



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL



NEEMIAS OLIVEIRA LIMA

ANÁLISE MECANICISTA DE DIFERENTES SEÇÕES DE PAVI- MENTOS SEMIRRÍGIDOS PARA VIAS DE TRÁFEGO PESADO

SÃO CRISTÓVÃO, SERGIPE

2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL



NEEMIAS OLIVEIRA LIMA

ANÁLISE MECANICISTA DE DIFERENTES SEÇÕES DE PAVI- MENTOS SEMIRRÍGIDOS PARA VIAS DE TRÁFEGO PESADO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC),
apresentado a Universidade Federal de
Sergipe, Campus São Cristóvão, como
exigência para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil no ano de
2023.

Orientador: Professor Dr. Fernando
Silva Albuquerque

SÃO CRISTÓVÃO, SERGIPE

2023

NEEMIAS OLIVEIRA LIMA

ANÁLISE MECANICISTA DE DIFERENTES SEÇÕES DE PAVIMENTOS SEMIRRÍGIDOS PARA VIAS DE TRÁFEGO PESADO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC),
apresentado a Universidade Federal de
Sergipe, Campus São Cristóvão, como
exigência para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil no ano de
2023.

Aprovado em 06 / 06 / 2023

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Fernando Silva Albuquerque



Eng. Civil Leonardo José de Sá Matos
DICO/DOFIS/UFSE - SIAPE: 1683513

RNP CREA: 270.233.883-6
MSc. Leonardo José de Sá Matos



MSc. Nielson Tôres Neves de Carvalho

Dedico este trabalho a minha família, Nivaldo, Juarina e Natan por todo o esforço em me proporcionar as melhores condições de estudo e pelo apoio. Igualmente agradeço a minha noiva Jéssica pelo companheirismo, afeto e conselhos ao longo dos anos. Aos professores da Universidade Federal de Sergipe - Campus São Cristóvão, pela dedicação e ensinamentos. Aos meus colegas de classe, Adelson e Maria.

“A verdadeira viagem de descobrimento
não consiste em procurar novas
paisagens, mas em ter novos olhos.”

(Marcel Prou)

LISTA DE FIGURAS

1. Figura 01: Pavimento semirrígido invertido.....	12
2. Figura 02: Danos em camadas cimentadas de pavimentos semirrígidos.....	14
3. Figura 03: Características mecânicas iniciais das camadas do P1.....	16
4. Figura 04: Layout AEMC.....	17
5. Figura 05: Camadas de pavimento semirrígido típico da BR-101/SE.....	17
6. Figura 06: Desempenho das seções estudadas por camada (“N” estimado)	21

LISTA DE TABELAS

1. **Tabela 01:** Materiais e seções de pavimento propostos para análise.....18
2. **Tabela 02:** Resultados de “N” estimados pelos modelos de previsão de desempenho.20

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BGS – Brita Graduada Simples

BGTC – Brita Graduada Tratada com Cimento

AEMC – Análise Elástica de Múltiplas Camadas

MeDiNa – Método de Dimensionamento Nacional

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

SAPEM - South African Pavement Engineering Manual

DER – Departamento de Estradas e Rodagem

DNER – Método da Resistência

CAUQ – Concreto Asfáltico Usinado a Quente

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 Relevância do tema	10
1.2 OBJETIVOS	11
1.2.1 Objetivo geral	11
1.2.2 Objetivos específicos	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1 Dimensionamento e critérios de danos para camadas cimentadas	13
2.2 Danos e defeitos em camadas cimentadas.....	14
3. METODOLOGIA	15
3.1 Caso de estudo: BR-101/SE	15
3.2 Software MeDiNa	16
3.3 Análises aplicadas	17
3.4 Materiais e pavimentos analisados	18
3.5 Modelos de previsão de desempenho utilizados	18
4. RESULTADOS E ANÁLISES	19
4.1 Interface entre Revestimento e Base	20
4.2 Interface entre Base e Sub-base	22
5. CONCLUSÕES.....	23
REFERÊNCIAS	23
APÊNDICES.....	26
A.I RESULTADOS DOS CÁLCULOS FEITOS PELO AEMC.....	26
A.II RESULTADO NO N POR CAMADA	31

ANÁLISE MECANICISTA DE DIFERENTES SEÇÕES DE PAVIMENTOS SEMIRRÍGIDOS PARA VIAS DE TRÁFEGO PESADO

Neemias Oliveira Lima
Fernando Silva Albuquerque

Departamento de Engenharia Civil
Universidade Federal de Sergipe

RESUMO

No início do Século XX, no Continente Europeu, foram iniciados os estudos de estabilização dos solos utilizando cimento. Estes tinham a finalidade de obter um material de baixo custo e desempenho estrutural melhor que o obtido com materiais naturais aplicados usualmente. A partir do concreto magro, para a base de pavimentos, foi desenvolvida a BGTC (Brita graduada tratada com cimento). A BGTC resulta da mistura de cimento, água e brita, usada principalmente em pavimentos semirrígidos. Seu uso principal no Brasil se dá em pavimentos com revestimentos asfálticos. A resistência mecânica desse material é influenciada diretamente pela proporção de cada um dos elementos da mistura usinada destacando-se o cimento, pela forma de aplicação e pela origem mineral dos componentes. O objetivo deste trabalho é fazer uma análise mecanicista do desempenho da BGTC em um pavimento típico semirrígido da BR-101/SE, fazendo o uso do software AEMC e modelos de previsão de desempenho diferentes, variando a posição da mesma no sistema multicamadas. Foram alterados parâmetros de rigidez, resistência, granulometria e dosagem, a fim de encontrar as melhores aplicações da BGTC na composição do pavimento, e assim, o melhor desempenho do pavimento ao longo do tempo e encontrando o melhor dimensionamento possível do mesmo sem alterações de espessuras de camadas. Diante das análises, foi observado que as maiores vidas de serviço estimadas para a seção estudada foram obtidas para uma ampla aplicação de camadas cimentadas no pavimento, inclusive nas camadas de sub-base e reforço de subleito, diferentemente ao aplicado na BR-101/SE, com aplicação da BGTC apenas na base do pavimento, cuja vida de serviço foi a menor entre as estudadas.

Palavras-chaves: Pavimentação; Dimensionamento; Análise mecanístico-empírica; BTGC; AEMC; MeDiNa.

ABSTRACT

At the beginning of the 20th century, on the European continent, studies of soil stabilization using cement began. These were intended to obtain a low-cost material and better structural performance than that obtained with commonly applied natural materials. From lean concrete, for the base of pavements, cemented crushed stone was developed. Cemented crushed stones results from the mixture of cement, water and gravel, used mainly in semi-rigid pavements. Its main use in Brazil is in pavements with asphalt coatings. The mechanical strength of this material is directly influenced by the proportion of each of the elements in the machined mixture, with emphasis on cement, by the application method and by the mineral origin of the components. The objective of this work is to make a mechanistic analysis of the performance of the cemented crushed stones in a typical semi-rigid pavement of the BR-101/SE, making use of the AEMC software and different performance prediction models, varying its position in the multilayer system. Parameters such as stiffness, strength, particle size distribution, and dosage were altered in order to find the best applications of cemented crushed stones in pavement layers, resulting in the best pavement performance over time and finding the best possible sizing without changing layer thickness. Through the analysis, it was observed that the highest estimated service lives for the studied section were obtained for a wide application of cemented layers in the pavement, including sub-base and subgrade reinforcement layers, in contrast to the application in BR-101/SE, where cemented crushed stone was only applied in the pavement base, resulting in the shortest service life among those studied.

Keywords: Pavement; Design; Mechanistic-empirical analysis; Cemented crushed stones; AEMC; MeDiNa

1. INTRODUÇÃO

Desde os tempos antigos, os romanos já faziam uso de aglomerantes na estabilização de materiais, objetivando reforçar o pavimento e torná-lo mais durável (MOTTA E MEDINA, 2015).

Diante da crescente demanda por pavimentos, em 1930 foi desenvolvida a mistura do asfalto e dos agregados em alta temperatura (concreto asfáltico usinado a quente – CAUQ), que possibilitou maior durabilidade para os pavimentos, apesar de demandar projetos de usinas e novos equipamentos de lançamento (VELOSO, 2022).

Apenas a partir da década de 1970, foi iniciada a utilização de materiais granulares tratados com cimento no Brasil. A Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC), difundiu-se nas décadas 1970 e 1980, sendo aplicada pelo Departamento de Estradas de São Paulo como camada de base com revestimento asfáltico em diversos pavimentos de vias de tráfego pesado (BERNUCCI et al., 2006).

Suzuki (1992) e Balbo (1993), a partir de análise de desempenho em campo e em laboratório, observaram que a BGTC apresentava retração e fissuras devido às características próprias da mistura e ao processo de cura do cimento, que levam às trincas por reflexão ao revestimento asfáltico e aceleram o processo de degradação do pavimento. Outro fator importante para o aparecimento de fissuras na camada de BGTC, segundo Sebesta e Scullion (2004), é a carga de tráfego. Marodin (2010) afirma que a fadiga é a grande responsável por ocasionar microfissuras no material constituinte, resultando na perda da rigidez. Ao se propagarem por todo o pavimento, as microfissuras resultam em acentuadas perdas de serventia do pavimento (PRADO, 2018).

Prado (2018) estabeleceu critérios de dosagens para melhorar o desempenho mecânico relacionado à fadiga da BGTC, governando a durabilidade do seu uso. Definição de faixa granulométrica bem graduada, correções de umidade ótima de compactação e utilização na mistura de teor de ligante igual ou superior a 4% de modo que haja cimentação suficiente para resistir às solicitações de tração na camada do pavimento foram recomendações técnicas sugeridas (PRADO *et al.*, 2020).

A fim de contribuir para o melhor desempenho de pavimentos dimensionados através do método mecanístico-empírico e do *software* AEMC do MeDiNa, este estudo analisou diferentes posicionamentos da BGTC no sistema multicamadas, além de verificar resultados para diferentes valores dos parâmetros de rigidez, resistência, granulometria e dosagem. Ademais, foi comparado o desempenho do pavimento de referência (chamado aqui de P1), pavimento semirrígido tipicamente aplicado na BR-101/SE, com as outras configurações de sistema multicamadas propostas.

1.1 Relevância do tema

A BGTC passou a ser utilizada com frequência em projetos de vias de tráfego elevado no Brasil devido ao ganho de rigidez, em comparação com a Brita Graduada Simples (BGS), material consolidado como um dos mais empregados na construção de pavimentos no Brasil (NEGREIROS e NASCIMENTO, 2022). O uso da BGTC proporcionou maior capacidade de resistência a deformações permanentes para solicitações cíclicas intensas decorrentes do aumento do tráfego e do excesso de cargas transportadas (NASCIMENTO *et al.*, 2018; MENDONÇA *et al.*, 2017).

Desde 2018, o dimensionamento mecanístico-empírico MeDiNa caminhou para se tornar o principal método para o dimensionamento de pavimentos em todo o território brasileiro. Tal método possibilita a execução de maneira mais econômica e duradoura, sendo capaz de analisar relações constitutivas do material. O MeDiNa oferece maior liberdade de tentativas e variações, pois faz o estudo integrado entre todas as camadas do pavimento e readequação nas espessuras, alinhados com os avanços tecnológicos e mais fiel à realidade brasileira em detrimento de outros métodos de dimensionamento (SANTOS, 2021).

Devido à recente implantação do MeDiNa e contribuições perceptíveis do uso de BGTC nos pavimentos, mais estudos de casos sobre a utilização de ambos devem ser desenvolvidos para que falhas de projeto, execução e manutenção sejam mitigadas. Além disso, Nascimento e Albuquerque (2018) fizeram um estudo de desempenho à fadiga de base cimentada tipo BGTC realizado na rodovia BR-101/SE, o qual apresentou insucesso, já nos dois primeiros anos de uso, por conta de níveis de tensões e deformações significativos. Por consequência, foi observada a ruptura precoce da base, situação prejudicada pelo posicionamento da camada de BGTC, que estava em contato direto com um revestimento e acima de uma base deformável, gerando tensões excessivas na sua fibra inferior, o que ratifica a importância de uma melhor concepção técnica para sua utilização.

Logo, mais estudos se fazem necessários para a melhoria dos critérios de dimensionamento, disposição das camadas, manutenção e recuperação, objetivando melhorar a performance dos pavimentos em meio às solicitações.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo principal deste estudo foi analisar por meio de um método mecanístico-empírico, utilizam o *software* de análise AEMC presente no pacote de programas MeDiNa de dimensionamento de pavimento asfáltico, o desempenho de pavimentos com BGTC, por meio da variação da sua posição no sistema multicamadas, alterando parâmetros de rigidez, resistência, granulometria e dosagem.

1.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a melhor aplicação da BGTC no dimensionamento de pavimentos semirrígidos: invertido e direto;
- Analisar qual entre as 13 (treze) configurações estudadas fornecem melhor desempenho mecânico;
- Contribuir para a comunidade de engenharia de transportes apresentando propostas que prolonguem a vida útil dos pavimentos;
- Comparar o desempenho da proposta originalmente utilizada no pavimento semirrígido da BR-101/SE com as demais configurações estudadas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A forma mais utilizada de classificação de pavimentos viários é baseada em suas características de distribuição de cargas e consequente deformabilidade das suas camadas constituintes e subleito. Esta classificação se dá em três classes, quais sejam: flexíveis, rígidos e semirrígidos; onde os pavimentos flexíveis são compostos por camada asfáltica sobre camadas de base granulares, transferindo maiores magnitudes de cargas ao subleito (FRANÇA E FERNANDES, 2017).

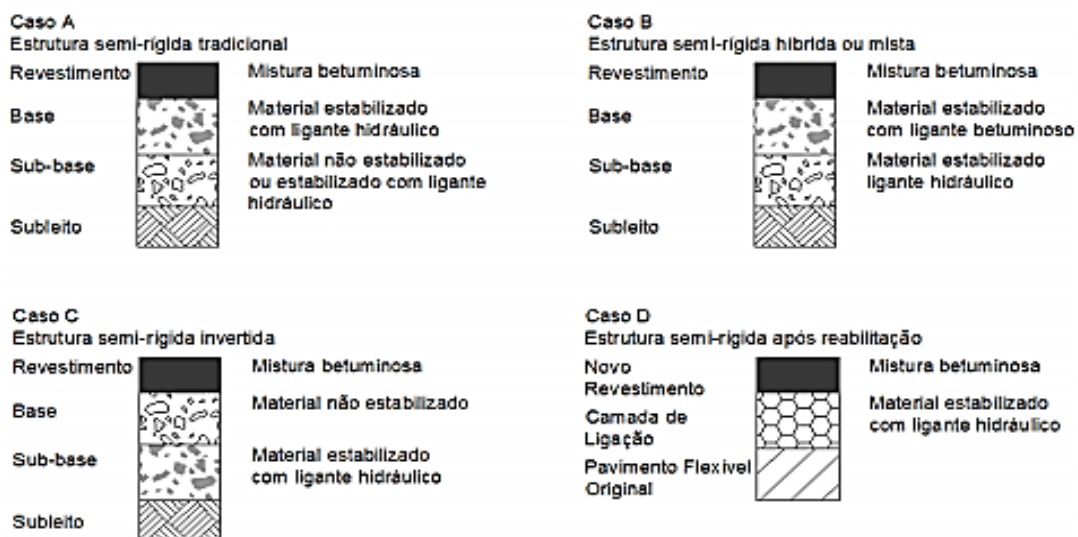
No outro extremo, os pavimentos rígidos são compostos por camada de concreto e uma sub-base, em geral, cimentada. Pela natureza dos materiais empregados, tendem a concentrar altas tensões na placa de concreto e exigir pouquíssimo do subleito, com melhor distribuição de cargas a este (BERNUCCI et al, 2006).

Já os pavimentos semirrígidos constituem-se numa categoria intermediária entre as anteriores, pois contém camada cimentada abaixo de um revestimento. As tensões transmitidas ao subleito são bastante reduzidas quando comparadas aos pavimentos flexíveis, mas não chegam a apresentar o efeito de placa (ou “laje”), como nos pavimentos rígidos (BERNUCCI et al, 2006)

Assim como nos flexíveis, os pavimentos semirrígidos são revestidos de material asfálticos. O que diferencia um do outro é a presença de ligantes hidráulicos (cimento Portland ou cal hidratada) em sua base, com o objetivo de se alcançar uma camada com rigidez suficiente para resistir às cargas de tráfego estabelecidas no projeto (SANTOS, 2021).

Conforme as diferentes configurações apresentadas na Figura 01, quando a camada cimentada é sub-base do pavimento, ele recebe a denominação de pavimento semirrígido invertido e, nesse caso, essa é a camada responsável por absorver a maior parte dos esforços de tração. Na composição do pavimento semirrígido invertido, a camada de revestimento é feita de asfalto e a base de material granular (FRANÇA E FERNANDES, 2017).

Figura 01: Diferentes configurações de pavimentos semirrígidos.



Fonte: Balbo (2007).

A adição dos ligantes hidráulicos pode ser em diversos materiais, cada um com características próprias. Os mais usuais são: Solo Melhorado com Cimento, Solo Cimento, Solo-cimento-cal e a Brita Graduada Tratada Com Cimento – BGTC (PAIXÃO, CORDEIRO E CORREA, 2017).

Uma alternativa de camada cimentada para pavimentos semirrígidos é a BGTC. Ela é uma mistura de material britado com granulometria contínua e bem graduada, semelhante a uma BGS, em que se adiciona de 3 a 5%, em peso, de cimento Portland. Para facilitar a compactação e hidratar o cimento que se mistura à fração fina é adicionada água, dando origem a uma pasta que liga os agregados graúdos formando ligações pontuais entre os agregados, mas não os envolvendo, como ocorre no concreto (MENDONÇA, 2014).

Atenção especial deve ser dada à baixa deformabilidade das camadas cimentadas, seus posicionamentos na estrutura e aos seus mecanismos de danos, quando no dimensionamento de pavimentos semirrígidos.

2.1 Dimensionamento e critérios de danos para camadas cimentadas

O dimensionamento de pavimentos flexíveis ou semirrígidos novos foi realizado por décadas no Brasil pelo “Método da Resistência”, mais conhecido como “Métodos do Eng. Murilo Lopes de Souza”, ou simplesmente como “Método do DNER”. Este método leva em consideração a análise da condição última dos materiais, especialmente de materiais granulares para pavimentação. Essa condição última é obtida experimentalmente através do resultado do ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC), conhecido também por *California Bearing Ratio* (CBR).

O método proposto pelo DNER (1981) leva em consideração os parâmetros do solo de fundação e das demais camadas para dimensionar a estrutura para que o subleito não venha a sofrer deformações permanentes excessivas. Porém, este método não considera as deformações resilientes ou recuperáveis que provocam a ruptura de camadas cimentadas por fadiga e que é a manifestação patológica comumente vista nas rodovias brasileiras (MEDINA & MOTTA, 2015).

Segundo Medina e Motta (2015), nas últimas décadas, a engenharia de pavimentos vem adotando uma abordagem mais racional no dimensionamento de pavimentos flexíveis, conhecida como abordagem mecanicista, fazendo uso de métodos analíticos para prever, as respostas mecânicas do pavimento em termos de tensões, deformações e deflexões devido às cargas do tráfego. Para tanto, leva em consideração as propriedades de deformabilidade dos materiais e os efeitos do clima no comportamento estrutural (AASHTO, 2008).

A análise mecanicista em pavimentos, portanto, é semelhante à análise estrutural utilizada em diversas obras de engenharia, nas quais são calculadas tensões e deformações a partir de parâmetros de rigidez e de carregamento nos materiais. O dimensionamento adequado deve incorporar variáveis relevantes de modo a permitir um cálculo e uma confiança que garantam o bom desempenho da estrutura e economicidade do projeto, sem superestimar ou subestimar a ocorrência de defeitos (SANTOS, 2020).

A consideração de um método que una análises mecanicistas a parâmetros empíricos em pavimentos, em âmbito nacional, foi feita de maneira mais formal recentemente (DNIT, 2018). O método em questão consiste na seguinte lógica: (i) um sistema de dimensionamento é usado para a previsão de defeitos a partir das condições de carregamento; e (ii) propriedades dos materiais selecionados, e que, variando os materiais e as espessuras, o projetista opta por uma

combinação adequada de estrutura de camadas e subleito que proporcione o atendimento aos requisitos técnicos de projeto (FRANCO, 2007).

2.2 Danos e defeitos em camadas cimentadas

Os defeitos mais recorrentes encontrados nas rodovias brasileiras são: deformação permanente e trincamento por fadiga. Dentre as mais variadas causas, a formação e propagação de trincas no revestimento asfáltico podem ocorrer em consequência das repetidas solicitações do tráfego que, com o tempo, reduzem drasticamente a vida de serviço do pavimento, facilitando assim a penetração de água nas camadas granulares da estrutura e acelerando sua deterioração. (BOEIRA, 2018)

Esses dois tipos de defeitos também são os principais decorrentes da ação acumulada das cargas de tráfego em camadas cimentadas de pavimentos semirrígidos, mas funcionando de uma forma peculiar, cujos danos são decorrentes do esmagamento e trincamento por fadiga da camada. Eles são assim descritos:

- Esmagamento: O esmagamento em camadas asfálticas é um tipo de falha comum especialmente em áreas de tráfego pesado. Consiste no achatamento ou deformação das camadas de asfalto sob a ação das cargas aplicadas pelos veículos que circulam na superfície do pavimento. O esmagamento geralmente começa na camada superior do pavimento e se propaga para as camadas inferiores. À medida que a deformação aumenta, o pavimento pode desenvolver trincas e rachaduras, que podem permitir a entrada de água e causar danos adicionais.

Para evitar o esmagamento em camadas asfálticas, é importante projetar e construir o pavimento de forma adequada, levando em consideração o tipo de tráfego esperado e as condições ambientais. Isso inclui o uso de materiais de qualidade, a espessura adequada das camadas e a compactação adequada durante a construção.

- Trincamento por fadiga: Cada vez em que uma carga de tráfego é aplicada sobre o pavimento ocasionará uma deformação elástica e uma recuperação total ou parcial desta deformação devido ao comportamento elástico do material. A repetição deste processo ao longo do tempo leva o material à plastificação localizada, onde o mesmo não suporta mais as magnitudes das deformações iniciais, ocasionando a abertura de trincas na parte inferior da camada, que logo se propagam até o seu topo.

Figura 02: Danos em camadas cimentadas de pavimentos semirrígidos: (a) Esmagamento (DE BEER, 1990) e (b) Trincamento por Fadiga (YEO, 2008).



Analisar os pavimentos e seus defeitos é de suma importância, pois diante dos resultados das análises é possível aprimorar o dimensionamento do sistema multicamadas, com o objetivo de aumentar a vida útil dos pavimentos, bem como o intervalo entre as manutenções periódicas. Geralmente, a determinação da vida de fadiga dos corpos de prova de materiais cimentados para pavimentos é através de ensaio de cargas cíclicas submetendo tensões entre 60% e 90% da resistência de ruptura, de forma a proporcionar pior condição e para que o ensaio tenha mais chance de chegar ao final antes de 1 milhão de ciclos de carregamentos (AUSTROADS, 2004). Caso o pavimento seja dimensionado para uma tensão máxima de tração equivalente à ruptura por fadiga em um milhão de ciclos, a durabilidade será indeterminada (PRADO, 2018; YEO, 2011).

Os pavimentos ainda têm vida útil após perderem as características de um material cimentado (trincamento avançado), ainda que essa seja reduzida. É possível estimar o “N” em função dessa “vida útil sobressalente”. Não foram feitas análises acerca desta possibilidade, pois o tema não está completamente alinhado com o objetivo central desse trabalho, apesar de ser importante destacar essas informações.

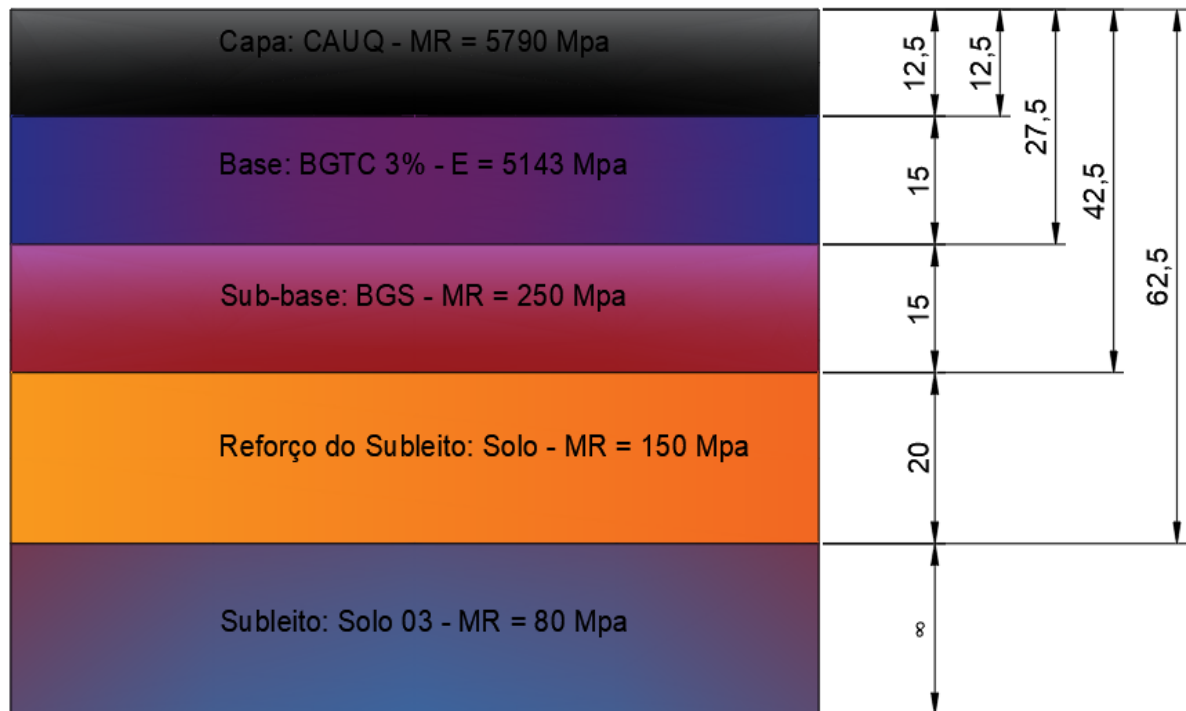
3. METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho, foram realizadas análises de tensões e deformações em seções transversais distintas de pavimentos semirrígidos. Foram testadas 13 (treze) seções transversais diferentes, incluindo diferentes configurações de camadas e materiais, mas com características de resistência e rigidez constante no banco de dados do grupo de pesquisa. Uma dessas seções (aqui chamada de P1) foi aplicada na rodovia BR-101/SE e devidamente estudada por compor um “Trecho Monitorado” cadastrado na Rede Temática de Asfalto (MENDONÇA, 2014)

3.1 Caso de estudo: BR-101/SE

O Trecho Monitorado A (TMA) foi estudado por Mendonça (2014) e Nascimento (2017). É uma seção tangente com boa visibilidade e consiste em uma sub-base Solo, uma base de BGTC com 3% de cimento Portland tipo CP-II-F32 e um revestimento em concreto asfáltico (CAUQ). A camada asfáltica foi dividida em duas, sendo a primeira intermediária na faixa granulométrica B do DNIT e a segunda camada de capa em CAUQ com polímero SBS (Estireno-Butadieno-Estireno) na faixa C do DNIT. O leito da estrada é composto por areia argilosa, contendo 19% de argila e 20% de índice de plasticidade. Na Figura 3 pode-se observar as características mecânicas iniciais de cada camada e aterro do TMA (NASCIMENTO, 2017).

Figura 03: Características mecânicas iniciais das camadas do P1



Fonte: Adaptado de Mendonça (2014).

3.2 Software MeDiNa

É um programa computacional que realiza a verificação e o dimensionamento de estruturas de pavimentos através de uma análise mecanística-empírica, através da rotina de Análise Elástica de Múltiplas Camadas (AEMC), desenvolvida por Franco (2007).

O AEMC é um software que realiza a análise de camadas elásticas e utiliza em sua estrutura geral de cálculo a integração de Gauss-Laguerre nos cálculos das equações integrais. O programa usa a solução de problemas de elasticidade linear em sistemas de multicamadas e contínuos, e como vantagem apresenta a combinação de carregamentos de mais de uma roda, por meio da superposição e da hipótese de elasticidade linear, dando como resposta tensões radiais, tangenciais, de cisalhamento no plano vertical-radial e deflexões verticais radiais (DNIT, 2020).

O manual do AEMC disponibilizado junto com o programa informa que as hipóteses fundamentais da solução baseiam-se nas mesmas consideradas na solução de problemas de elasticidade linear em sistemas de multicamadas e contínuos (FRANCO e MOTTA, 2018).

É apresentado na Figura 04 um layout do software AEMC, com os parâmetros do pavimento semirrígido tipicamente aplicado na BR-101/SE (P1), no qual existem símbolos específicos, como:

- X, Y e Z distâncias no plano Horizontal e profundidade respectivamente;
- U_x , U_y e U_z , deslocamentos nos eixos x, y e z respectivamente;
- s_1 , s_2 e s_3 Tensões principais;
- e_1 , e_2 e e_3 Deformações específicas principais

Figura 04: Layout do AEMC com dados de análise da BR-101/SE (P1).

AEMC v.2.4.4 (mar/2023)

Projeto Ajuda

Estrutura >>

CAMADA	ESPESSURA (cm)	MASSA ESP (g/cm³)	COMPORTAMENTO	MÓDULO (MPa)	k1	k2	k3	k4	COEF POISSON	ADERÊNCIA
1	12,5	2,4	LINEAR	5790	0,0	0,0	0,0	0,0	0,30	1
2	15	2,35	LINEAR	5143	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	1
3	15	1,9	LINEAR	250	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	1
4	20	1,6	LINEAR	150	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	0,0
5	0	1,6	LINEAR	80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,40	0,0

Tipo de carregamento:

Eixo padrão rodoviário

Eixo simples

Dois eixos simples (direcional)

Eixo duplo

Dois eixos duplos

Dois eixos duplos em

EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO

Análise

Semi-eixo

Número de rodas: 2

Carga do semi-eixo (ton): 4,10

Carga de roda (ton): 2,05

Pressão de pneus (MPa): 0,56

Ty (cm): 0,00

Tx (cm): 32,40

Lx (cm): 181,00

Área (cm²): 366,07

Raio (cm): 10,79

Pontos de análise e resultados

Calcular

Ferramentas >>

Ponto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)
1	0	0	12,4999	0,00000	0,00000	269,22047
2	16,2	0	12,4999	-0,15166	0,00000	265,79379
3	0	0	27,4999	0,00000	0,00000	263,85454
4	16,2	0	27,4999	7,65974	0,00000	258,82103
5	0	0	35	0,00000	0,00000	254,94391
6	16,2	0	35	8,37461	0,00000	250,15660
7	0	0	52,5	0,00000	0,00000	233,25592
8	16,2	0	52,5	10,86244	0,00000	229,78407
9	0	0	62,5001	0,00000	0,00000	219,47569
10	16,2	0	62,5001	-3,02679	0,00000	216,63239
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						

C:\Users\NEEMIAS\OneDrive\UFS\TCC\ARQUIVOS.pAE

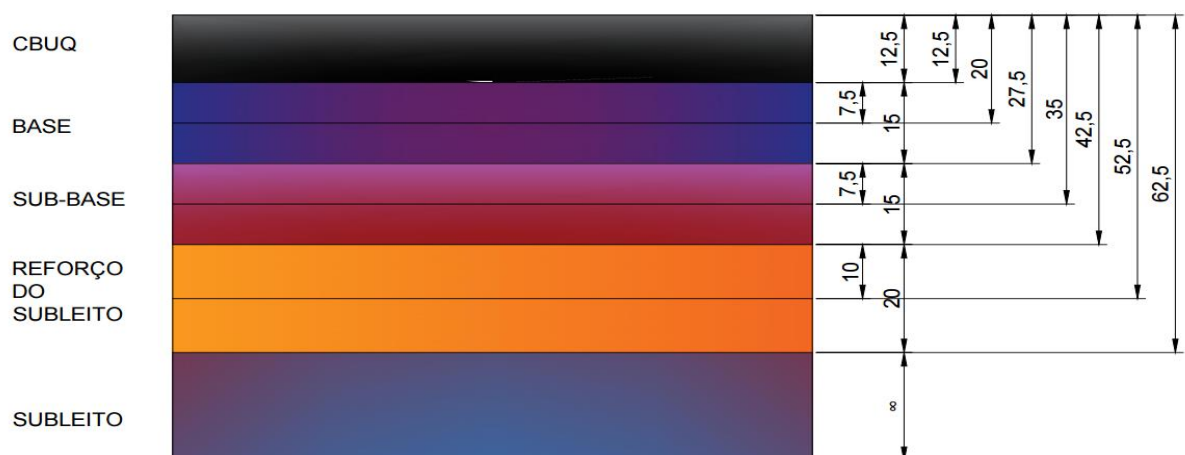
Processamento: 0,011 s

Fonte: Software AEMC v.2.4.4, adaptado pelo Autor (2023).

3.3 Análises aplicadas

Tendo em vista a correta análise do comportamento do pavimento, dependendo do material que compunha a camada, foram analisados os pontos: central, infinitesimal superior e infinitesimal inferior de cada uma das camadas. Os pontos analisados dependem do material que compõe cada camada, necessitando mudar o local de análise quando se trata de uma camada cimentada em relação as camadas granulares (Figura 05).

Figura 05: Camadas de pavimento semirrígido típico da BR-101/SE.



Fonte: O Autor (2023).

3.4 Materiais e pavimentos analisados

Foram analisados ao todo 13 pavimentos tipo, todos semirrígidos (SR), com 3 destes sendo do tipo invertido. Não foi alterada a espessura das camadas, já que o objetivo era variar apenas o tipo de material e analisar a interação dos mesmos. Na tabela 01 constam todos os materiais que compõem os pavimentos estudados (todos estudados pelo grupo de pesquisa) e as respectivas seções estudadas nesse trabalho, mesclando, inclusive, seções com ampla aplicação de camadas cimentadas. Em todos os casos o subleito foi o mesmo, assumindo o menor valor retro analisado por Mendonça, et al (2017). Na mesma tabela destaca-se o valor de módulo da camada adotado nas análises.

Tabela 01: Materiais e seções de pavimento propostos para análise.

Medidas de Resistência e Rigidez (MPa) ^(a)														
Item	Material	Tempo de Cura	RCS	RTI	RTF	MR	E	E* long	E* transv	E* torc	E* (20°C)	E* (40°C)		
1	BGTC (DER/SP+3% CPII-F-32)	28	4,15	0,29	0,34	-	5143	8640	8930	3415	-	-		
2	BGTC (SAPEM+5% CPII-F-32)	28	8,82	1,19	1,19	-	13400	23300	23720	8001	-	-		
3	Solo-cal	28	-	-	-	1000	-	-	-	-	-	-		
4	Solo-cimento	28	7,00	-	0,60	2500	-	-	-	-	-	-		
5	CAUQ+SBS ("C"+ CAP 50/70 com SBS)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5790	398		
6	BGS	-	-	-	-	250	-	-	-	-	-	-		
7	Solo 02	-	-	-	-	150	-	-	-	-	-	-		
8	Subleito - Solo 03	-	-	-	-	80	-	-	-	-	-	-		
RCS: Resistência à Compressão Simples (NBR 5739)					E*long: Módulo Dinâmico Longitudinal (ASTM C215/2014)									
RTI: Resistência à Tração Indireta (DNIT 136/2018-ME)					E*transv: Módulo Dinâmico Transversal (ASTM C215/2014)									
RTF: Resistência à Tração na Flexão (ASTM C78/C78M-15b)					E*torc: Módulo Dinâmico Torcional (ASTM C215/2014)									
MR: Módulo de Resiliência (DNIT 181/2018-ME)					E*(20°C): Módulo Dinâmico a 20°C (ASTM E1876/2009)									
E: Módulo de Elasticidade (NBR 8522/2008)					E*(40°C): Módulo Dinâmico a 40°C (ASTM E1876/2009)									
Configurações Estruturais Estudadas														
Camada	h (cm)	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13
CAPA	12,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
BASE	15,0	1	2	2	2	1	2	1	1	2	4	6	6	6
SUB-BASE	15,0	6	6	1	1	2	1	2	4	4	6	1	2	2
REFORÇO DO SUBLEITO	20,0	7	7	7	3	3	4	4	3	3	7	7	4	3
SUBLEITO	∞	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
(a) Os resultados foram obtidos em pesquisas conduzidas por Mendonça (2014), Nascimento (2017) e Prado (2018), e por serviços à comunidade realizados pela empresa Junior do Curso de Engenharia Civil da UFS (EdificarSe).														

(a) Os resultados foram obtidos em pesquisas conduzidas por Mendonça (2014), Nascimento (2017) e Prado (2018), e por serviços à comunidade realizados pela empresa Junior do Curso de Engenharia Civil da UFS (EdificarSe).

Fonte: Adaptado pelo Autor (2023).

3.5 Modelos de previsão de desempenho utilizados

Para a realização das análises foram utilizados modelos de previsão de desempenho contidos na Instrução de Projetos do DER/SP (DER-SP, 2004) e em *South African Pavement Engineering Manual* (SAPEM, 2014). O SAPEM (2014) é um manual de referência em todos os aspectos da engenharia de pavimentos na África do Sul, e é considerado um guia de boas práticas para o projeto, construção, avaliação e manutenção de pavimentos rodoviários e

aeroportuários. O manual abrange tópicos como geotecnia, componentes, projeto, materiais, construção, avaliação e manutenção de pavimentos. Já o DER/SP é responsável pela construção e manutenção de rodovias e estradas no estado de São Paulo, e utiliza metodologias e normas específicas para garantir a qualidade e a segurança da infraestrutura de transporte; metodologia essa que está disposta na Instrução de Projeto de Pavimentação publicado em 2004, que possui inspiração em edições anteriores do SAPEM e de outros manuais internacionais.

Foram aplicados modelos de previsão de desempenho para camadas de concreto asfáltico (deformação específica de tração na fibra inferior da camada), camadas tratadas com cimento hidráulico (tensão principal maior no topo da camada e deformação específica de tração na fibra inferior da camada), camadas granulares (tensões principais maior e menor no centro da camada) e no subleito (deformação específica de tração no topo do subleito). Utilizou-se como padrão nas análises apenas modelos com Nível de Confiança de 80% e que levam em consideração camadas perfeitamente aderidas entre si.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

Para a realização desse estudo foram propostos treze pavimentos diferentes, utilizando diferentes materiais no sistema multicamadas. Cada um desses tipos de pavimentos teve seus parâmetros inseridos no AEMC, com a finalidade de encontrar tensões e deformação atuantes nos seus diversos pontos de interesse. Importante destacar que todos os pavimentos foram compostos de Capa, Base, Sub-Base, Reforço do Subleito e Subleito, variando apenas os materiais que compõe cada camada a cada nova configuração e avaliando individualmente o desempenho de cada uma das camadas, comparando os mesmos com o pavimento P1, originalmente aplicado na BR-101/SE.

Os resultados das análises mecanicistas (tensões e deformações atuantes nas camadas) são apresentados por seção estudada no Apêndice A.1 desse trabalho, devido à grande quantidade de dados que essa análise representa. Contudo, são apresentados e discutidos adiante os valores de “N” obtidos pela aplicação dos modelos de previsão de desempenho listados no item 3.5 (detalhado no Apêndice A.2). Tais resultados de desempenho constam na Tabela 2 e Figura 6.

Observa-se que o pior desempenho foi observado na seção P10 e o melhor desempenho foi observado na seção P7 (considerando apenas a 1ª fase de desempenho da estrutura – ruptura de alguma camada cimentada – desconsiderou-se as fases subsequentes de desempenho). O P1, aplicado na BR-101/SE, obteve desempenho inferior entre as seções avaliadas.

A razão das diferenças de desempenho é uma resposta complexa. Contudo, os itens seguintes são dedicados a detectar e explicar as causas que ocasionaram essa distinção de desempenho.

Tabela 2: Resultados de “N” estimados pelos modelos de previsão de desempenho.

Pior desempenho de cada um dos pavimentos						
Pavimento	Capa	Base	Sub-Base	Reforço do Subleito	Subleito	Menor N por pavimento
P1	3,45E+10	3,14E+06	1,00E+15	1,00E+15	7,9708E+10	3,14E+06
P2	1,49E+13	5,42E+06	1,00E+15	1,00E+15	1,6923E+11	5,42E+06
P3	1,18E+12	7,53E+06	5,45E+06	1,00E+15	8,2473E+11	5,45E+06
P4	3,28E+12	7,79E+06	6,35E+06	1,00E+15	1,3236E+12	6,35E+06
P5	1,57E+11	7,40E+06	7,32E+06	1,00E+15	1,6848E+12	7,32E+06
P6	6,77E+12	8,04E+06	7,22E+06	8,93E+06	2,8193E+12	7,22E+06
P7	1,04E+11	7,58E+06	7,79E+06	9,16E+06	2,7993E+12	7,58E+06
P8	7,84E+10	6,32E+06	5,76E+06	1,00E+15	5,5059E+11	5,76E+06
P9	1,95E+12	7,11E+06	6,16E+06	1,00E+15	8,0831E+11	6,16E+06
P10	4,56E+08	2,12E+06	4,30E+09	1,00E+15	4,5362E+10	2,12E+06
P11	6,48E+06	1,00E+15	4,02E+06	1,00E+15	3,5167E+10	4,02E+06
P12	7,80E+06	1,00E+15	7,76E+06	7,47E+06	8,0349E+10	7,47E+06
P13	8,45E+06	1,00E+15	6,91E+06	1,00E+15	1,4159E+11	6,91E+06

Fonte: O autor (2023).

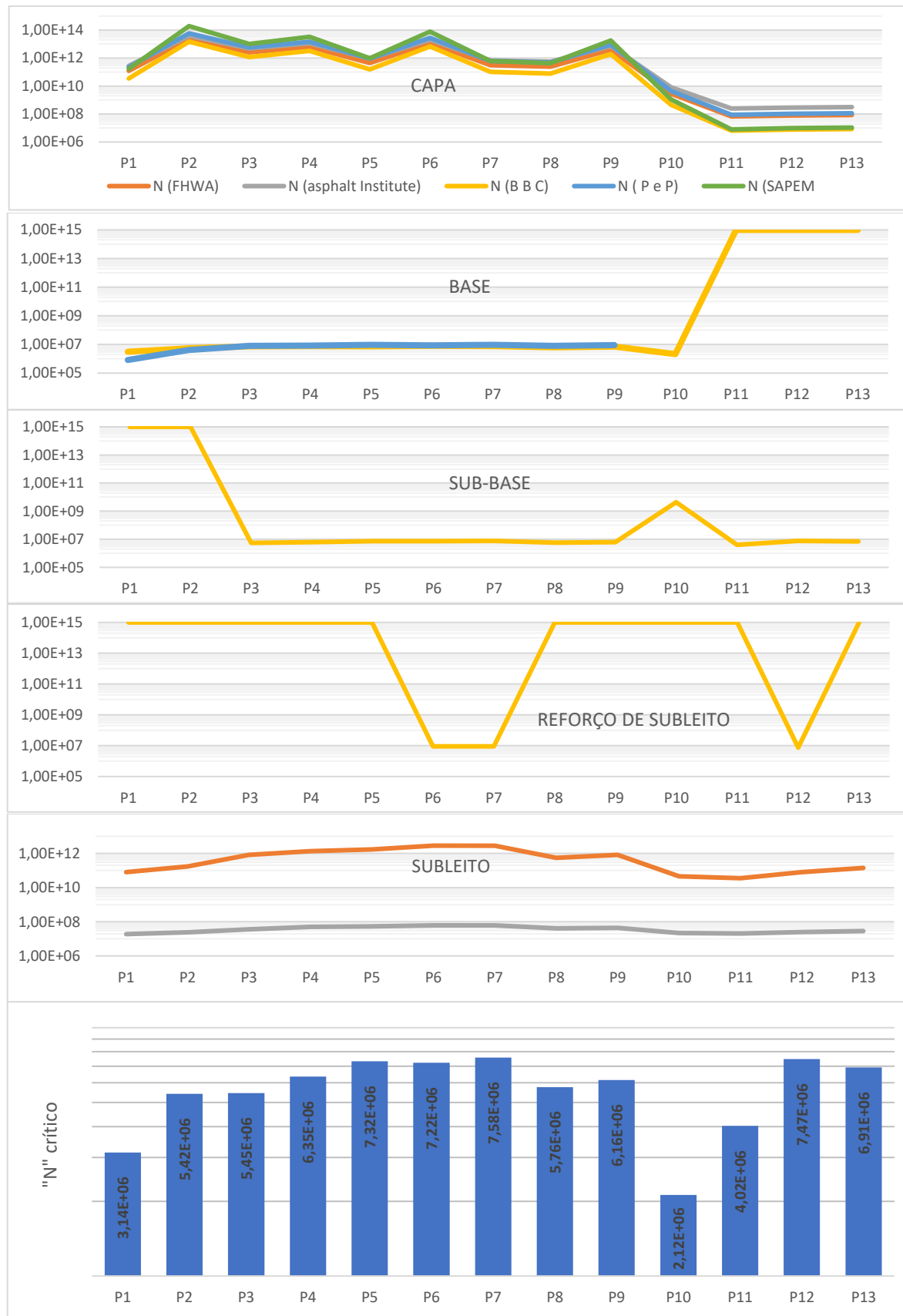
4.1 Interface entre Revestimento e Base

Observa-se que as seções com melhor desempenho para a capa (N maior significa que uma maior quantidade de passagens de eixos pode acontecer sobre o pavimento até atingir 100% de dano) foram o P5, P6, P7 e P12, justamente os pavimentos onde foi testada a BGTC com 5% de cimento como base ou sub-base e reforço de subleito cimentado. É importante destacar que o grande objetivo de um pavimento é ser durável e demandar baixa manutenção, valendo-se disto, pensando especialmente na capa (que é a camada de maior custo do pavimento). Nas seções 11, 12 e 13, que são do tipo semirrígido (SR) invertido, os resultados de “N” foram significativamente inferiores ao demais, quando considerando apenas o desempenho da capa; uma possível solução para esse problema seria mudar a espessura das camadas, a fim de encontrar a espessura ideal. Entretanto, este não foi o objetivo do presente trabalho, o qual se dispôs a alterar apenas os materiais que compunham as camadas, tornando possível uma padronização para comparar qualitativamente e quantitativamente diferentes concepções de pavimentos do tipo SR.

Vale destacar que as seções P1 a P10 são constituídas de bases cimentadas, as quais têm o desempenho governado pela fadiga causada pelos ciclos de tração na fibra inferior da camada. P11, P12 e P13 são seções com bases granulares para pavimentos semirrígidos invertidos, tendo seus desempenhos condicionados pelo estado de tensões no centro da camada, que pode causar o cisalhamento da mesma.

As seções avaliadas com BGTC fornecem “N” da camada asfáltica superiores a todas as seções do tipo SR invertido e ao P10 (com base de solo-cimento). Contudo, a seção P1 (seção com base de BGTC originalmente aplicada na BR-101/SE) apresentou o 2º pior desempenho entre as seções estudadas, exatamente pela pequena vida de fadiga da BGTC com 3% de cimento.

Figura 6: Desempenho das seções estudadas por camada ("N" estimado).



Fonte: O autor (2023).

Pôde-se identificar vantagens do uso de base cimentada composta de BGTC 3% ou 5% de cimento em relação às bases granulares nas seções estudadas. Algumas das vantagens incluem:

- **Maior resistência estrutural:** A base cimentada é mais resistente e durável em comparação com outros tipos de base. Ela tem uma maior capacidade de suportar as cargas do tráfego e reduzir a deformação permanente do pavimento. Além disso, promove alívio nas tensões de tração no revestimento asfáltico quando sobreposto à base cimentada.
- **Maior capacidade de suporte:** A base cimentada tem uma capacidade de suporte maior em comparação com outros tipos de base, o que é especialmente importante em pavimentos de alto volume de tráfego pesado, aumentando a vida de serviço da estrutura.
- **Melhor resistência à água:** A base cimentada tem uma melhor potencial de resistência à água do que outros tipos de base, o que ajuda a evitar a erosão na infraestrutura do pavimento e a perda de suporte da camada sobrejacente.
- **Menor necessidade de manutenção:** Quando bem projetada, a base cimentada requer menos manutenção do que outros tipos de base, pois é menos suscetível a danos causados pela água e pelas cargas do tráfego.

No entanto, é importante notar que o uso da base cimentada pode dispendar maior custo construtivo em comparação com outros tipos de base, devido, principalmente, à inserção do cimento e da mão de obra necessária para a sua instalação. Além disso, é essencial que a base cimentada seja projetada e construída adequadamente para garantir que ofereça os benefícios desejados.

4.2 Interface entre Base e Sub-base

As seções que possuem boa relação de rigidezes ao longo do sistema multicamadas tendem a reduzir os níveis concentração de tensões nas camadas, promovendo valores de “N” maiores. A presença de material cimentado na sub-base promove um grande alívio de tensões na base granular das seções semirrígidas invertidas de P11 a P13. Contudo, a própria sub-base cimentada fica sobrecarregada por absorver maiores tensões. Os valores de “N” da camada de base granular em seções semirrígidas invertidas foram significativamente elevados por estar confinada entre o revestimento e a sub-base cimentada. Além disso, servem de camada antirreflexão de trincas.

Vale destacar que o uso de camada de base e sub-base em BGTC resultou em maiores valores de “N”. Essa configuração pode ser interpretada como uma camada de BGTC de maior espessura, o que melhora consideravelmente o desempenho da estrutura.

Nas seções 1, 2 e 11 pode-se ter comparações importantes. Primeiramente, comparando-se P1 e P2, com mesma concepção estrutural, mas com BGTC com 3% e 5% de cimento, respectivamente, há uma melhora 73% em desempenho para o P2. Já comparando-se P1 e P11, observa-se que foram empregados os mesmos materiais nos dois casos, contudo no P11 a BGTC é na sub-base. Invertendo-se a camada, o P11 obteve uma melhora 28% em desempenho com relação ao P1.

Verificou-se também que todos os materiais granulares abaixo da última camada cimentada (seja sub-base, reforço de subleito ou subleito – a depender da seção estudada) ficaram bem protegidos contra deformações plásticas, com valores de “N” muito altos, indicando vida de

serviço indefinida. Vale destacar que a transição da rigidez no sistema de múltiplas camadas influencia diretamente no desempenho das camadas mais rígidas do pavimento e consequentemente, no desempenho global. Camadas muito rígidas localizadas abaixo ou acima de camadas significativamente menos rígidas podem acumular danos rapidamente, provocando a ruptura do pavimento. Essa é uma das razões para que habitualmente haja o tratamento ou a remoção de camadas trincadas antes do reforço estrutural, já que a rigidez da camada antiga tem valor muito próximo da nova camada a ser aplicada, evitando-se problemas de reflexão de trincas.

5. CONCLUSÕES

Diferentes configurações de pavimentos de multicamadas foram avaliadas neste estudo, variando os materiais utilizados em cada camada, mas preservando a posição e espessuras aplicadas na BR-101/SE. Os resultados das análises mecanicistas revelaram tensões e deformações atuantes em cada seção estudada, que proporcionou a possibilidade de comparar o desempenho de cada seção estudada a partir dos valores de "N" críticos encontrados.

Observou-se que a seção P10 (com base de solo-cimento) apresentou o pior desempenho, enquanto a seção P7 (com múltiplas camadas cimentadas) obteve o melhor desempenho entre as estudadas. O pavimento P1, originalmente aplicado na BR-101/SE, mostrou um desempenho inferior (2ª menor vida de serviço) em relação às demais seções avaliadas.

Ao analisar a interface entre o revestimento e a base, constatou-se que as seções com brita graduada tratada com cimento (BGTC) proporcionaram melhor desempenho para a camada asfáltica em comparação com as seções do tipo semirrígido invertido, devido à influência na posição da linha neutra de tensões horizontais.

Ressalta-se que a combinação de uma melhor transição de rigidez entre camadas, o uso de materiais cimentados de alta rigidez e espessura maiores certamente constitui-se em uma boa estratégia para a obtenção de pavimentos com maiores vidas de serviço. A melhor transição de rigidez ao longo do sistema multicamadas resulta menores concentrações de tensões nas mesmas. A maior rigidez do material cimentado reduz a deformação específica de tração no material, variável determinante na avaliação de desempenho desses materiais. No último caso, a maior espessura retarda a progressão das trincas ao longo da seção transversal da camada.

REFERÊNCIAS

- AASHTO, **Guide for Mechanistic-empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures**, NCHRP 1-37A. Washington, DC: Transportation Research Board, 2004.
- BALBO, J.T. **Estudo das propriedades mecânicas das misturas de brita e cimento e sua aplicação aos pavimentos semi-rígidos**. 1993. 181 p. Tese (Doutorado em Engenharia). Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- BASTOS, J. B. de S. **Considerações sobre a deformação permanente de pavimentos asfálticos no dimensionamento mecanístico-empírico**. 2016. 200 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

BERNUCCI, L. L. B.; MOTTA, L. M. G.; SOARES, J. B.; CERATTI, J. A. P., **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: 1ª Edição PETROBRAS. ABEDA, 2006.

DE ANDRADE, Lucas Rodrigues et al. Comportamento mecânico de camadas de bases granular e tratada com cimento em rodovia de tráfego muito pesado. **Anais do XXIX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Ouro Preto**, p. 148-159, 2015.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. ME 135: **Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas - Determinação do módulo de resiliência**. Rio de Janeiro, 2018.

FRANCO, F.A.C.P.; MOTTA, L.M.G., **Programas MeDiNa, AEMC e BackMeDiNa – Manual de Utilização**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, RJ, 2018.

GUERRA, L. da R. M. ALBUQUERQUE, F. S. Efeito de adições e/ou reforçadores na retração da brita graduada tratada com cimento. **34º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET**, p. 1624-1627, 2020.

MARODIN, E. E. **Alternativa de dimensionamento para o pavimento da BR-448: análise mecanicista com aplicação de Brita Graduada Tratada com Cimento**. 2010. 73p. Tese (Engenheiro) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

MEDINA, J. de e MOTA, L. M. G. da . **Mecânica dos Pavimentos**. 3. ed. Rio de Janeiro: UFRJ, 2015. 640 p. ISBN 9788571933668.

NASCIMENTO, R. S. e F. S. ALBUQUERQUE. **Estudo de desempenho à fadiga de base cimentada tipo BGTC na BR-101/SE**. Revista Transportes, v. 26, n. 1, p. 21-36, 2018.

NEGREIROS, F.H. S., NASCIMENTO, V. C. **Execução e controle de qualidade de base e sub-base de brita graduada simples – BSG – em pavimentos de rodovias**. Disponível em: <<https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/2177>>. Acesso em: 02 de ago. de 2022

PRADO, Kharine. **Estudo de critérios de dosagem para melhoria de desempenho mecânico de brita graduada tratada com cimento**. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2018.

SANTOS, A. B. V. **Contribuições para um método mecanístico-empírico de dimensionamento de pavimentos asfálticos: influência da temperatura e da velocidade de tráfego na previsão de área trincada**. 167 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2020.

SANTOS, Silvelândia Silveira dos. **Análise de tensão e deformação de um pavimento em serviço à luz da vida de fadiga**. Monografia (Curso de Engenharia Civil). Centro Universitário Christus. Fortaleza, 2021.

SEBESTA, S.; SCULLION, T. **Effectiveness of minimizing reflective cracking in cementtreated bases by microcracking**. Texas Transportation Institute - FHWA/TX-05/0-4502-1, Austin, Texas, 2004.

SUZUKI, C.Y. **Contribuição ao estudo de pavimentos rodoviários com estrutura invertida (sub-base cimentada)**. 1992, Tese (Doutorado), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

MENDONÇA, A. T. de. **Avaliações Funcionais e Estruturais Preliminares de Trechos Monitorados na Rodovia BR-101/SE**. 2014. 186p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2014. THEYSE, H.; DE BEER, M.; RUST, F. **Overview of South African mechanistic pavement**

NASCIMENTO, R. **Estudo de desempenho à fadiga de base cimentada tipo BGTC na BR-101/SE**. 2017. 143p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2017.

design method. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, n. 1539, p. 6-17, 1996.

YEO. Y.S. **Characterization of cement-treated crushed rock base course for Western Australian Roads**, 2008, 227p, Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Curtin University, School of Civil and Mechanical Engineering, Australian.

YEO. Y. S.; JITSANGIAM, P.; NIKRAZ, H. Mix design of cementitious basecourse. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN GEOTECHNICAL ENGINEERING, 2011, Perth, Austrália, 2011.

APÊNDICES

A.I RESULTADOS DOS CÁLCULOS FEITOS PELO AEMC

	Pavimento 1									
					Maior numerico	Menor numérico				Maior tração
		x	y	z	s1	s2	s3	e1	e2	e3
CAPA	CAUQ	0	0	12,4999	0,111264	0,102672	0,005936	1,36E-05	1,17E-05	-1,01E-05
		16,2	0	12,4999	0,274276	0,010304	0,003875	4,66E-05	-1,26E-05	-1,41E-05
Base	BGTC 1	0	0	27,4999	0,026372	-0,39271	-0,481657	6,46E-05	-4,54E-05	-6,87E-05
		16,2	0	27,4999	0,026241	-0,400226	-0,466892	6,41E-05	-4,78E-05	-6,53E-05
Sub-Base	BGS	0	0	35	0,020112	-0,010745	-0,01295	1,14E-04	-5,30E-05	-6,49E-05
		16,2	0	35	0,019634	-0,010473	-0,012272	1,10E-04	-5,22E-05	-6,19E-05
Reforço do SubLeito	Solo	0	0	52,5	0,012504	-0,009516	-0,010092	1,29E-04	-6,91E-05	-7,43E-05
		16,2	0	52,5	0,01212	-0,008888	-0,009719	1,24E-04	-6,49E-05	-7,23E-05
Subleito	Solo 3	0	0	62,5001	0,011285	0,010179	0,010134	3,95E-05	2,01E-05	1,94E-05
		16,2	0	62,5001	0,010922	0,009863	0,009796	3,82E-05	1,97E-05	1,85E-05
	Pavimento 2									
					Maior numerico	Menor numérico				Maior tração
		x	y	z	s1	s2	s3	e1	e2	e3
CAPA	CAUQ	0	0	12,4999	0,157001	0,126608	0,103175	1,52E-05	8,39E-06	3,12E-06
		16,2	0	12,4999	0,331323	0,182261	0,163537	3,93E-05	5,84E-06	1,63E-06
Base	BGTC 2	0	0	27,4999	0,019015	-0,634987	-0,766255	3,80E-05	-2,79E-05	4,11E-05
		16,2	0	27,4999	0,018792	-0,646496	-0,744966	3,77E-05	-2,93E-05	-3,92E-05
Sub-Base	BGS	0	0	35	0,015166	-0,006222	-0,007463	7,98E-05	-3,57E-05	-4,24E-05
		16,2	0	35	0,014768	-0,006047	-0,00711	7,75E-05	-3,49E-05	-4,06E-05
Reforço do SubLeito	Solo	0	0	52,5	0,010132	-0,006419	-0,006753	9,83E-05	-5,07E-05	-5,37E-05
		16,2	0	52,5	0,009903	-0,006044	-0,006568	9,55E-05	-4,81E-05	-5,28E-05
Subleito	Solo 3	0	0	62,5001	0,009349	0,008429	0,008399	3,27E-05	1,66E-05	1,61E-05
		16,2	0	62,5001	0,0091	0,008214	0,008166	3,19E-05	1,63E-05	1,55E-05
	Pavimento 3									
					Maior numerico	Menor numérico				Maior tração
		x	y	z	s1	s2	s3	e1	e2	e3
CAPA	CAUQ	0	0	12,4999	0,156023	0,125688	0,118441	1,43E-05	7,49E-06	5,86E-06
		16,2	0	12,4999	0,347224	0,175539	0,168982	4,21E-05	3,57E-06	2,10E-06
Base	BGTC 2	0	0	27,4999	0,055567	-0,211353	-0,276446	1,69E-05	-1,00E-05	-1,66E-05
		16,2	0	27,4999	0,066877	-0,231539	-0,270462	1,81E-05	-1,20E-05	-1,59E-05
Sub-Base	BGTC 1	0	0	42,4999	0,008481	-0,224758	-0,245445	3,36E-05	-2,76E-05	-3,30E-05
		16,2	0	42,4999	0,008143	-0,209785	-0,23275	3,17E-05	-2,55E-05	-3,15E-05
Reforço do SubLeito	Solo	0	0	52,5	0,006856	-0,003638	-0,003854	6,32E-05	-3,13E-05	-3,32E-05
		16,2	0	52,5	0,006709	-0,003395	-0,003718	6,13E-05	-2,96E-05	-3,25E-05
Subleito	Solo 3	0	0	62,5001	0,006292	0,005671	0,005655	2,20E-05	1,11E-05	1,09E-05
		16,2	0	62,5001	0,006147	0,005545	0,00552	2,15E-05	1,10E-05	1,05E-05

	Pavimento 4									
					Maior numerico	Menor numérico				Maior tração
		x	y	z	s1	s2	s3	e1	e2	e3
CAPA	CAUQ	0	0	12,4999	0,147684	0,129018	0,109342	1,32E-05	8,97E-06	4,55E-06
		16,2	0	12,4999	0,349178	0,166908	0,162393	4,32E-05	2,32E-06	1,31E-06
Base	BGTC 2	0	0	27,4999	0,067073	-0,152994	-0,216926	1,47E-05	-7,50E-06	-1,39E-05
		16,2	0	27,4999	0,077214	-0,1771	-0,213551	1,60E-05	-9,66E-06	-1,33E-05
Sub-Base	BGTC 1	0	0	42,4999	0,017345	-0,159295	-0,175331	2,61E-05	-2,02E-05	-2,44E-05
		16,2	0	42,4999	0,016446	-0,149075	-0,166306	2,47E-05	-1,88E-05	-2,33E-05
Reforço do SubLeito	Solo-Cal	0	0	52,5	0,008913	-0,032203	-0,03381	3,20E-05	-2,35E-05	-2,57E-05
		16,2	0	52,5	0,008726	-0,030535	-0,032502	3,08E-05	-2,22E-05	-2,49E-05
Subleito	Solo 3	0	0	62,5001	0,00559	0,005039	0,005024	1,96E-05	9,91E-06	9,66E-06
		16,2	0	62,5001	0,005464	0,004929	0,004906	1,91E-05	9,76E-06	9,36E-06

	Pavimento 5									
					Maior numerico	Menor numérico				Maior tração
		x	y	z	s1	s2	s3	e1	e2	e3
CAPA	CAUQ	0	0	12,4999	0,177672	0,148281	0,065105	1,96E-05	1,30E-05	-5,64E-06
		16,2	0	12,4999	0,315457	0,075208	0,061208	4,74E-05	-6,53E-06	9,67E-06
Base	BGTC 1	0	0	27,4999	0,092802	0,049604	0,041086	1,19E-05	5,33E-07	-1,70E-06
		16,2	0	27,4999	0,12107	0,044715	0,031863	1,83E-05	-1,71E-06	-5,09E-06
Sub-Base	BGTC 2	0	0	42,4999	0,015863	-0,331032	-0,368826	1,82E-05	-1,45E-05	-1,81E-05
		16,2	0	42,4999	0,014786	-0,307318	-0,347417	1,71E-05	-1,33E-05	-1,71E-05
Reforço do SubLeito	Solo-Cal	0	0	52,5	0,008359	-0,024574	-0,026011	2,61E-05	-1,84E-05	-2,03E-05
		16,2	0	52,5	0,008165	-0,023225	-0,024909	2,50E-05	-1,74E-05	-1,96E-05
Subleito	Solo 3	0	0	62,5001	0,005263	0,004744	0,004729	1,84E-05	9,34E-06	9,08E-06
		16,2	0	62,5001	0,005147	0,004643	0,004621	1,80E-05	9,20E-06	8,81E-06

	Pavimento 6									
					Maior numerico	Menor numérico				Maior tração
		x	y	z	s1	s2	s3	e1	e2	e3
CAPA	CAUQ	0	0	12,4999	0,13929	0,131812	0,103328	1,19E-05	1,02E-05	3,80E-06
		16,2	0	12,4999	0,353639	0,164433	0,161118	4,42E-05	1,73E-06	9,84E-07
Base	BGTC 2	0	0	27,4999	0,077784	-0,108997	-0,174931	1,24E-05	-5,24E-06	-1,15E-05
		16,2	0	27,4999	0,086286	-0,137822	-0,174119	1,37E-05	-7,49E-06	-1,09E-05
Sub-Base	BGTC 1	0	0	42,4999	0,026322	-0,097531	-0,10851	1,91E-05	-1,34E-05	-1,63E-05
		16,2	0	42,4999	0,025448	-0,092737	-0,103254	1,83E-05	-1,27E-05	-1,55E-05
Reforço do SubLeito	Solo-Cimento	0	0	52,5	0,010794	-0,059694	-0,062681	2,15E-05	-1,66E-05	-1,82E-05
		16,2	0	52,5	0,010662	-0,056825	-0,060299	2,07E-05	-1,58E-05	-1,77E-05
Subleito	Solo 3	0	0	62,5001	0,004627	0,004171	0,004159	1,62E-05	8,20E-06	8,00E-06
		16,2	0	62,5001	0,004519	0,004076	0,004059	1,58E-05	8,06E-06	7,75E-06

	Pavimento 7									
					Maior numerico	Menor numérico				Maior tração
		x	y	z	s1	s2	s3	e1	e2	e3
CAPA	CAUQ	0	0	12,4999	0,170452	0,150657	0,05737	1,87E-05	1,42E-05	6,73E-06
		16,2	0	12,4999	0,317067	0,069021	0,053841	4,84E-05	-7,30E-06	1,07E-05
Base	BGTC 1	0	0	27,4999	0,10155	0,056604	0,046682	1,27E-05	9,18E-07	-1,69E-06
		16,2	0	27,4999	0,126036	0,049749	0,040239	1,84E-05	-1,64E-06	-4,14E-06
Sub-Base	BGTC 2	0	0	42,4999	0,026391	-0,22933	-0,25822	1,47E-05	-1,11E-05	-1,40E-05
		16,2	0	42,4999	0,024764	-0,214048	-0,243431	1,38E-05	-1,03E-05	-1,32E-05
Reforço do SubLeito	Solo-Cimento	0	0	52,5	0,010897	-0,052003	-0,055031	1,93E-05	-1,46E-05	-1,63E-05
		16,2	0	52,5	0,010777	-0,049348	-0,052725	1,86E-05	-1,39E-05	-1,57E-05
Subleito	Solo 3	0	0	62,5001	0,004636	0,004178	0,004166	1,62E-05	8,22E-06	8,00E-06
		16,2	0	62,5001	0,004526	0,004083	0,004064	1,58E-05	8,08E-06	7,76E-06

	Pavimento 8									
					Maior numerico	Menor numérico				Maior tração
		x	y	z	s1	s2	s3	e1	e2	e3
CAPA	CAUQ	0	0	12,4999	0,150282	0,131656	0,041331	1,70E-05	1,28E-05	-7,47E-06
		16,2	0	12,4999	0,298486	0,049888	0,038011	4,70E-05	-8,82E-06	1,15E-05
Base	BGTC 1	0	0	27,4999	0,10848	0,022102	-0,030128	2,16E-05	-1,03E-06	-1,47E-05
		16,2	0	27,4999	0,155713	-0,012069	-0,026766	3,29E-05	-1,11E-05	-1,50E-05
Sub-Base	Solo-Cimento	0	0	42,4999	0,02386	-0,093695	-0,104563	3,73E-05	-2,62E-05	-3,20E-05
		16,2	0	42,4999	0,022817	-0,087846	-0,098931	3,53E-05	-2,45E-05	-3,05E-05
Reforço do SubLeito	Solo-Cal	0	0	52,5	0,011703	-0,041499	-0,043871	4,16E-05	-3,02E-05	-3,34E-05
		16,2	0	52,5	0,011449	-0,039234	-0,042022	3,99E-05	-2,85E-05	-3,23E-05
Subleito	Solo 3	0	0	62,5001	0,006961	0,006278	0,006252	2,44E-05	1,24E-05	1,19E-05
		16,2	0	62,5001	0,006756	0,006098	0,006062	2,36E-05	1,21E-05	1,15E-05

	Pavimento 9									
					Maior numerico	Menor numérico				Maior tração
		x	y	z	s1	s2	s3	e1	e2	e3
CAPA	CAUQ	0	0	12,4999	0,146116	0,122233	0,110451	1,32E-05	7,82E-06	5,17E-06
		16,2	0	12,4999	0,343174	0,167562	0,160073	4,23E-05	2,86E-06	1,18E-06
Base	BGTC 2	0	0	27,4999	0,097885	0,007165	-0,054613	8,54E-06	-5,96E-07	-6,82E-06
		16,2	0	27,4999	0,162472	-0,032758	-0,048588	1,42E-05	-5,42E-06	-7,01E-06
Sub-Base	Solo-Cimento	0	0	42,4999	0,01978	-0,083493	-0,091628	3,24E-05	-2,33E-05	-2,77E-05
		16,2	0	42,4999	0,018936	-0,078499	-0,08712	3,08E-05	-2,19E-05	-2,65E-05
Reforço do SubLeito	Solo-Cal	0	0	52,5	0,010126	-0,037399	-0,039207	3,69E-05	-2,72E-05	-2,97E-05
		16,2	0	52,5	0,009901	-0,035483	-0,03771	3,55E-05	-2,58E-05	-2,88E-05
Subleito	Solo 3	0	0	62,5001	0,006324	0,005701	0,005682	2,21E-05	1,12E-05	1,09E-05
		16,2	0	62,5001	0,006174	0,005572	0,005542	2,16E-05	1,11E-05	1,06E-05

	Pavimento 10									
					Maior numerico	Menor numérico				Maior tração
		x	y	z	s1	s2	s3	e1	e2	e3
CAPA	CAUQ	0	0	12,4999	0,105159	0,03158	-0,169103	2,53E-05	8,77E-06	-3,63E-05
		16,2	0	12,4999	0,225358	-0,18024	-0,225013	5,99E-05	-3,11E-05	4,12E-05
Base	Solo-Cimento	0	0	27,4999	0,033809	-0,260336	-0,321287	9,50E-05	-6,39E-05	-9,68E-05
		16,2	0	27,4999	0,033543	-0,261853	-0,309023	9,33E-05	-6,62E-05	-9,16E-05
Sub-Base	BGS	0	0	35	0,024956	-0,015325	-0,018468	1,47E-04	-7,04E-05	-8,74E-05
		16,2	0	35	0,024352	-0,014909	-0,017441	1,43E-04	-6,93E-05	-8,30E-05
Reforço do SubLeito	Solo	0	0	52,5	0,014637	-0,012472	-0,0133	1,58E-04	-8,63E-05	-9,37E-05
		16,2	0	52,5	0,014118	-0,011609	-0,012745	1,51E-04	-8,06E-05	-9,08E-05
Subleito	Solo 3	0	0	62,5001	0,012993	0,011724	0,011663	4,55E-05	2,33E-05	2,22E-05
		16,2	0	62,5001	0,012534	0,011325	0,011237	4,39E-05	2,27E-05	2,12E-05

	Pavimento 11									
					Maior numerico	Menor numérico				Maior tração
		x	y	z	s1	s2	s3	e1	e2	e3
CAPA	CAUQ	0	0	12,4999	0,116324	-0,184623	-0,68353	6,51E-05	-2,50E-06	-1,15E-04
		16,2	0	12,4999	0,126286	-0,659296	-0,845307	9,98E-05	-7,66E-05	1,18E-04
Base	BGS	0	0	20	0,100669	0,041895	0,030607	3,01E-04	-1,62E-05	-7,72E-05
		16,2	0	20	0,099641	0,029803	0,027115	3,19E-04	-5,82E-05	-7,28E-05
Sub-Base	BGTC 1	0	0	27,5001	0,197327	0,187627	0,078811	2,02E-05	1,77E-05	-1,09E-05
		16,2	0	42,4999	0,017749	-0,329839	-0,372398	5,12E-05	-4,00E-05	-5,12E-05
Reforço do SubLeito	Solo	0	0	52,5	0,015361	-0,006528	-0,00725	1,35E-04	-6,24E-05	-6,89E-05
		16,2	0	52,5	0,014663	-0,005877	-0,006885	1,28E-04	-5,73E-05	-6,64E-05
Subleito	Solo 3	0	0	62,5001	0,013847	0,012505	0,012419	4,85E-05	2,50E-05	2,35E-05
		16,2	0	62,5001	0,013194	0,011938	0,01181	4,62E-05	2,42E-05	2,20E-05

	Pavimento 12									
					Maior numerico	Menor numérico				Maior tração
		x	y	z	s1	s2	s3	e1	e2	e3
CAPA	CAUQ	0	0	12,4999	0,123231	-0,140032	-0,635573	6,15E-05	2,36E-06	-1,09E-04
		16,2	0	12,4999	0,132113	-0,62023	-0,801087	9,65E-05	-7,25E-05	1,13E-04
Base	BGS	0	0	20	0,110319	0,047199	0,035641	3,25E-04	-1,55E-05	-7,80E-05
		16,2	0	20	0,106927	0,035522	0,03156	3,34E-04	-5,18E-05	-7,32E-05
Sub-Base	BGTC 2	0	0	27,5001	0,460964	0,438322	0,090585	2,06E-05	1,83E-05	-1,67E-05
		16,2	0	42,4999	0,013674	-0,558843	-0,622304	3,19E-05	-2,58E-05	-3,22E-05
Reforço do SubLeito	Solo	0	0	52,5	0,012203	-0,00379	-0,004213	1,00E-04	-4,39E-05	-4,77E-05
		16,2	0	52,5	0,011734	-0,003387	-0,004014	9,55E-05	-4,06E-05	-4,62E-05
Subleito	Solo 3	0	0	62,5001	0,011262	0,010164	0,010108	3,94E-05	2,02E-05	1,92E-05
		16,2	0	62,5001	0,010804	0,009767	0,009681	3,78E-05	1,97E-05	1,82E-05

	Pavimento 13									
					Maior numerico	Menor numérico				Maior tração
		x	y	z	s1	s2	s3	e1	e2	e3
CAPA	CAUQ	0	0	12,4999	0,126599	-0,12071	-0,615067	6,00E-05	4,46E-06	-1,07E-04
		16,2	0	12,4999	0,135058	-0,603139	-0,782041	9,51E-05	-7,06E-05	1,11E-04
Base	BGS	0	0	20	0,115446	0,049369	0,037726	3,40E-04	-1,70E-05	-7,98E-05
		16,2	0	20	0,110872	0,038135	0,033429	3,43E-04	-4,95E-05	-7,49E-05
Sub-Base	BGTC 2	0	0	27,5001	0,382086	0,367128	0,097318	1,64E-05	1,49E-05	-1,23E-05
		16,2	0	42,4999	0,025239	-0,3773	-0,421289	2,27E-05	-1,78E-05	-2,22E-05
Reforço do SubLeito	Solo cal	0	0	52,5	0,015008	-0,040018	-0,042074	4,37E-05	-3,05E-05	-3,33E-05
		16,2	0	52,5	0,0147	-0,037655	-0,040199	4,19E-05	-2,87E-05	-3,22E-05
Subleito	Solo 3	0	0	62,5001	0,009775	0,008821	0,008774	3,42E-05	1,75E-05	1,67E-05
		16,2	0	62,5001	0,009391	0,008487	0,008416	3,29E-05	1,71E-05	1,58E-05

A.II RESULTADO NO N POR CAMADA

Revestimento de Concreto Asfáltico						
Pavimento	ϵt	N (FHWA)	N (asphalt Institute)	N (B B C)	N (P e P)	N (SAPEM)
P1	1,41E-05	1,19E+11	2,74E+11	3,45E+10	2,27E+11	1,68E+11
P2	3,12E-06	2,36E+13	3,88E+13	1,49E+13	5,87E+13	1,93E+14
P3	5,86E-06	2,59E+12	4,90E+12	1,18E+12	5,77E+12	1,02E+13
P4	4,55E-06	6,31E+12	1,13E+13	3,28E+12	1,47E+13	3,33E+13
P5	9,67E-06	4,46E+11	9,43E+11	1,57E+11	9,09E+11	9,75E+11
P6	3,80E-06	1,19E+13	2,04E+13	6,77E+12	2,86E+13	7,72E+13
P7	1,07E-05	3,12E+11	6,75E+11	1,04E+11	6,25E+11	6,06E+11
P8	1,15E-05	2,44E+11	5,35E+11	7,84E+10	4,82E+11	4,36E+11
P9	5,17E-06	4,02E+12	7,39E+12	1,95E+12	9,15E+12	1,82E+13
P10	4,12E-05	2,75E+09	7,99E+09	4,56E+08	4,32E+09	1,11E+09
P11	1,18E-04	6,74E+07	2,48E+08	6,48E+06	8,80E+07	7,92E+06
P12	1,13E-04	7,92E+07	2,88E+08	7,80E+06	1,04E+08	9,82E+06
P13	1,11E-04	8,50E+07	3,08E+08	8,45E+06	1,12E+08	1,08E+07
Base de cimentada						
Pavimento	ϵ	S3	S1	N (SAPEM)	N (DER-SP)	
P1	6,87E-05	0,481657	0,026372	2,89E+06	8,26E+05	
P2	4,11E-05	0,766255	0,019015	5,25E+06	4,09E+06	
P3	1,66E-05	0,276446	0,066877	7,98E+06	9,58E+06	
P4	1,39E-05	0,216926	0,077214	8,28E+06	1,06E+07	
P5	5,09E-06	0,049604	0,12107	9,29E+06	1,15E+07	
P6	1,15E-05	0,174931	0,086286	8,58E+06	1,14E+07	
P7	4,14E-06	0,056604	0,126036	4,61E+06	1,10E+07	
P8	1,50E-05	0,030128	0,155713	7,89E+06	1,29E+07	
P9	7,01E-06	0,054613	0,162472	9,14E+06	1,41E+07	
P10	9,68E-05	0,321287	0,033809	2,55E+06		
P11	7,72E-05	0,027115	0,100669	5,28E+20		
P12	7,80E-05	0,03156	0,110319	4,46E+20		
P13	7,98E-05	0,033429	0,115446	1,91E+06		
Sub-base						
Pavimento	S	RTF	ϵ	N (SAPEM)	N (DER-SP)	
P1	0,020112	-	-	4,10E+13	0,00E+00	
P2	0,015166	-	-	1,83E+21	0,00E+00	
P3	0,245445	1,19	3,30E-05	6,31E+06	1,01E+07	
P4	0,175331	1,19	2,44E-05	7,13E+06	1,14E+07	
P5	0,368826	0,34	1,81E-05	7,50E+06	1,64E+06	
P6	0,10851	1,19	1,63E-05	8,02E+06	1,28E+07	
P7	0,25822	0,34	1,40E-05	8,02E+06	3,22E+06	
P8	0,104563	0,34	3,20E-05	5,95E+06	8,20E+06	
P9	0,091628	1,19	2,77E-05	6,81E+06	1,32E+07	
P10	0,024956	-	-	4,30E+09	-	
P11	0,197327	0,34	1,09E-05	3,91E+06	4,66E+06	
P12	0,460964	1,19	1,67E-05	5,96E+06	6,95E+06	
P13	0,382086	1,19	1,23E-05	6,87E+06	7,97E+06	

Reforço do subleito				
Pavimento	SI	RTF	ε	N (SAPEM)
P1	12,504	-	-	4,31E+36
P2	10,132	-	-	3,20E+47
P3	6,856	-	-	4,38E+72
P4	8,913	-	-	1,51E+21
P5	8,359	-	-	2,35E+25
P6	10,794	0,60	1,82E-05	9,69E+06
P7	10,897	0,60	1,63E-05	1,00E+07
P8	11,703	-	-	1,66E+17
P9	10,126	-	-	7,67E+18
P10	14,637	-	-	1,93E+30
P11	15,361	-	-	2,99E+36
P12	12,203	0,60	4,77E-05	5,96E+06
P13	15,008	-	-	7,44E+16
Subleito de Solo				
Pavimento	εt	N (Shell)	N (SAPEM)	
P1	3,95E-05	7,97E+10	3,19E+17	
P2	3,27E-05	1,69E+11	2,10E+18	
P3	2,20E-05	8,25E+11	1,10E+20	
P4	1,96E-05	1,32E+12	3,59E+20	
P5	1,84E-05	1,68E+12	6,56E+20	
P6	1,62E-05	2,82E+12	2,38E+21	
P7	1,62E-05	2,80E+12	2,33E+21	
P8	2,44E-05	5,51E+11	4,00E+19	
P9	2,21E-05	8,08E+11	1,05E+20	
P10	4,55E-05	4,54E+10	7,80E+16	
P11	4,85E-05	3,52E+10	4,13E+16	
P12	3,94E-05	8,03E+10	3,26E+17	
P13	3,42E-05	1,42E+11	1,34E+18	