente sobre a pintura de ligação executada sobre a Camada Antirreflexão de Trincas.

Peneira de malha quadrada		Porcentagem passando, em peso (faixas)			Tolerância na curva de projeto (%)
ABNT	Abertura mm	A	B	C	
2"	50,8	100	-	-	-
1 ½"	38,1	95-100	100	-	± 7
1"	25,4	75-100	95-100	-	± 7
¾"	19,1	60-90	80-100	100	± 7
½"	12,7	-	-	85-100	± 7
3/8"	9,5	35-65	45-80	75-100	± 7
Nº 4	4,8	25-50	28-60	50-85	± 5
Nº 10	2,0	20-40	20-45	30-75	± 5
Nº 40	0,42	10-30	10-32	15-40	± 5
Nº 80	0,18	5-20	8-20	8-30	± 3
Nº 200	0,075	1-8	3-8	5-10	± 2
Ligante polimerizado solúvel no tricloroetileno, %		4-6 Camada de ligação (Binder)	4-7 Camada de ligação e rolamento	5-7, 5 Camada de rolamento	± 0,3

Figura 54 – Faixas granulométricas (DNER – ES 385/99)

O processo executivo, materiais utilizados, equipamentos necessários, o controle e a aceitação do serviço deverão estar em conformidade com as norma DNER – ES 385/99: Pavimentação – Concreto asfáltico com asfalto polímero. As deflexões esperadas para a primeira, segunda e terceira camada de CBUQ são 34×10^{-2} mm, 29×10^{-2} mm e 25×10^{-2} mm, respectivamente, como citado no item 3.4.3.3.3 – Controle deflectométrico.

A outra interface executiva, localizada entre duas camadas de CBUQ, deve ser objeto de pintura de ligação no caso de execução defasada e de liberação da camada inicial ao tráfego usuário, devendo-se empregar como material betuminoso emulsão asfáltica tipo RR-1C diluída em água na proporção 1:1 (taxa de aplicação igual a 0,9 l/m², resultando em 0,45 l/m² de emulsão); a execução deverá estar em conformidade com a norma DNIT 145/2012-ES – Pintura de Ligação com Ligante Asfáltico.

3.4.6. Fontes Indicadas de Materiais a serem Utilizadas

A seguir são indicadas as fontes de materiais a serem utilizadas. Ressalta-se que a indicação da Pedreira Contagem para o agregado pétreo que compõe BGTC do pavimento a ser implantado é feita levando em consideração os resultados dos ensaios de mistura detalhados no item específico de Resultados Geotécnicos e que comprovam o atendimento da mesma aos critérios normativos definidos em especificações de serviço. Para determinação da distância, foi considerado que o canteiro de obras ficará localizado no meio do trecho, na estaca 590 (Pista Norte).

- **CBUQ:**

- Materiais pétreos: serão provenientes da Pedreira Contagem, localizada a 30,8 km do Canteiro de Obras.
- Areia: proveniente do Areal Bela Vista, localizado a 14,40 km do canteiro de obras;
- Filler: será utilizado cimento proveniente de Brasília-DF, com centro localizado a 28,6 km do canteiro de obras;

- Material Betuminoso: proveniente de Brasília-DF, com centro localizado a 28,6 km do canteiro de obras;

Obs.: A usina de asfalto está localizada junto ao canteiro de obras, a 0,01 km da pista.

- **BASE DE BGTC:**

- Materiais pétreos: serão provenientes da Pedreira Contagem, localizada a 30,8 km do Canteiro de Obras.
- Cimento: será utilizado cimento proveniente de Brasília-DF, com centro localizado a 28,6 km do canteiro de obras;

- **SUB-BASE:**

- Cascalho: proveniente da remoção de camada granular do acostamento existente. Deverá ser realizada uma distribuição de volumes para que o excedente em determinados pontos supra a demanda de outros segmentos que não tenham volume suficiente.

- **TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO:**

- Materiais pétreos: serão provenientes da Pedreira Contagem, localizada a 30,8 km do Canteiro de Obras.
- Ligante asfáltico: proveniente de Brasília-DF, com centro localizado a 28,6 km do canteiro de obras;



INSTRUÇÕES PARA INSTALAÇÃO DE HATELIT EM OBRAS DE REFORÇO ASFÁLTICO

INSTRUÇÕES PARA INSTALAÇÃO DE HATELIT EM OBRAS DE REFORÇO ASFÁLTICO

Versão 1.0 (Jan/2023)

Conteúdo

Item 1.	Introdução	2
Item 2.	Entrega, estocagem e manipulação.....	3
Item 3.	Preparo da superfície.....	4
Item 4.	Imprimação	5
Item 5.	Instalação.....	6
Item 6.	Execução da camada asfáltica	8
Item 7.	Compactação.....	9
Item 8.	Comentários Finais	10

Item 1. Introdução

- ✓ A restauração ou execução de um pavimento através do sistema de reforço com Hatelit segue, basicamente, os procedimentos normais de um trabalho de pavimentação convencional. A única atividade adicional com relação ao recapeamento simples é desenrolar a bobina do Hatelit (não requer mão-de-obra especializada). A facilidade de instalação garante a minimização de riscos de mau funcionamento por problemas construtivos.

Item 2. Entrega, estocagem e manipulação



- ✓ Durante todo o período de transporte e estocagem, deve-se evitar ambientes agressivos e o contato ou exposição direta da geogrelha com materiais que possam deteriorá-la; deve-se evitar que a geogrelha fique exposta a temperaturas superiores a 65 °C.
- ✓ As geogrelhas Hatelit são fornecidas em bobinas, e os painéis têm 5,0 m de largura (larguras correspondendo a submúltiplos deste valor são possíveis) por um comprimento padronizado de 150 m.

Item 3. Preparo da superfície

- ✓ Hatelit deve ser instalado sempre entre duas camadas de materiais betuminosos (revestimento antigo – recapeamento), e sempre sobre pintura de ligação com emulsão asfáltica. No caso de instalação sobre uma superfície não-betuminosa, esta deve ser coberta com uma camada betuminosa de regularização.



- ✓ A superfície a ser coberta deve ser preparada de modo a garantir a boa aderência entre as camadas subseqüentes de asfalto. A superfície deve estar seca e limpa.
- ✓ Trincas de 3 mm ou menos podem ser deixadas sem tratamento. No entanto, trincas maiores devem ser seladas com material betuminoso após a limpeza.

Item 4. Imprimação

- ✓ A superfície preparada para receber Hatelit deve ser impregnada com emulsão asfáltica a uma taxa mínima residual de 0,5 l/m². Em situações particulares como superfícies rugosas ou muito danificadas, estes valores devem ser aumentados em 0,1 l/m².



- ✓ A emulsão deve ser aplicada e levada à ruptura (evaporação do solvente, o que se verifica pela mudança da cor de marrom para preto) antes da aplicação do Hatelit e da camada de asfalto subsequente.

Item 5. Instalação

- ✓ As geogrelhas Hatelit são fornecidas em bobinas. Estas bobinas são protegidas por plásticos resistentes às solicitações normais durante o transporte e a intempéries.
- ✓ Na lateral da bobina é impresso no plástico o sentido de desenrolar do painel.



- ✓ Cada bobina é identificada pela especificação do material em rótulos adesivos da empresa.
- ✓ Outro rótulo fixa uma argola na ponta de uma linha que deve ser puxada para a abertura rápida do plástico de proteção.
- ✓ O Hatelit deve ser desenrolado - diretamente no local a ser posicionado - manualmente ou por equipamentos que não ofereçam risco de danos ao material, sem dobras ou rugas. Para se adequar a áreas com obstáculos ou discontinuidades (bueiros, por exemplo) Hatelit pode ser cortado facilmente com faca ou tesoura.



- ✓ Para o bom resultado da instalação, é recomendável que Hatelit não fique exposto ao tráfego até que esteja coberto pela nova camada de asfalto. Caso seja inevitável

a abertura ao tráfego antes da execução do revestimento deve-se verificar se o recobrimento betuminoso da grelha não foi perdido; caso isto tenha ocorrido, é necessária a execução de uma segunda imprimação asfáltica, aplicada à mesma taxa sobre o material.

- ✓ O custo de mão-de-obra para instalação de Hatelit pode ser estimado em valores da ordem de 0,05 a 0,1 hh/m².
- ✓ Na direção transversal da geogrelha, para as emendas entre mantas adjacentes uma sobreposição de 10 cm é suficiente. Caso a sobreposição seja maior que 10 cm, uma pintura com emulsão asfáltica à taxa mínima é recomendada.
- ✓ Na direção longitudinal da geogrelha, as emendas entre mantas subseqüentes devem apresentar uma sobreposição de 20cm, levando-se em consideração a direção de aplicação do asfalto para evitar o levantamento da geogrelha neste ponto.



- ✓ Deve-se garantir, pelo menos, 0,5m de comprimento de ancoragem em cada lado das juntas ou trincas reforçadas por HaTelit.

Item 6. Execução da camada asfáltica

- ✓ Para a execução da camada de asfalto, devem ser seguidos os procedimentos usuais de pavimentação.
- ✓ Deve-se garantir, pelo menos, 4,5cm de concreto asfáltico acabado sobre o HaTelit.
- ✓ Deve-se evitar que as juntas de pavimentação coincidam com as emendas do Hatelit, quando for o caso.
- ✓ As máquinas necessárias na execução devem movimentar-se com cuidado sobre o Hatelit, para evitar deslocamento do material. Devem ser evitadas freadas e mudanças bruscas de velocidade.



Item 7. Compactação

- ✓ A compactação do asfalto reforçado deve seguir o procedimento usual.



Item 8. Comentários Finais

- ✓ Hatelit apresenta excelente aderência com as camadas asfálticas, bem como, elevada resistência ao cisalhamento na interface. Uma forma de se verificar a aderência pode ser conseguida com a extração de amostras através de sonda rotativa.
- ✓ O diâmetro do elemento de corte deve ser de no mínimo de 15 cm. Com diâmetros menores (p. ex., 10 cm) pode-se, em alguns casos, dar a impressão de que o Hatelit não esteja completamente aderido à camada asfáltica. Isto se deve ao fato de que no instante do corte, as fibras do Hatelit oferecem resistência ao movimento (devido a sua elevada resistência) gerando tensões de cisalhamento na interface que, por sua vez, provocam o descolamento entre as camadas asfálticas.

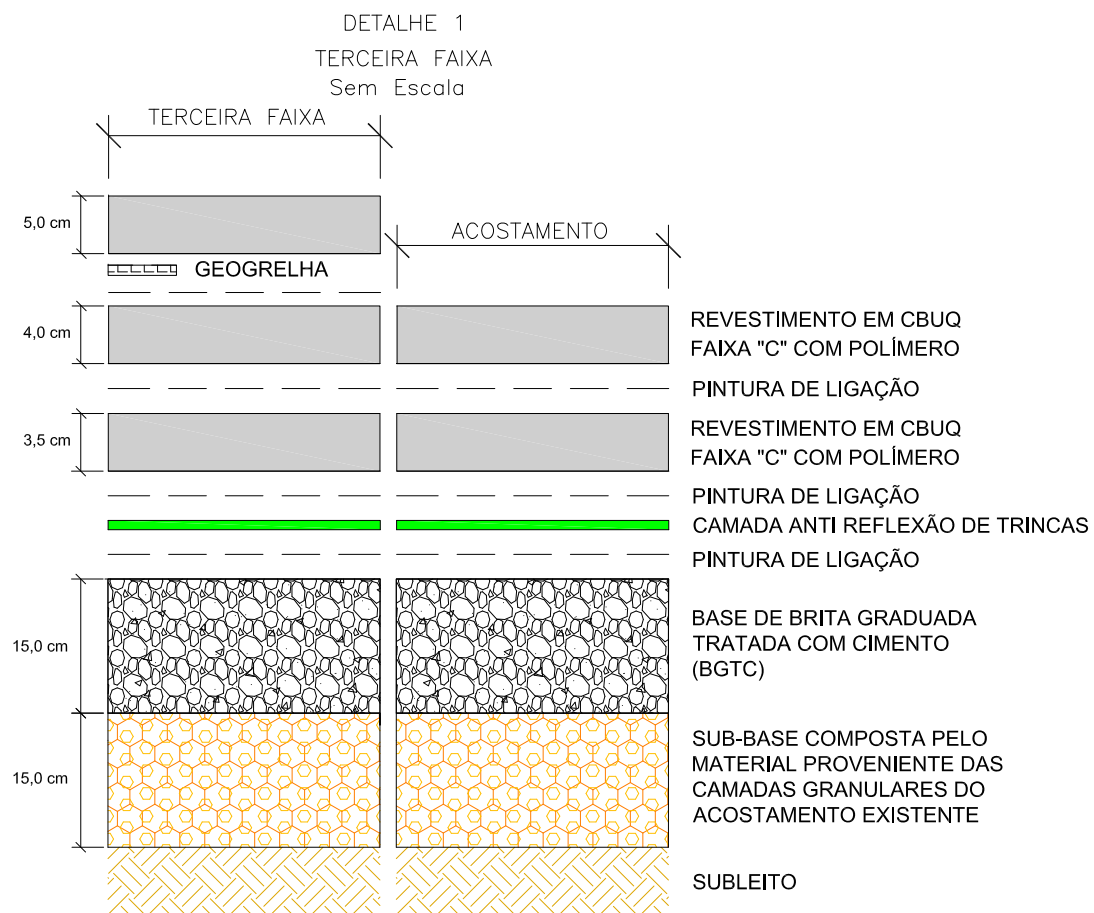


- ✓ Eventualmente podem surgir trincas na superfície recapeada com Hatelit, mas que não tenham origem nas trincas pré-existente com potencial de reflexão. A fadiga da massa, especialmente por carga operacional excessiva, pode originar fissuras a partir da superfície de rolamento da camada asfáltica. Caso isto ocorra, recomenda-se a extração de corpos-de-prova, conforme acima, para análise visual.



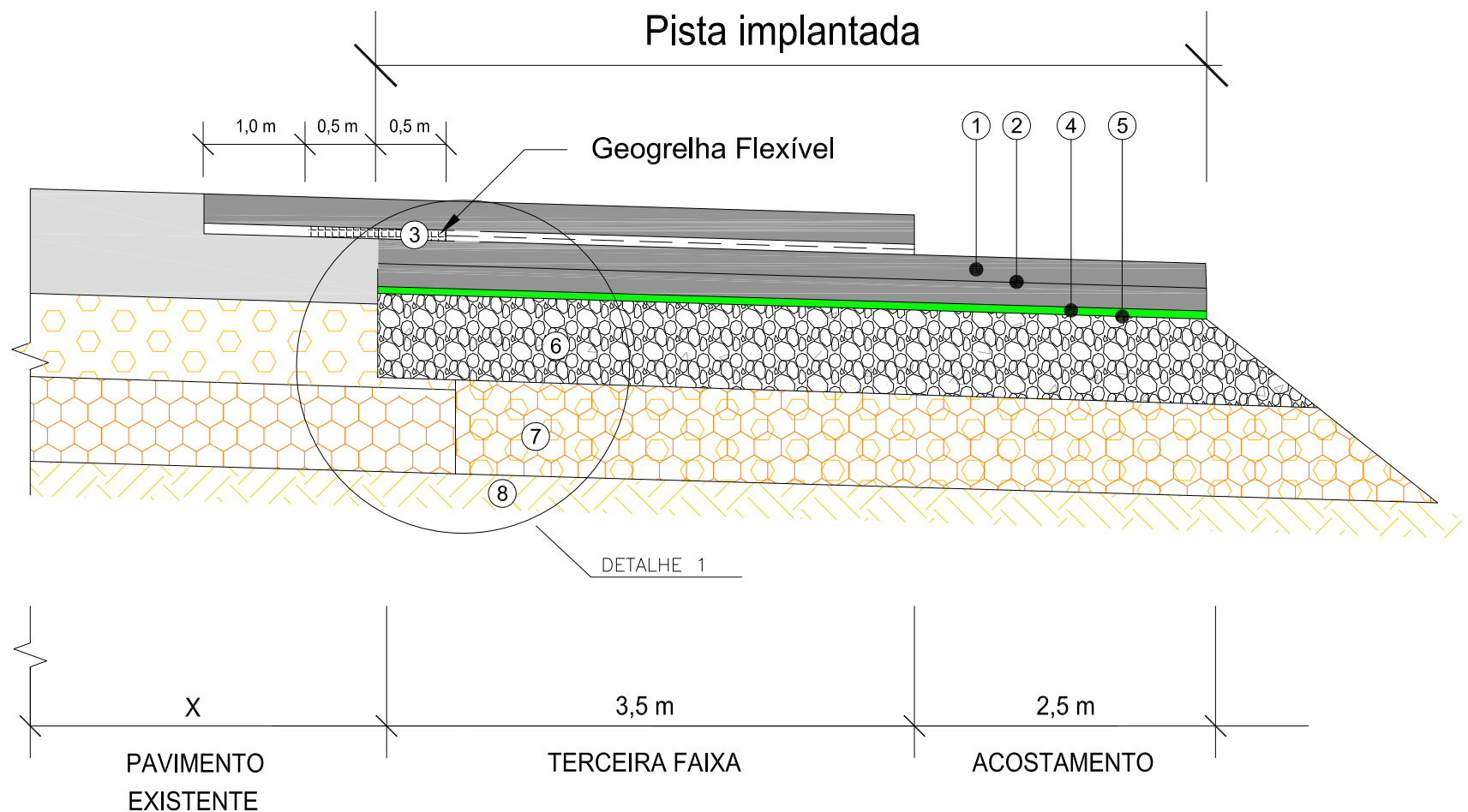
SEÇÃO TIPO TERCEIRA FAIXA

SOLUÇÃO: Remoção do revestimento do acostamento existente + Espalhamento das camadas granulares do acostamento existente para composição da nova camada de sub-base + Execução de camada de base Brita Graduada Tratada com Cimento (5%) + Camada Anti Reflexão de Trincas + Camada de revestimento em CBUQ faixa "C" com polímero com aplicação de geogrelha flexível entre camadas asfálticas



LEGENDA:

- 1- CAMADA DE REVESTIMENTO EM CBUQ FAIXA "C" COM POLÍMERO
- 2- PINTURA DE LIGAÇÃO
- 3- GEOGRELHA FLEXÍVEL
- 4- CAMADA ANTI REFLEXÃO DE TRINCAS (CART)
- 5- PINTURA DE LIGAÇÃO SOBRE A BGTC
- 6- CAMADA DE BASE DE BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO
- 7- CAMADA DE SUB-BASE COMPOSTA POR MISTURA PELO MATERIAL PROVENIENTE DO ESPALHAMENTO DAS CAMADAS GRANULARES DO ACOSTAMENTO EXISTENTE
- 8- SUBLEITO



ESCALA:

OBSERVAÇÕES:

A geogrelha deverá ser implantada entre a segunda e a terceira camada asfáltica, contemplando uma largura de 3,0m, sendo 1,5m para cada estrutura (Nova e antiga). Para tal, deverá ser fresada a largura de 1,5m de revestimento da pista principal até se alcançar a espessura onde a geogrelha será aplicada.

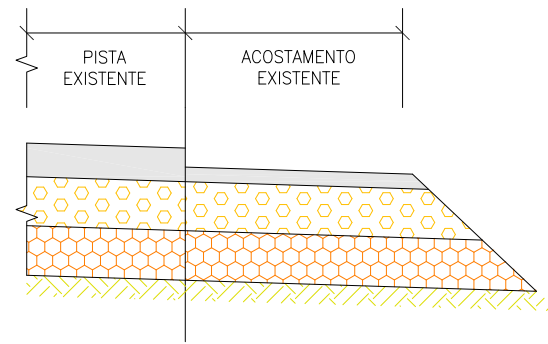
A terceira camada de revestimento não será executada no acostamento, culminando em um degrau de 5,0 cm entre o mesmo e a faixa de rolamento implantada.

Elaboração: strata ENGENHARIA	Projeto: LUCAS CESAR	GDF SEM OB	DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO DISTRITO FEDERAL - DER/DF	
Número Strata: 1.13.0174-1-GM-ARR-0002	Cálculo: LUCAS CESAR	DER DF	BR-020	Folha:
Coord: VALTER	Projeto: LUCAS CESAR		RODOVIA : BR-020	PV - 01
Verif: PAULO GONTIJO	Arquivo: LUIZ MÁRCIO	Desenho: HÉLEN GABRIELA	TRECHO : ENTRº DF-003 (EPIA) - AV. INDEPENDÊNCIA	
	Data: Abril/2023	SUTEC	EXTENSÃO : 25 km	
			ESCALA: SEM ESCALA	PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO

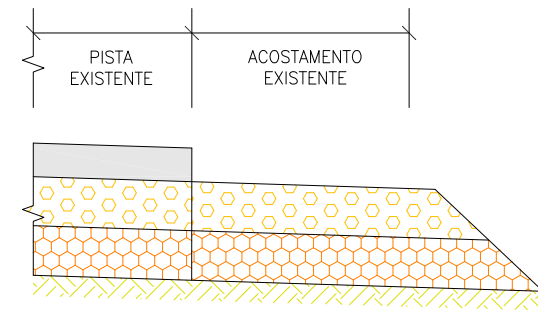
SEQUENCIAL EXECUTIVO

SOLUÇÃO: REMOÇÃO DO REVESTIMENTO DO ACOSTAMENTO EXISTENTE + ESPALHAMENTO DAS CAMADAS GRANULARES DO ACOSTAMENTO EXISTENTE PARA COMPOSIÇÃO DA NOVA CAMADA DE SUB-BASE + EXECUÇÃO DE CAMADA DE BASE DE BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO (5%) + CAMADA DE REVESTIMENTO EM CBUQ FAIXA "C" COM POLÍMERO COM APLICAÇÃO DE GEOGRELHA FLEXÍVEL ENTRE CAMADAS ASFÁLTICAS

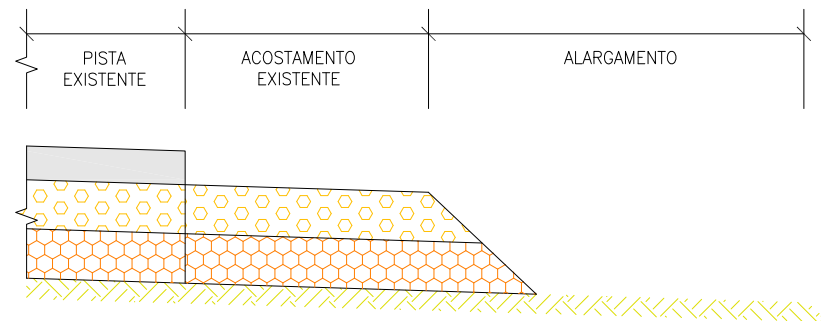
1 ACOSTAMENTO EXISTENTE



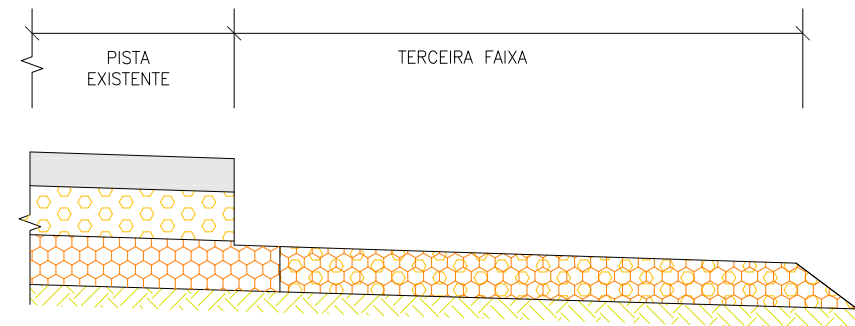
2 REMOÇÃO DO REVESTIMENTO EXISTENTE



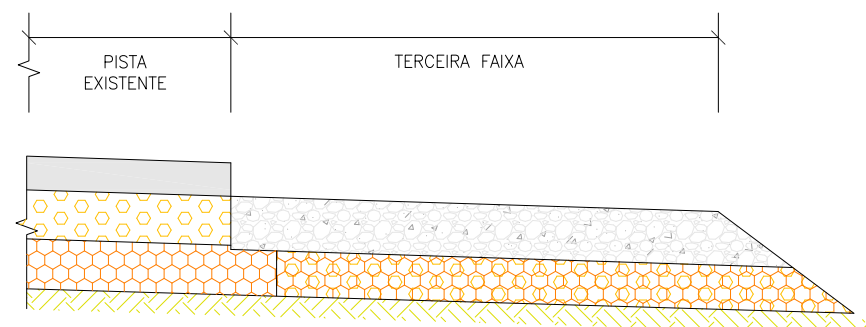
3 TERRAPLENAGEM – ALARGAMENTO DA ESTRUTURA PARA A DIMENSÃO DA NOVA TERCEIRA FAIXA



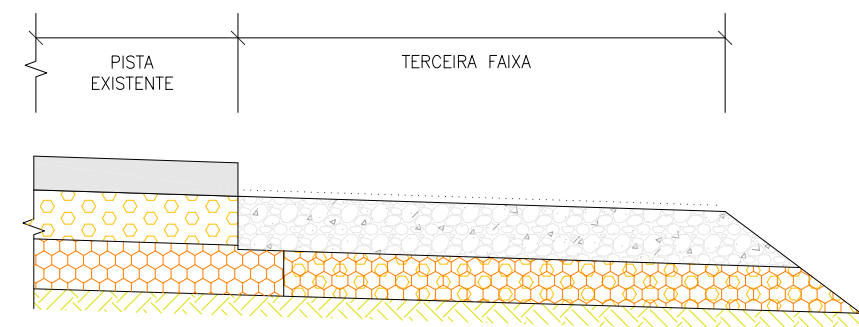
4 ESPALHAMENTO E RETRABALHAMENTO DO MATERIAL GRANULAR EXISTENTE PARA COMPOSIÇÃO DA NOVA CAMADA DE SUB-BASE



5 EXECUÇÃO DA NOVA CAMADA DE BASE – BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO – 5%



6 EXECUÇÃO DA PINTURA DE LIGAÇÃO (CURA) SOBRE A BGTC



LEGENDA DE MATERIAIS:

- SUBLEITO
- SUB-BASE EXISTENTE
- BASE EXISTENTE

- REVESTIMENTO EXISTENTE EM CBUQ
- NOVA CAMADA DE SUBBASE
- REVESTIMENTO EM CBUQ FAIXA "C" COM POLÍMERO
- BASE DE BGTC

- PINTURA DE LIGAÇÃO
- GEOGRELHA
- CART

Elaboração:

strata
ENGENHARIA

Coord:
VALTER
Verif:
PAULO GONTIJO

Projetista:
LUCAS CESAR
Arquivo:
LUIZ MÁRCIO

Projeto:
LUCAS CESAR
Cálculo:
LUCAS CESAR
Desenho:
HÉLEN GABRIELA
Data:
ABRIL/2023

GDF
SEMOB
DER
DF
SUTEC

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM
DO DISTRITO FEDERAL - DER/DF

RODOVIA : BR-020
TRECHO : ENTRº DF-003 (EPIA) - AV. INDEPENDÊNCIA
EXTENSÃO : 25 km

Folha :
PV-02

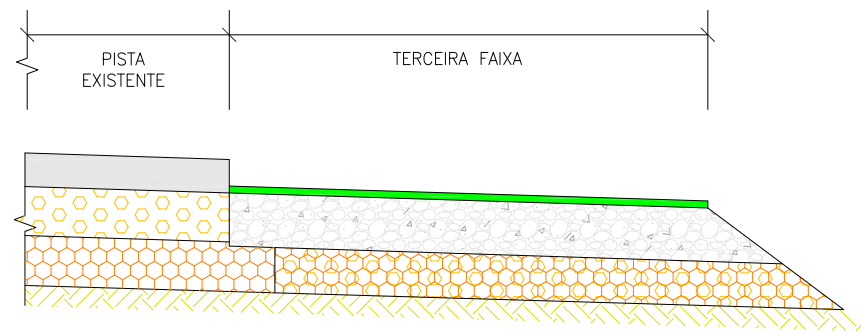
Escala:
SEM ESCALA

PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO

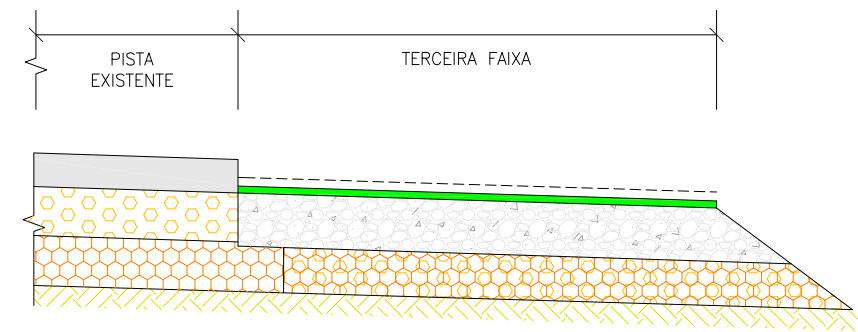
SEQUENCIAL EXECUTIVO

SOLUÇÃO: REMOÇÃO DO REVESTIMENTO DO ACOSTAMENTO EXISTENTE + ESPALHAMENTO DAS CAMADAS GRANULARES DO ACOSTAMENTO EXISTENTE PARA COMPOSIÇÃO DA NOVA CAMADA DE SUB-BASE + EXECUÇÃO DE CAMADA DE BASE DE BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO (5%) + CAMADA DE REVESTIMENTO EM CBUQ FAIXA "C" COM POLÍMERO COM APLICAÇÃO DE GEOGRELHA FLEXÍVEL ENTRE CAMADAS ASFÁLTICAS

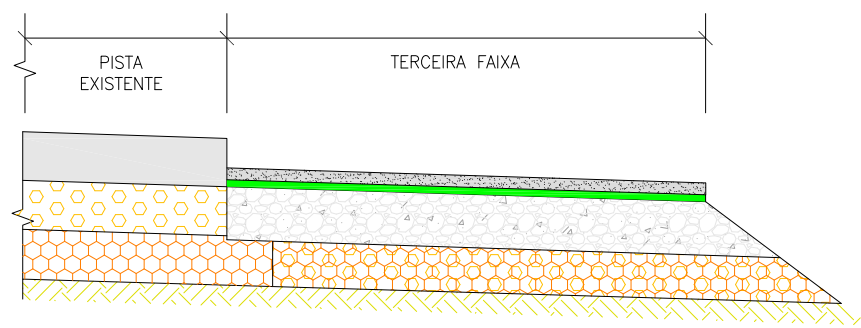
7 EXECUÇÃO DA CAMADA ANTI REFLEXÃO DE TRINCAS (CART) EM TRATAMENTO SUPERFICIAL SUPLO



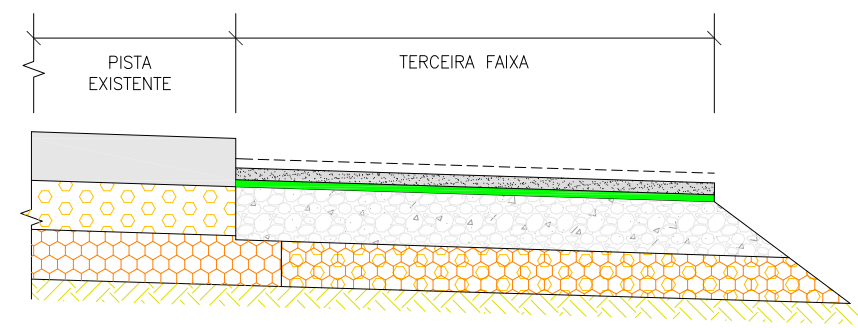
8 EXECUÇÃO DA PINTURA DE LIGAÇÃO



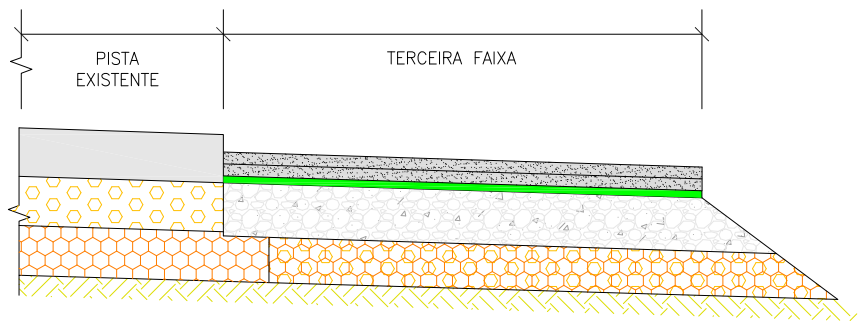
9 EXECUÇÃO DA PRIMEIRA CAMADA DE REVESTIMENTO EM CBUQ FAIXA "C" COM POLÍMERO



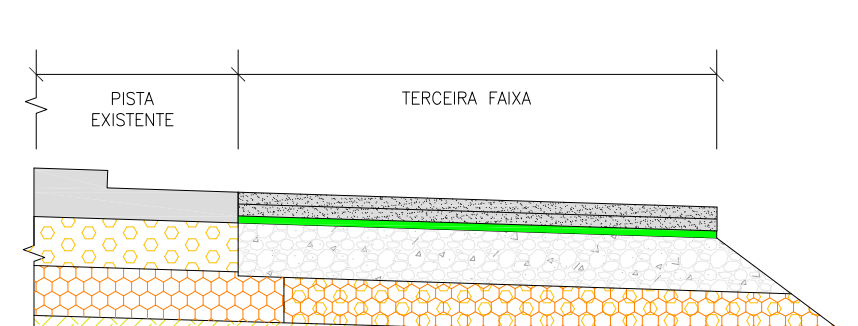
10 EXECUÇÃO DA PINTURA DE LIGAÇÃO



11 EXECUÇÃO DA SEGUNDA CAMADA DE REVESTIMENTO EM CBUQ FAIXA "C" COM POLÍMERO



12 FRESAGEM DO REVESTIMENTO DA PISTA EXISTENTE ATÉ O NÍVEL DA TERCEIRA FAIXA NA LARGURA DE 1,5 METROS



LEGENDA DE MATERIAIS:

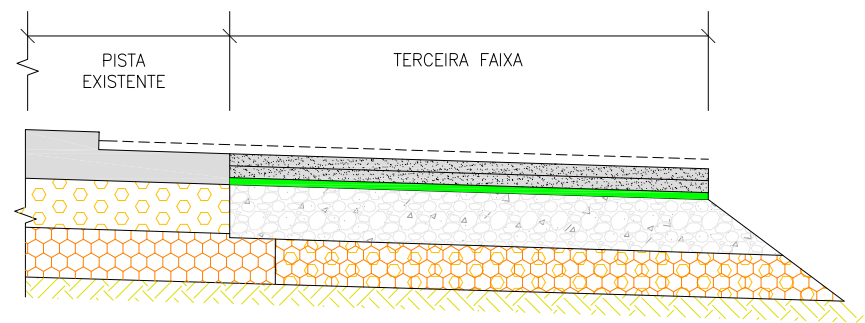
SUBLEITO	REVESTIMENTO EXISTENTE EM CBUQ	PINTURA DE LIGAÇÃO
SUB-BASE EXISTENTE	NOVA CAMADA DE SUBBASE	GEOGRELHA
BASE EXISTENTE	REVESTIMENTO EM CBUQ FAIXA "C" COM POLÍMERO	CART
	BASE DE BGTG	

Elaboração: strata ENGENHARIA		Projeto: LUCAS CESAR	GDF SEMOB	DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO DISTRITO FEDERAL - DER/DF	
Coord: VALTER	Projetista: LUCAS CESAR	Cálculo: LUCAS CESAR		RODOVIA : BR-020	Folha : PV-03
Verif: PAULO GONTIJO	Arquivo: LUIZ MÁRCIO	Desenho: HÉLEN GABRIELA		TRECHO : ENTRº DF-003 (EPIA) - AV. INDEPENDÊNCIA	EXTENSÃO : 25 km
		Data: ABRIL/2023	SUTEC	Escala: SEM ESCALA	PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO

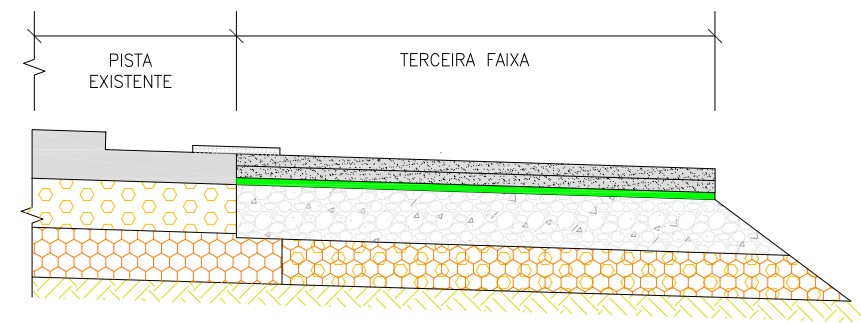
SEQUENCIAL EXECUTIVO

SOLUÇÃO: REMOÇÃO DO REVESTIMENTO DO ACOSTAMENTO EXISTENTE + ESPALHAMENTO DAS CAMADAS GRANULARES DO ACOSTAMENTO EXISTENTE PARA COMPOSIÇÃO DA NOVA CAMADA DE SUB-BASE + EXECUÇÃO DE CAMADA DE BASE DE BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO (5%) + CAMADA DE REVESTIMENTO EM CBUQ FAIXA "C" COM POLÍMERO COM APLICAÇÃO DE GEOGRELHA FLEXÍVEL ENTRE CAMADAS ASFÁLTICAS

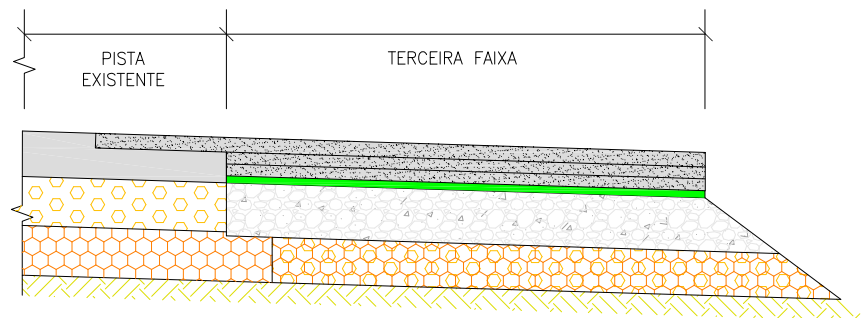
13 EXECUÇÃO DA PINTURA DE LIGAÇÃO – TAXA DE APLICAÇÃO = 1,0 l/m²



14 APLICAÇÃO DA GEOGRELHA FLEXÍVEL NA JUNÇÃO ENTRE O PAVIMENTO NOVO E ANTIGO – LARGURA DE 1,0 M



15 EXECUÇÃO DA TERCEIRA CAMADA DE REVESTIMENTO EM CBUQ FAIXA "C" COM POLÍMERO



LEGENDA DE MATERIAIS:

SUBLEITO	REVESTIMENTO EXISTENTE EM CBUQ	PINTURA DE LIGAÇÃO
SUB-BASE EXISTENTE	NOVA CAMADA DE SUBBASE	GEOGRELHA
BASE EXISTENTE	REVESTIMENTO EM CBUQ FAIXA "C" COM POLÍMERO	CART
	BASE DE BGTG	

Elaboração:



Coord: VALTER
Verif: PAULO GONTIJO

Projetista: LUCAS CESAR
Arquivo: LUIZ MÁRCIO

Projeto: LUCAS CESAR
Cálculo: LUCAS CESAR
Desenho: HÉLEN GABRIELA
Data: ABRIL/2023

GDF SEMOB
 SUTEC

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO DISTRITO FEDERAL - DER/DF
RODOVIA : BR-020
TRECHO : ENTRº DF-003 (EPIA) - AV. INDEPENDÊNCIA
EXTENSÃO : 25 km
Escala: SEM ESCALA
Folha : PV-04
PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO

strata		DEMONSTRATIVO DAS QUANTIDADES DOS SERVIÇOS DE PAVIMENTAÇÃO - IMPLANTAÇÃO DE TERCEIRA FAIXA																						
RODOVIA: BR-020										EXTENSÃO TOTAL: 24,00 km														
TRECHO: Entr. DF-003 (Balaço do Colorado) - Sobradinho - Planaltina																								
SEGMENTO HOMOGÊNEO				CÁLCULO DAS QUANTIDADES								MOMENTO DE TRANSPORTE					MATERIAL BETUMINOSO							
DESCRIÇÃO	km		ESTACA GEOMÉTRICO		EXTENSÃO (m)	LARG. (m)	ESPESS. (m)	ÁREA (m²)	VOLUME (m³)	DENS. (t/m³)	MASSA (t)	Nº DE APLICAÇÕES	QUANTIDADE	MATERIAL	ORIGEM		DESTINO	DMT (Km)	CONSUMO/ TAXA APLICAÇÃO	QUANTIDADE	TIPO	CONSUMO/ TAXA APLICAÇÃO	QUANT.	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL											OCORRÊNCIA	ESTACA								DIST. EXO (km)
FRESAGEM CONTÍNUA DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO																								
Acostamento - Pista Norte	0,000	23,694	0 + 0,00	1,184 + 14,25			-	46.470,9	6.227,3				6.227,3	Material Fresado	PISTA		DISTRITO 1	12,96		80.681,2				
Acostamento - Pista Sul	0,000	23,964	0 + 0,00	1,198 + 4,28			-	39.906,7	4.605,2				4.605,2	Material Fresado	PISTA		DISTRITO 1	12,87		59.275,1				
Faixa Principal - Pista Norte	0,000	23,694	0 + 0,00	1,184 + 14,25	20,180,0	1,500	0,050	30.270,0	1.513,5				1.513,5	Material Fresado	PISTA		DISTRITO 1	12,96		19.609,0				
Faixa Principal - Pista Sul	0,000	23,964	0 + 0,00	1,198 + 4,28	17.890,0	1,500	0,050	26.835,0	1.341,8				1.341,8	Material Fresado	PISTA		DISTRITO 1	12,87		17.270,0				
*: O volume total fresado do acostamento existente calculado considera uma estimativa para a área de representatividade de cada furo e foi dividido entre os dois distritos.																								
TOTAL				FRESAGEM CONTÍNUA DO REVESTIMENTO EXISTENTE																				
															12,92 km		176.835,4 m³xkm							
REMOÇÃO MECANIZADA DE CAMADA GRANULAR DO PAVIMENTO																								
Acostamento - Pista Norte	0,000	23,694	0 + 0,00	1,184 + 14,25			-	19.418,0					19.418,0	Material Granular	PISTA		PISTA	0,89*		17.311,2				
Acostamento - Pista Norte	0,000	23,694	0 + 0,00	1,184 + 14,25			-	5.644,1					5.644,1	Material Granular	PISTA		BOTA FORA	2,50*		14.092,0				
Acostamento - Pista Sul	0,000	23,964	0 + 0,00	1,198 + 4,28			-	17.167,1					17.167,1	Material Granular	PISTA		PISTA	1,66*		28.564,0				
Acostamento - Pista Sul	0,000	23,964	0 + 0,00	1,198 + 4,28			-	749,1					749,1	Material Granular	PISTA		BOTA FORA	2,30*		1.722,9				
*: Volume de material calculado considerando a espessura das camadas granulares de cada poço de inspeção e suas áreas de representatividade estimadas. *: Distâncias médias de transporte calculadas considerando o critério de "centro de massa", no caso os poços de inspeção, considerando os percursos viáveis.																								
TOTAL				REMOÇÃO MECANIZADA DE CAMADA GRANULAR DO PAVIMENTO								42.978,29 m³												
															1,44 km		61.690,1 m³xkm							
EXECUÇÃO DA NOVA CAMADA DE SUB-BASE COMPOSTA PELO MATERIAL PROVENIENTE DO ESPALHAMENTO DAS CAMADAS GRANULARES DO ACOSTAMENTO EXISTENTE																								
Alargamento - Pista Norte	0,000	23,694	0 + 0,00	1,184 + 10,00	23,69		0,15	19.410,6					19.410,6											
Alargamento - Pista Sul	23,000	23,964	0 + 0,00	1,198 + 14,25	23,96		0,15	17.207,9					17.207,9											
TOTAL				EXECUÇÃO DA NOVA CAMADA DE SUB-BASE COMPOSTA PELO MATERIAL PROVENIENTE DO ESPALHAMENTO DAS CAMADAS GRANULARES DO ACOSTAMENTO EXISTENTE								36.618,58 m³												
REGULARIZAÇÃO DO SUBLEITO																								
Alargamento - Pista Norte	0,000	23,694	0 + 0,00	1,184 + 14,25			0,20	131.674,5					131.674,5											
Alargamento - Pista Sul	0,000	23,964	0 + 0,00	1,198 + 4,28			0,20	116.732,3					116.732,3											
TOTAL				REGULARIZAÇÃO DO SUBLEITO								248.406,75 m³												
PINTURA DE LIGAÇÃO SOBRE A BGTC - EMULSÃO COM POLÍMERO																								
Alargamento - Pista Norte	0,000	23,694	0 + 0,00	1,184 + 14,25		6,00		127.575,0			1,0		127.575,0	RR-2C-E	CANTERO	590 + 0	0,01	PISTA	5,93		378,5	RR-2C-E	0,50 l/m²	63,8
Alargamento - Pista Sul	0,000	23,964	0 + 0,00	1,198 + 4,28		6,00		104.862,0			1,0		104.862,0	RR-2C-E	CANTERO	590 + 0	0,01	PISTA	6,00		314,7	RR-2C-E	0,50 l/m²	52,4
TOTAL				PINTURA DE LIGAÇÃO SOBRE A BGTC - EMULSÃO COM POLÍMERO								232.437,00 m³												
															5,97 km		693,2 t		RR-2C-E					
BASE DE BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO EXCUTADA COM VIBROACABADORA - BRITA COMERCIAL																								
Alargamento - Pista Norte	0,000	23,694	0 + 0,00	1,184 + 14,25		6,00	0,15	127.575,0	18.502,5				18.502,5	BGTC	USINA	590 + 0	0,01	PISTA	5,93		109.787,7			
Alargamento - Pista Sul	0,000	23,964	0 + 0,00	1,198 + 4,28		6,00	0,15	104.862,0	16.402,9				16.402,9	BGTC	USINA	590 + 0	0,01	PISTA	6,00		98.457,6			
TOTAL				BASE DE BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO EXCUTADA COM VIBROACABADORA - BRITA COMERCIAL								34.905,43 m³												
															5,97 km		208.245,3 m³xkm							
PINTURA DE LIGAÇÃO (RR-1C)																								
Terceira Faixa - Pista Norte	0,000	23,694	0 + 0,00	1,184 + 14,25		3,50		84.794,0			1,0		84.794,0	RR-1C	CANTERO	590 + 0	0,01	PISTA	5,93		251,6	RR-1C	0,50 l/m²	42,4
Terceira Faixa - Pista Sul	0,000	23,964	0 + 0,00	1,198 + 4,28		3,50		69.947,0			1,0		69.947,0	RR-1C	CANTERO	590 + 0	0,01	PISTA	6,00		209,9	RR-1C	0,50 l/m²	35,0
Faixa Principal - Pista Norte	0,000	23,694	0 + 0,00	1,184 + 14,25		1,50		30.270,0			1,0		30.270,0	RR-1C	CANTERO	590 + 0	0,01	PISTA	5,93		89,8	RR-1C	0,50 l/m²	15,1
Faixa Principal - Pista Sul	0,000	23,964	0 + 0,00	1,198 + 4,28		1,50		26.835,0			1,0		26.835,0	RR-1C	CANTERO	590 + 0	0,01	PISTA	6,00		80,5	RR-1C	0,50 l/m²	13,4
Terceira Faixa - Pista Norte	0,000	23,694	0 + 0,00	1,184 + 14,25		3,50		84.794,0			2,0		169.588,0	RR-1C	CANTERO	590 + 0	0,01	PISTA	5,93		452,8	RR-1C	0,45 l/m²	76,3
Terceira Faixa - Pista Sul	0,000	23,964	0 + 0,00	1,198 + 4,28		3,50		69.947,0			2,0		139.894,0	RR-1C	CANTERO	590 + 0	0,01	PISTA	6,00		377,9	RR-1C	0,45 l/m²	63,0
Acostamento - Pista Norte	0,000	23,694	0 + 0,00	1,184 + 14,25		2,50		42.781,0			2,0		85.562,0	RR-1C	CANTERO	590 + 0	0,01	PISTA	5,93		228,5	RR-1C	0,45 l/m²	38,5
Acostamento - Pista Sul	0,000	23,964	0 + 0,00	1,198 + 4,28		2,50		69.830,0			2,0		139.660,0	RR-1C	CANTERO	590 + 0	0,01	PISTA	6,00		188,6	RR-1C	0,45 l/m²	31,4
TOTAL				PINTURA DE LIGAÇÃO (RR-1C)								676.720,00 m³												
															5,96 km		1.879,6 t		RR-1C					

strata		DEMONSTRATIVO DAS QUANTIDADES DOS SERVIÇOS DE PAVIMENTAÇÃO - IMPLANTAÇÃO DE TERCEIRA FAIXA																							
RODOVIA: BR-020										EXTENSÃO TOTAL: 24,00 km															
TRECHO: Entr. DF-003 (Balaço do Colorado) - Sobradinho - Planaltina																									
SEGMENTO HOMOGÊNEO				CÁLCULO DAS QUANTIDADES										MOMENTO DE TRANSPORTE						MATERIAL BETUMINOSO					
DESCRIÇÃO	km		ESTACA GEOMÉTRICO		EXTENSÃO (m)	LARG. (m)	ESPESS. (m)	ÁREA (m²)	VOLUME (m³)	DENS. (t/m³)	MASSA (t)	Nº DE APLICAÇÕES	QUANTIDADE	MATERIAL	ORIGEM			DMT (Km)	CONSUMO/ TAXA APLICAÇÃO	QUANTIDADE	TIPO	CONSUMO/ TAXA APLICAÇÃO	QUANT.		
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL											OCORRÊNCIA	ESTACA	DIST. EIXO (km)							DESTINO	
CAMADA DE ROLAMENTO - CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE - CBUQ FAIXA "C" COM POLÍMERO																									
Terceira Faixa - Pista Norte	0,000	23.694	0 + 0,00	1.184 + 14,25	20.180,00	3,50	0,125	84.794,0	10.599,3	2,427	25.724,4		25.724,4	CBUQ	USINA	590 + 0	0,01	PISTA	5,93		152.639,6	CAP-60/85-E	5,5 %	1.414,8	
Terceira Faixa - Pista Sul	0,000	23.964	0 + 0,00	1.198 + 4,28	17.890,00	3,50	0,125	69.947,0	8.743,4	2,427	21.220,2		21.220,2	CBUQ	USINA	590 + 0	0,01	PISTA	6,00		127.373,1	CAP-60/85-E	5,5 %	1.167,1	
Faixa Principal - Pista Norte	0,000	23.694	0 + 0,00	1.184 + 14,25	20.180,0	1,500	0,050	30.270,0	1.513,5	2,427	3.673,3		3.673,3	CBUQ	USINA	590 + 0	0,01	PISTA	5,93		21.795,9	CAP-60/85-E	5,5 %	202,0	
Faixa Principal - Pista Sul	0,000	23.964	0 + 0,00	1.198 + 4,28	17.890,0	1,500	0,050	26.835,0	1.341,8	2,427	3.256,4		3.256,4	CBUQ	USINA	590 + 0	0,01	PISTA	6,00		19.546,6	CAP-60/85-E	5,5 %	179,1	
Acostamento - Pista Norte	0,000	23.694	0 + 0,00	1.184 + 14,25	20.180,0	2,500	0,075	42.781,0	3.208,6	2,427	7.787,2		7.787,2	CBUQ	USINA	590 + 0	0,01	PISTA	5,93		46.206,6	CAP-60/85-E	5,5 %	428,3	
Acostamento - Pista Sul	0,000	23.964	0 + 0,00	1.198 + 4,28	17.890,0	2,500	0,075	34.915,0	2.618,6	2,427	6.355,4		6.355,4	CBUQ	USINA	590 + 0	0,01	PISTA	6,00		38.148,0	CAP-60/85-E	5,5 %	349,5	
T O T A L				CAMADA DE ROLAMENTO - CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE - CBUQ FAIXA "C" COM POLÍMERO										68.016,86	t			5,96	km	405.709,8	txkm	CAP-60/85-E		3.740,9	t
GEORELHA FLEXÍVEL DE ALTA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO - BOBINA DE 1,0 M DE LARGURA																									
Alargamento - Pista Norte	0,000	23.694	0 + 0,00	1.184 + 14,25	20.180,00	1,00		20.180,0					20.180,0												
Alargamento - Pista Sul	0,000	23.964	0 + 0,00	1.198 + 4,28	17.890,00	1,00		17.890,0					17.890,0												
T O T A L				GEORELHA FLEXÍVEL DE ALTA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO - BOBINA DE 1,0 M DE LARGURA										38.070,00	m²										
TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO COM EMULSÃO COM POLÍMERO - BRITA COMERCIAL																									
Alargamento - Pista Norte	0,000	23.694	0 + 0,00	1.184 + 14,25	20.180,00	6,00		127.575,0					127.575,0	RR-2C-E	Canteiro	590 + 0,00	0,01	Pista	5,93		2.823,6	RR-2C-E	3,73 l/m²	475,9 t	
Alargamento - Pista Sul	0,000	23.964	0 + 0,00	1.198 + 4,28	17.890,00	6,00		104.862,0					104.862,0	RR-2C-E	Canteiro	590 + 0,00	0,01	Pista	6,00		2.347,8	RR-2C-E	3,73 l/m²	391,1 t	
T O T A L				TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO COM EMULSÃO COM POLÍMERO - BRITA COMERCIAL										232.437,00	m²			5,96	km	5.171,3	txkm	RR-2C-E		867,0	t

QUADRO DE CONSUMO DE MATERIAIS

RODOVIA: BR-020

EXTENSÃO TRECHO: 25,00 km

TRECHO: Entr. DF-003 (Balão do Colorado) - Sobradinho - Planaltina

Materiais Indicados		Consumo por m ²				Consumo por Tonelada			
		Unid.	Quantidade	Unid.	Quantidade	Unid.	Quantidade	Unid.	Quantidade
Pintura de Ligação	RR-1C	t	0,00045						
Pintura de Ligação sobre BGTC	RR-2C-E	t	0,00050						
Materiais Indicados		Consumo por m ³				Consumo por Tonelada			
		Unid.	Quantidade	Unid.	Quantidade	Unid.	Quantidade	Unid.	Quantidade
Concreto Betuminoso Usinado a Quente CBUQ FAIXA "C" com polímero	Brita 0					m ³	0,446 / 1,500 = 0,297	t	0,44600
	Brita 1					m ³	0,142 / 1,500 = 0,095	t	0,14200
	Pó de pedra					m ³	0,237 / 1,500 = 0,158	t	0,23700
	Areia					m ³	0,095 / 1,500 = 0,063	t	0,09500
	Filler cimento					m ³	0,029 / 1,500 = 0,019	t	0,02900
	CAP 60/85-E						0,055 / 1,500 = 0,037	t	0,05500
Base de Brita Graduada Tratada Com Cimento (BGTC)	Brita 0	m ³	2,230 x 0,300 / 1,500 = 0,446	t	2,230 x 0,300 = 0,669				
	Brita 1	m ³	2,230 x 0,350 / 1,500 = 0,520	t	2,230 x 0,350 = 0,781				
	Pó de pedra	m ³	2,230 x 0,300 / 1,500 = 0,446	t	2,230 x 0,300 = 0,669				
	Cimento	m ³	2,230 x 0,050 / 1,500 = 0,074	t	2,230 x 0,050 = 0,112				
Sub-base - Cascalho laterítico proveniente das camadas granulares do Acostamento Existente	Cascalho Laterítico	m ³	1,910 x 1,000 / 1,500 = 1,273	t	1,910 x 1,000 = 1,910				
Densidades Adotadas (t/m³) dos Materiais Indicados									
DENSIDADES MATERIAL SOLTO: BRITA: 1,5 (solta) AREIA: 1,5 (solta) FILLER: 1,5 (solta) SOLO: 1,5 (solta) REVESTIMENTO: 1,5 (solta) CASCALHO LATERÍTICO: 1,5 (solta)					DENSIDADES APARENTES: CBUQ "C" COM POLÍMERO: 2,427 *SUB-BASE - CASCALHO LATERÍTICO: 1,910 *BASE - BGTC: 2,230				
Traços Adotados									
Camada de rolamento - CBUQ "C" com Polímero*: CAP 60/85-E = 5,5 % Brita 0 = 44,6 % Brita 1 = 14,2 % Pó de Pedra = 23,7 % Filler Cimento = 2,9 % Areia = 9,5 %			Sub-base estabilizada granulometricamente com cascalho proveniente do acostamento existente: Cascalho laterítico: 100,0%			Base de Brita Graduada Tratada com Cimento: Brita 0: 30,0% Brita 1: 35,0% Pó de Pedra: 30,0% Cimento : 5,0 %			
* Traço Teórico referencial da projetista									
Taxas Adotadas (l/m²)									
Pintura de Ligação (RR-1C): 0,45 l/m ²					Pintura de Ligação Sobre a BGTC (RR-2C-E): 0,50 l/m ²				

Projeto	IMPLANTAÇÃO DE TERCEIRA FAIXA - DER/DF		
Rodovia	BR-020		
Trecho	Entr. DF-003 (Balão do Colorado) - Sobradinho - Planaltina		
Extensão	24,00 km (Pista Dupla)		
PAVIMENTAÇÃO			
CÓDIGO	DISCRIMINAÇÃO	UND.	QUANT.
4011479	Fresagem contínua de revestimento asfáltico	m ³	13.687,8
4915669	Remoção Mecanizada de camada granular do pavimento	m ³	42.978,0
M4011228	Sub-base estabilizada granulometricamente com material proveniente do espalhamento das camadas granulares do acostamento existente.	m ³	36.618,6
4011209	Regularização do Subleito	m ²	248.406,8
M4011354	Pintura de Ligação - Emulsão com Polímero (Sobre BGTC)	m ²	232.437,0
4011561	Base de brita graduada tratada com cimento executada com vibroacabadora - brita comercial	m ³	34.905,4
4011353	Pintura de ligação	m ²	676.720,0
4011466	Concreto Betuminoso Usinado a Quente CBUQ FAIXA "C" com Polímero	t	68.016,9
-	Geogrelha flexível de alta resistência à tração - Bobina de 1,0 m de Largura	m ²	38.070,0
4011376	Tratamento Superficial Duplo com Emulsão com Polímero - Brita Comercial	m ²	232.437,0
-	AQUISIÇÃO E TRANSPORTE DE PRODUTOS ASFÁLTICOS		
-	Aquisição RR-2C-E para Pintura de Ligação com Polímero	t	116,2
-	Aquisição RR-1C para Pintura de Ligação	t	315,1
-	Aquisição CAP 60/85-E para CBUQ FAIXA "C" com polímero	t	3.740,9
-	Aquisição RR-2C-E para Tratamento Superficial Duplo com Polímero	t	867,0
-	TRANSPORTE COMERCIAL DE ASFALTO		
-	Transporte RR-2C-E para Pintura de Ligação com polímero	t	116,2
-	Transporte RR-1C para Pintura de Ligação	t	315,1
-	Transporte CAP 60/85-E para CBUQ FAIXA "C" com polímero	t	3.740,9
-	Aquisição RR-2C-E para Tratamento Superficial Duplo com Polímero	t	867,0



RODOVIA: BR-020

TRECHO: Entr. DF-003 (Balão do Colorado) - Sobradinho - Planaltina

QUADRO RESUMO DE DISTÂNCIA MÉDIA DE TRANSPORTE - DMT

EXTENSÃO TOTAL: 25,00 km

Serviço		Percurso		Transporte (DMT)		
Discriminação	Material	Origem	Destino	NP	P	Total
PINTURA DE LIGAÇÃO	RR-1C	Brasilia-DF	Canteiro de obra	-	28,60	28,60
PINTURA DE LIGAÇÃO - EMULSÃO COM POLÍMERO	RR-2C-E	Brasilia-DF	Canteiro de obra	-	28,60	28,60
CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE CBUQ FAIXA "C" COM POLÍMERO	Cap 60/85-E	Brasilia-DF	Usina de Asfalto	-	28,60	28,60
	Brita	Pedreira Contagem	Usina de Asfalto	-	30,80	30,80
	Filler - Cimento	Brasilia-DF	Usina de Asfalto	-	26,80	26,80
	Areia	Areal Bela Vista	Usina de Asfalto	-	14,40	14,40
	CBUQ	Usina de Asfalto	Pista	-	5,97	5,97
TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO COM EMULSÃO COM POLÍMERO - BRITA COMERCIAL	Brita	Pedreira Contagem	Pista	-	30,83	30,83
	RR-2C-E	Brasilia-DF	Usina de Asfalto	-	28,60	28,60
MATERIAL FRESADO	Material Betuminoso	Pista	1º Distrito Rodoviário	-	12,92	12,92
BASE DE BRITA GRADUADA TRATA COM CIMENTO	Brita 1	Pedreira Contagem	Canteiro	-	30,80	30,80
	Brita 0	Pedreira Contagem	Canteiro	-	30,80	30,80
	Pó de Pedra	Pedreira Contagem	Canteiro	-	30,80	30,80
	Cimento	Brasilia-DF	Canteiro	-	26,80	26,80
	BGTC	Canteiro de obra	Pista	-	5,97	5,97
REMOÇÃO MECANIZADA DE CAMADA GRANULAR DO PAVIMENTO	Material Granular	Acostamento Existente (Pista Norte)	Estrutura (Pista)	-	0,89	0,89
	Material Granular	Acostamento Existente (Pista Norte)	Bota Fora 2 e 3	-	2,50	2,50
	Material Granular	Acostamento Existente (Pista Sul)	Estrutura (Pista)	-	1,66	1,66
	Material Granular	Acostamento Existente (Pista Sul)	Bota Fora 1	-	2,30	2,30
SUB-BASE ESTABILIZADA GRANULOMETRICAMENTE	Material Granular	Acostamento Existente	Estrutura (Pista)	-	-	-*

*Obs: O DMT de 0,00 km do serviço "SUB-BASE ESTABILIZADA GRANULOMETRICAMENTE" se justifica pelo fato de já ter sido considerado o transporte do material no serviço "REMOÇÃO MECANIZADA DE CAMADA GRANULAR DO PAVIMENTO".