

# ANÁLISE MECANICISTA DE PAVIMENTO RÍGIDO DO CORREDOR EIXO NORTE – DF

**Juliana de Paula Rezende**

Universidade Federal de Viçosa  
Departamento de Engenharia Civil

**Tales Moreira de Oliveira**

**Maicon de Ávila Fernandes**

**Leandro Neves Duarte**

Universidade Federal de São João Del Rei

## RESUMO

Este estudo teve como objetivo realizar uma análise crítica mecanicista do projeto de pavimentação do Corredor Eixo Norte, Brasília – DF, destinado à implantação do Bus Rapid Transit (BRT). Para isso, foram avaliados trechos deste pavimento rígido, estudados por Ferreira e Martins (2014), referentes à obra do BRT. O BRT é uma das medidas voltadas a reverter o modelo atual problemático de mobilidade urbana nas capitais brasileiras. A análise desta superestrutura teve como auxílio o programa computacional EverFe. O desenvolvimento desta análise permitiu aferir a eficiência do pavimento quanto aos esforços solicitantes, bem como a eficácia do seu dimensionamento em relação ao carregamento imposto. Esta verificação foi realizada em relação às tensões de tração atuantes na placa de concreto e o tráfego imposto ao pavimento. Concluiu-se, diante da análise proposta, que seria possível a adição de melhorias na superestrutura obtendo-se um pavimento seguro estruturalmente, mais econômico e com maior qualidade técnica.

## ABSTRACT

This study aimed to perform a mechanistic critical analysis of the paving project of the Northern Axis Corridor, Brasília - DF, for the implementation of Bus Rapid Transit (BRT). For this, sections of rigid pavement were studied, studied by Ferreira and Martins (2014), referring to the work of BRT. BRT is one of the measures aimed at reversing the current model of urban mobility in Brazilian capitals. The analysis of this superstructure was aided by the EverFe computational program. The development of this analysis made it possible to ascertain the efficiency of the pavement in terms of the applicant's efforts, as well as the efficiency of its design in relation to the loading imposed. This verification was performed in relation to the tensile stresses acting on the concrete slab and the traffic imposed on the pavement. It was concluded, in view of the proposed analysis, that it would be possible to add improvements in the superstructure, obtaining a structural floor, economically and with a higher technical quality.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, cresceu o questionamento e o debate relacionados à mobilidade urbana quanto aos serviços prestados e sua eficiência para solucionar ou, ao menos, reduzir os congestionamentos nas grandes cidades. Uma das propostas trata-se da implantação de sistemas de transporte de ônibus de alta qualidade, conhecidos pela sigla em inglês BRT (*Bus Rapid Transit*).

A adoção e o funcionamento de Sistemas BRT têm se expandido pelo mundo. Atualmente no Brasil, de acordo com a organização mundial BRT Data ([www.brtdata.org](http://www.brtdata.org), 2014), os corredores exclusivos para veículos de transporte coletivo transportam aproximadamente 11,5 milhões de passageiros por dia, com um total de 114 corredores, e vários outros projetos estão sendo implementados. Este reconhecimento do sistema como uma solução viável para oferecer serviço de transporte público de alta qualidade e a custos moderados é enfatizado pelo sucesso de implantações pioneiras, como é o caso de Curitiba no Brasil e em Bogotá na Colômbia (Branco, 2013).

Geralmente o tipo de pavimento no qual se movimenta o BRT é rígido. A principal diferença

estrutural entre pavimento rígido e pavimento flexível é a distribuição de tensões nas camadas subjacentes. O pavimento flexível, executado com concreto asfáltico, também conhecido popularmente como asfalto, tem a função de camada de rolamento. Neste caso, a absorção dos esforços devido ao tráfego é destinada a fundação, normalmente composta por três camadas: base, sub-base e reforço do subleito. No pavimento de concreto de cimento, ou apenas pavimento de concreto, a camada de rolamento também funciona como estrutura, redistribuindo a tensão imposta à sub-base, que normalmente, é a única camada executada entre as placas de concreto e o subleito (Oliveira, 2000).

No Brasil, observou-se um aumento gradativo do uso de pavimentos rígidos em algumas rodovias e também em obras urbanas. Uma das principais vantagens desses pavimentos é a durabilidade. De acordo com Oliveira (2000), o concreto não deteriora com a ação da chuva, de óleos ou de combustíveis e não deforma a ponto de formar as trilhas de rodas.

Segundo Bezerra (2004), os métodos de dimensionamento de pavimentos podem ser concebidos de duas maneiras distintas: através de experiências de campo, com base na observação do desempenho de pavimentos ao longo do tempo (métodos empíricos), ou a partir da aplicação de uma teoria elástica de multicamadas, considerada adequada para a interpretação do comportamento mecânico do conjunto pavimento/subleito (métodos mecanísticos).

Atualmente, os modelos estruturais para análise de pavimentos rígidos estão mais avançados do que os modelos utilizados nos métodos da PCA (*Portland Cement Association*). Vários programas de elementos finitos podem ser usados como modelos estruturais, porém a maior parte dos modelos de defeitos são equações de regressão derivadas empiricamente, com grande dispersão dos dados. Os principais tipos e defeitos a serem modelados nos pavimentos rígidos incluem: trincamento por fadiga, erosão, bombeamento e escalonamento nas juntas transversais (Gondim, 2008).

O método da PCA/1984 (Portland Cement Association) é um método empírico mecanístico de dimensionamento de pavimentos de CCP (Concreto de Cimento Portland). Este método utiliza modelos de desempenho por fadiga do concreto, de erosão das placas de CCP e de escalonamento. Os ábacos para determinação das tensões atuantes foram elaborados com base no cálculo de tensões através de Métodos de Elementos Finitos – MEF que permite a análise das placas como elementos de dimensões finitas (Santos, 2011).

Segundo Pitta (1998), o método da PCA/84 aplica-se tanto a pavimentos de concreto simples e com barras de transferência, quanto aos dotados de armadura distribuída, descontínua, e usa um modelo de análise estrutural por elementos finitos. O sistema permite combinar facilmente diferentes fatores de projeto, propiciando a análise acelerada de muitas soluções alternativas. Este método considera as características de fundação do pavimento através da medida do módulo de reação/coeficiente de recalque (assim chamado por Westergaard), simbolizado pela letra  $k$ , o qual é determinado diretamente por uma prova de carga estática sobre a fundação preparada e avalia a pressão necessária para produzir uma deformação unitária no terreno. Esse ensaio pode ser substituído, segundo o método, pela fixação do valor de suporte por procedimento mais simples, cujos resultados tenham correspondência numérica com o valor de  $k$ ; por sua difusão generalizada. A ABCP (Associação Brasileira de cimento Portland) recomenda o ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC ou CBR) para a

determinação do valor de k, cuja precisão é satisfatória para fins de dimensionamento.

Anguas (2004) desenvolveu um modelo em que apresenta uma visão geral das metodologias mecanicistas para análise estrutural e dimensionamento de pavimentos, com ênfase nas variáveis fundamentais de entrada no processo. Esse modelo realça as limitações existentes em metodologias de natureza empírica, atuando de modo a corrigi-las, garantindo pavimentos que tenham melhor desempenho. A abordagem mecanicista tem a capacidade de prever diretamente os indicadores críticos de desempenho do pavimento, enquanto explica a base científica para a deterioração do pavimento. Esse modelo permite prever corretamente a evolução ao longo do tempo das diferentes deteriorações que podem ocorrer no pavimento aumentando a confiabilidade dos projetos. Com isso, proporcionaria otimização dos custos de manutenção, de reabilitação, bem como dos custos de operação dos usuários dos pavimentos.

Nesse contexto, o trabalho proposto teve por objetivo desenvolver uma análise mecanicista do projeto de pavimentação do Corredor Eixo Norte para implantação do BRT no Distrito Federal. A análise desta superestrutura teve como auxílio o programa computacional EverFe 2.25. Para a realização das análises mecanicistas do pavimento rígido foi utilizado o Método dos Elementos Finitos (MEF), que permite avaliar os efeitos de cargas de veículos em estruturas de pavimentos com a finalidade de apontar soluções para melhoria da descrição do comportamento mecânico e do dimensionamento estrutural do projeto em questão. Concluiu-se, diante da análise proposta, que seria possível a adição de melhorias na superestrutura obtendo-se um pavimento seguro estruturalmente, mais econômico, mais viável e com maior qualidade técnica.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1. BRT – Corredor Eixo Norte**

O projeto do Corredor Eixo Norte, de propriedade do Departamento de Estradas e Rodagem do Distrito Federal (DER-DF), objeto deste estudo, consiste na implantação de um subsistema de transporte, concebido para o modal BRT (*Bus Rapid Transit*) com operação regulada por sistema de planejamento, gestão e controle operacional centralizado do DF (ITS). O transporte é realizado através de faixa exclusiva e preferencial, com a utilização de veículos modernos, estações localizadas no canteiro central com embarque em nível e pagamento antecipado nas estações.

O Corredor Eixo Norte objetiva dotar as populações das cidades de Planaltina, Sobradinho, Sobradinho II, Varjão, Planaltina de Goiás, Formosa e as populações residentes na divisa norte/nordeste do Distrito Federal de um sistema de transporte moderno, confortável, rápido e confiável, a custos reduzidos. A população a ser atendida corresponde a, aproximadamente, 300 mil habitantes, que representam cerca de 12% da população do DF.

O Corredor Eixo Norte foi subdividido em subtrechos. Os subtrechos 1, 3, 5, 6 e 7, compõem o Eixo Principal (Avenida Independência/BR- 020/DF-003). O Eixo Principal operará em paralelo ao sistema rodoviário/viário da BR-020/DF-003, cujo volume médio diário de tráfego alcança 99.199 veículos na altura do Balão do Torto, sendo de veículos de pequeno porte a predominância destes, (92%). Conectados a este, encontram-se outros 7 ramos, que são os subtrechos A, 2, B, C, 4, D e E.

### 2.1.1. Projeto de Pavimentação

Em toda a extensão deste trabalho será considerado o dimensionamento proposto por Martins e Ferreira (2014) que foi baseado no método de dimensionamento da PCA/84 através do modelo de comportamento por fadiga, não sendo abordados os modelos por erosão e escalonamento.

O Corredor Norte terá as faixas exclusivas executadas em pavimento rígido, respeitando a seguinte estrutura:

- Revestimento: Pavimento Rígido de Concreto de Cimento Portland, executado com equipamento de forma deslizante;
- Subbase: Concreto Cimento Portland Rolado;
- Subleito: Solo local.

A estrutura final de pavimentação está representada na Tabela 1 a seguir.

**Tabela 1:** Espessuras das placas de concreto conforme Martins e Ferreira (2014)

Região	Trecho	Espessura da placa de concreto H (cm)
S1	B	22
S2	C1	20
S2	C1 e 4	20
Pla	1a	22
MD	2 e A	20
Bg	D	24
S1-Pla	3 e 1b	25
S2-S1	5	25
DF-S2	6	25
DF	7	24

### 2.2. Análise de Tráfego

Buscou-se avaliar o estudo de tráfego segundo DNIT (2006), porém os resultados apresentados no relatório do projeto de pavimentação do Corredor Eixo Norte, disposto no edital de concorrência, não apresenta parâmetros suficientes para aferição dos cálculos. Portanto, os valores contidos no mesmo foram assumidos como corretos, bem como o dimensionamento da superestrutura obtido por Martins e Ferreira (2014).

### 2.3. Análise Geotécnica

Os dados geotécnicos apresentados foram obtidos por Martins e Ferreira (2014). Além dessas informações, utilizaram-se dados relativos ao subleito contidos no Projeto de Pavimentação (2013).

### 2.4. Análise Estrutural do Pavimento Rígido pelo Método PCA (1984)

De acordo com o projeto original do Corredor Eixo Norte, trata-se de um pavimento rígido não armado, sem acostamento, com barra de transferência, armadura distribuída e barra de ligação para controle de fissuras e formação das juntas. Para o seu dimensionamento, utilizou-se da metodologia da PCA (1984), de acordo com o Manual de Pavimentos Rígidos (DNIT, 2005).

Para o cálculo deste pavimento, usou-se como ônibus tipo, o urbano articulado, com três eixos

e os seguintes pesos por eixos:

- Eixo simples dianteiro = 6 tf;
- Eixo simples intermediário = 10 tf;
- Eixo simples traseiro = 10 tf.

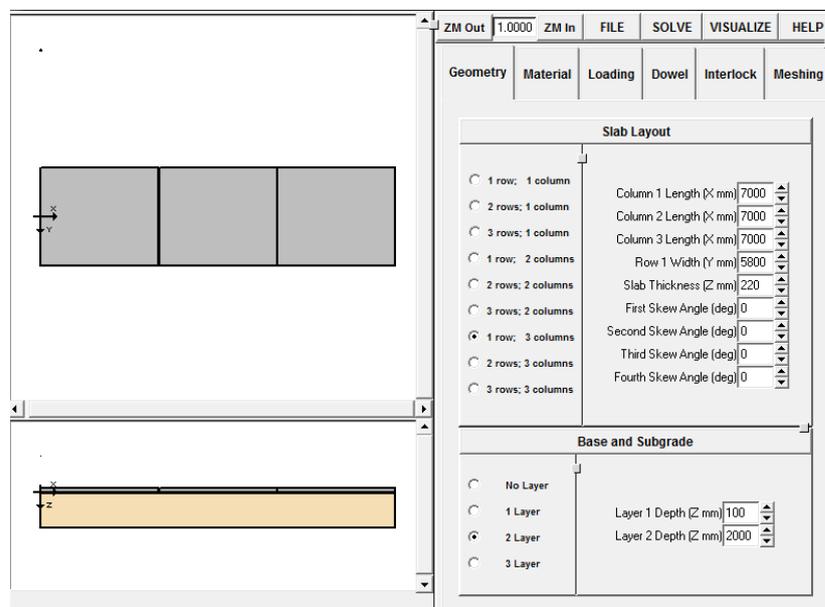
Quanto ao concreto utilizado no dimensionamento, adotou-se aquele que possui resistência de ruptura à tração na flexão de 4,5 MPa, referente à idade de 28 dias.

A análise do dimensionamento se deu por trechos, nos quais se realizou uma análise mecanicista das tensões de tração atuantes na parte inferior das placas de concreto, interface com a subbase, verificando se atende à tensão de tração que o concreto suporta ( $f_{ctm}$ ) e ao tráfego imposto ao pavimento. Após análise do projeto original, Martins e Ferreira (2014) identificaram divergências entre os valores adotados no mesmo, portanto estas efetuaram um redimensionamento da superestrutura. Para o redimensionamento proposto tem-se barras de ligação com diâmetro de 12,5 cm, comprimento de 76 cm e espaçamento de 92,50 cm e as espessuras das placas de concreto apresentadas na Tabela 1 acima.

## 2.5. Modelamento do Pavimento Rígido no EverFe

Os dados utilizados no modelamento foram obtidos através da proposta apresentada por condução e inserção de dados, no software EverFe 2.25, seguiu os seguintes passos:

- Determinação da geometria da placa, Figura 1;
- Identificação das camadas inferiores à placa, Figura 2;
- Aplicação do carregamento mecânico, Figura 3;
- Definição das características das barras de transferência, Figura 4;
- Geração da malha de elementos finitos, Figura 5.



**Figura 1:** Aspecto da tela gráfica para inserção dos dados geométricos da placa.

A análise mecanicista se desenvolveu em uma placa de concreto com dimensões de 5,8 x 7,0 m, com espessuras variadas conforme Tabela 1. A base do projeto original é composta por uma camada de 10 cm de brita graduada simples e 10 cm de concreto rolado. Foi proposto no

redimensionamento de Martins e Ferreira (2014) que a base fosse considerada composta apenas pela camada de concreto rolado, já que é sabido e normatizado pelo Manual de Pavimentos Rígidos (DNIT, 2005), que este tipo de pavimento não possui camada de base.

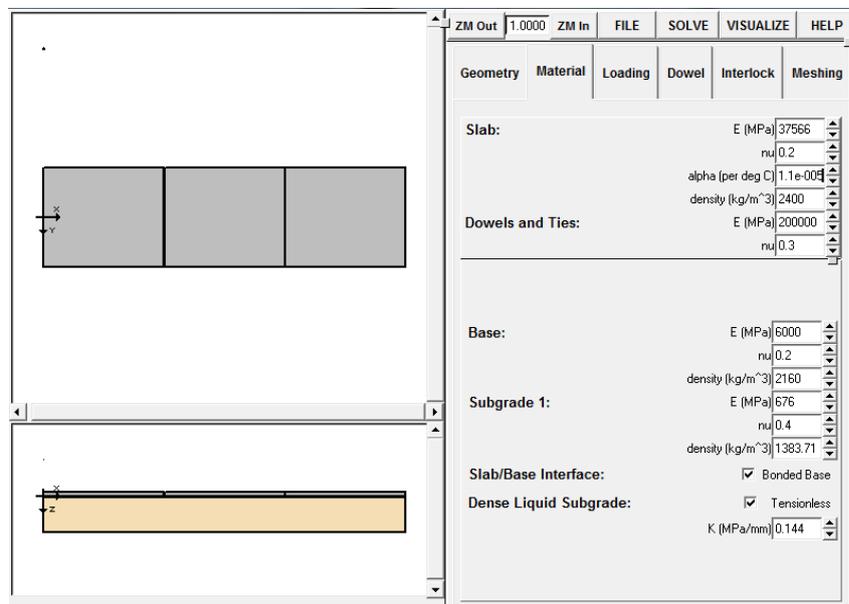
Foi adotada a placa de concreto aderida à base/sub-base de concreto rolado com espessura de 10 cm. O subleito foi definido com uma profundidade de 2 m, já que o software não tem a opção de considerá-lo como semi-infinito.

O valor do K (módulo de reação/coeficiente de recalque) foi correlacionado ao CBR do subleito. Para este projeto foi adotado como sendo de 10% ao longo de todos os trechos. Logo, obtém-se um valor de K igual a 0,144 MPa/mm. Os dados geotécnicos foram retirados do Projeto de Pavimentação (2013) conforme apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2:** Densidade do subleito do projeto original para cada trecho

Trecho	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
1	1383,71
2	1327,75
3	1415,82
5	1410,00
6	1362,00
7	1416,29
B	1395,90
C	1412,63

A Figura 2 mostra a alimentação do software com os dados das camadas do pavimento.

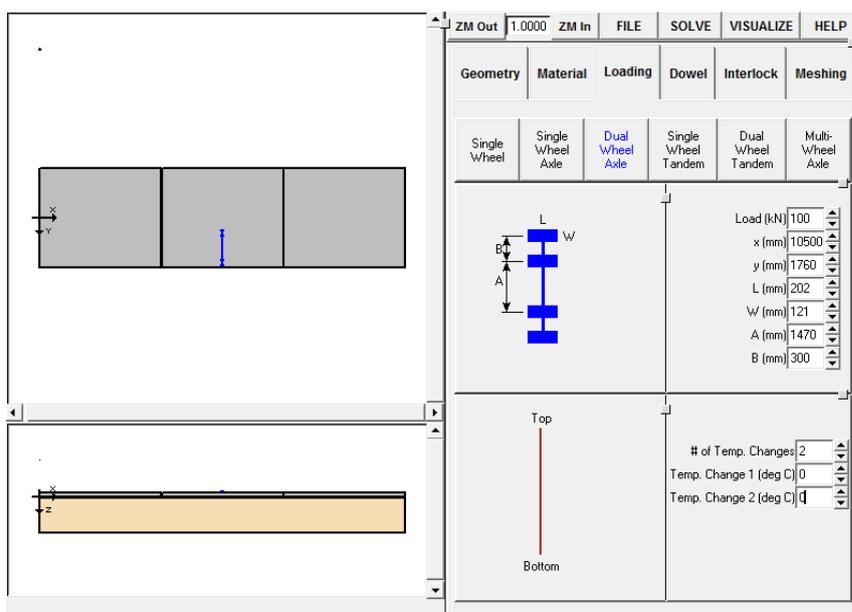


**Figura 2:** Aspecto da tela gráfica para inserção dos dados físicos do pavimento.

Para o veículo tipo considerado no projeto original do pavimento, o eixo mais carregado será o eixo simples de roda dupla (ESRD), que possui carregamento de 10 tf. As dimensões do pneu foram calculadas pelas formulações apresentadas por Rodrigues e Pitta (1998), com pressão de enchimento igual a 0,7 MPa.

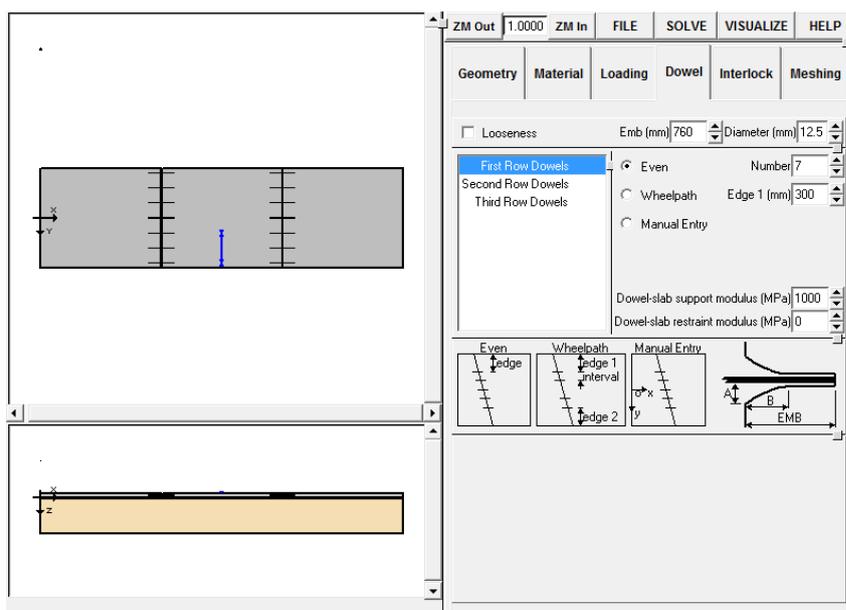
Foram consideradas 3 hipóteses de carregamento na placa, sendo: CASO I: carregamento no centro da placa de concreto; CASO II: carregamento próximo à junta entre placas; CASO III: carregamento no bordo livre da placa de concreto.

Os diferenciais térmicos não foram considerados nesta análise. A Figura 3 mostra a alimentação do software com os dados considerados.



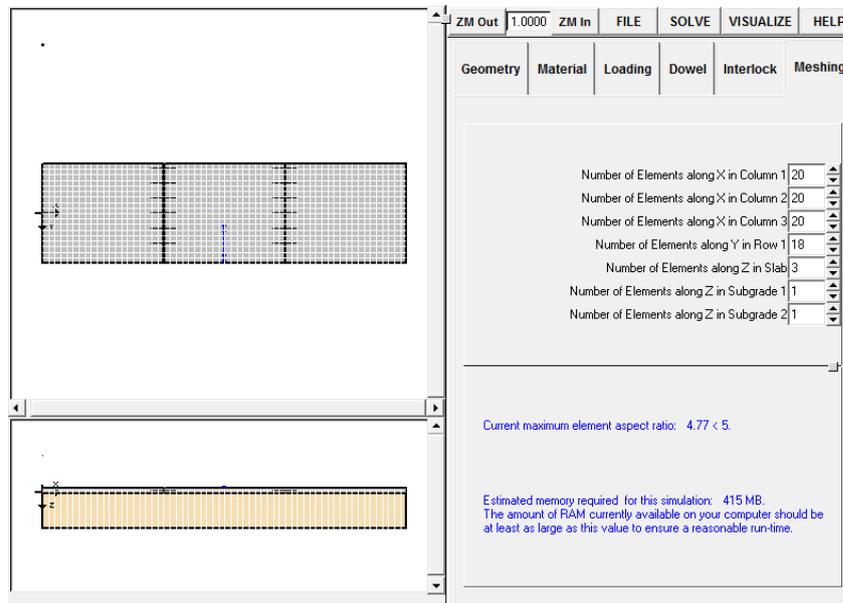
**Figura 3:** Aspecto da tela gráfica para inserção do carregamento na placa.

As barras de transferência foram adotadas conforme proposta de Martins e Ferreira (2014). A Figura 4 mostra a alimentação do software com os dados considerados.



**Figura 4:** Aspecto da tela gráfica para inserção dos dados das barras de transferência.

A Figura 5 mostra a malha de elementos finitos ao longo da espessura e superfície, utilizada pelo software para os cálculos de tensão e deformação. O número de elementos na direção x para cada coluna e na direção y para cada linha, na placa, é especificado de forma independente.



**Figura 5:** Aspecto da tela gráfica para definição da malha de elementos finitos.

Foram analisadas as máximas tensões obtidas na base da placa de concreto, devido ao carregamento do eixo mais carregado do veículo tipo adotado. As análises se deram para cada caso de carregamento e para cada trecho do BRT.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Análise das tensões de tração na base da placa de concreto

Um dos danos mais notórios presentes no pavimento rígido ao longo de sua vida útil são as trincas que surgem desde o fundo da laje ou a partir da superfície por fadiga. Essas fissuras aparecem devido ao surgimento de tensões de tração críticas na laje em determinados locais do pavimento. Foi analisado se as tensões de tração atuantes na parte inferior do concreto atendem à tensão máxima de tração que o concreto suporta ( $f_{ctm}$ ) e atendem também ao tráfego previsto definido em função do número equivalente de operações do eixo padrão rodoviário (número N) de 8,2 tf durante o período de projeto.

Os valores das tensões de tração atuantes na face inferior das placas de concreto, considerando-se a espessura de cada trecho, foram obtidas a partir do *software* EverFe e comparados a resistência de ruptura à tração na flexão de 4,5 MPa, de acordo com o projeto.

Para obtenção da tensão crítica em cada trecho, o eixo com maior carregamento, no caso, de 10 tf, foi posicionado nas posições mais solicitadas. Ou seja, no bordo livre da placa, no centro da placa e tangenciando a junta, obtendo-se assim três valores de tensão para cada trecho, sendo a tensão crítica do trecho a maior dentre eles. Os resultados obtidos pelo programa EverFe estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3:** Tensões máximas na base da placa de concreto obtidas no EverFe

Região	Trecho	Espessura da placa de concreto H (cm)	Tensões (MPa)		
			Caso I	Caso II	Caso III
S1	B	22	0,253	0,193	0,373
S2	C1	20	0,268	0,196	0,407
S2	C2 e 4	20	0,268	0,196	0,407
Pla	1a	22	0,253	0,193	0,373
MD	2 e A	20	0,267	0,196	0,406
Bg	D	24	0,238	0,188	0,355
S1-Pla	3 e 1b	25	0,232	0,188	0,347
S2-S1	5	25	0,231	0,185	0,346
DF-S2	6	25	0,231	0,185	0,346
DF	7	24	0,239	0,188	0,355

Pode-se notar que as tensões de tração atuantes na parte inferior da placa de concreto obtidas pelo software foram no mínimo 10 vezes menores que à tensão máxima de tração que o concreto suporta ( $f_{ctm}$ ) de 4,5 Mpa.

### 3.2. Análise de Tráfego

Para verificação do número N, adotou-se a seguinte formulação, de acordo com Anguas (2004).

$$\text{Log (N)} = 2,81 \times \text{SR}^{-1,22} \quad (1)$$

$$\text{SR} = \text{S/MR} \quad (2)$$

Em que: N: número de repetições da carga padrão o pavimento suportará;

SR: relação de esforços;

S: máxima tensão de tração encontrada na base da placa de concreto;

MR: módulo de ruptura que corresponde à resistência à tração na flexão ( $f_{ctm}$ ).

A partir dessas formulações acima calculou-se o número N correspondente a tensão máxima na base da placa obtida através do *software* EverFe 2.25. Os resultados para essa análise encontram-se na Tabela 4 a seguir.

**Tabela 4:** Resultados para o número N

Trecho	Máxima tensão (MPa)	Número N
B	0,373	$4,29 \times 10^{58}$
C1	0,407	$5,17 \times 10^{52}$
C2 e 4	0,407	$5,17 \times 10^{52}$
1a	0,373	$4,29 \times 10^{58}$
2 e A	0,406	$7,44 \times 10^{52}$
D	0,355	$1,90 \times 10^{62}$
3 e 1b	0,347	$1,09 \times 10^{64}$
5	0,346	$1,83 \times 10^{64}$
6	0,346	$1,83 \times 10^{64}$
7	0,355	$1,90 \times 10^{62}$

De acordo com Martins e Ferreira (2014), considerando-se o refinamento do projeto, utilizou-se do número N recomendado pela IP-02 - Classificação das vias - da PMSP como referência. Tendo em vista que o tráfego considerado para a cidade de São Paulo é superior ao previsto para o Distrito Federal, o número N adotado para o projeto representativo do tráfego pesado foi igual a  $5 \times 10^7$ .

O número N representa quantas repetições de carga padrão (8,2 tf) o pavimento poderá receber ao longo de sua vida útil, ou seja, o período para o qual foi projetado. Logo, elevados valores de N corresponderá a um pavimento capaz de suportar maiores carregamentos durante o período de projeto.

Pelas análises mecanicistas realizadas em cada trecho, notou-se que o valor do número N obtido foi significativamente maior ao especificado em projeto. Com isso, pode-se concluir que o pavimento suportará um número de passadas do eixo padrão maior do que referido ao período de projeto, sugerindo de acordo com a análise mecanicista um superdimensionamento da estrutura. Em relação às tensões máximas calculados pelo EverFe, o número N de solicitações obtido pelo método da PCA 1984 seria de aproximadamente  $5,50 \times 10^8$ . Apesar do valor obtido ser superior ao N de projeto ( $5 \times 10^7$ ), este apresentou-se significativamente inferior ao número de repetições suportados pelo pavimento projetado.

### **3.3. Análise Estrutural**

A presença de barras de transferência dispostas nos bordos da placa de concreto faz com que as tensões nestas áreas sejam distribuídas entre as placas, fazendo com que as mesmas, comportem-se conjuntamente e colaborem com a resistência ao carregamento. No caso III, o bordo encontra-se livre implicando em maiores tensões nesta região.

Em pavimentos rígidos, as tensões de tração na flexão produzidas pelo carregamento solicitante estão diretamente relacionadas às espessuras da placa de concreto. A placa de concreto, quando submetida a ciclos reiterados de carregamento, pode sofrer ruptura após determinado número de repetições de cargas, ainda que a tensão máxima produzida seja inferior à resistência do material ao esforço. Pela análise de tensões em cada trecho apresentada na Tabela 3, o pavimento está submetido a tensões inferiores a que o concreto suportaria. Como já mencionado, o pavimento suportará um número maior de passadas do eixo padrão, excedendo àquele para o qual foi dimensionado, portanto, não ocorreria ruptura por fadiga.

Pelo dimensionamento através da PCA 1984, calculado por Martins e Ferreira (2014), foram definidas espessuras de placas entre 20 a 25 cm. Através das análises realizadas pelo programa EverFe 2.25, pode-se constatar que o pavimento poderia ter menores espessuras que as calculadas pelo método utilizado atendendo as mesmas solicitações impostas pelo tráfego previsto no projeto. Diante disso, a espessura da placa de concreto, correspondente as tensões máximas obtidas através do software, seria de aproximadamente 6 cm assegurando que a placa resistisse sem a ocorrência de ruptura por fadiga, sendo, portanto quase 5 vezes menor.

Para fazer um melhor refinamento nos dados, seria necessária a inclusão de diferenciais de temperatura na análise mecanicista, visto que, devido a esta variação de temperatura atuante entre a base e o topo da placa, ocorrem tensões de tração que devem ser acrescidas na análise da base da placa de concreto. Como estas tensões são significantes a nível de dimensionamento, é necessário a obtenção destes dados referentes a região de implantação do projeto, porém esses diferenciais de temperatura não foram analisados/quantificados nesse artigo.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de análises mecanicistas tem grandes vantagens sobre o método da PCA (1984), sendo as principais delas o uso de modelagem mais realista possibilitando redução de custos, evitando superdimensionamento de obras de pavimentação. Na análise do estudo de previsão do tráfego estimado para o Corredor Eixo Norte, segundo Martins e Ferreira (2014), verificou-se que os dados se encontram excessivos para o período de projeto considerado, pois o pavimento suportaria um número maior de solicitações do eixo padrão.

Pode-se notar que as tensões de tração atuantes na parte inferior da placa de concreto obtidas pelo software foram no mínimo 10 vezes menores que à tensão máxima de tração que o concreto suporta ( $f_{ctm}$ ), implicando em um número N de solicitações do eixo padrão bastante superior ao do projeto. Considerando-se essas tensões máximas calculadas pelo EverFe, o número N de solicitações obtido pelo método da PCA 1984 seria, ainda, significativamente inferior ao número de repetições suportados pelo pavimento projetado.

Através das análises realizadas pelo programa EverFe 2.25, pode-se constatar que o pavimento poderia ter menores espessuras que as calculadas pelo método utilizado atendendo as mesmas solicitações impostas pelo tráfego. Diante disso, a espessura da placa de concreto, para as tensões máximas obtidas através do software seria 5 vezes menores assegurando que a placa resista sem a ocorrência de ruptura por fadiga.

Maiores espessuras oneram os custos dos pavimentos, já que a pavimentação compreende obras em que, geralmente, se tem grandes extensões o que confere orçamentos elevados, tornando inviáveis para muitos órgãos municipais ou até estaduais. Assim, análises mecanicistas permitem a introdução de um viés mais realista e muitas vezes mais econômico tornando possíveis essas obras para os órgãos supramencionados. Portanto, conclui-se que não ocorrerá ruptura por fadiga, podendo seu dimensionamento ainda ser melhorado, visto que pela presente situação o mesmo se encontra superdimensionado.

#### Agradecimentos

DTECH/UFSJ, Grupo de Pesquisa em Infraestrutura de Transportes e Obras Geotécnicas – INFRAGEO e FAPEMIG.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anguas, P. G. (2004) *Conceptos Mecanicistas em Pavimentos*. 52f. Publicación Técnica N° 258 (Secretaría de Comunicaciones Y Transportes) – Instituto Mexicano Del Transporte, Sanfandila.
- Bezerra Neto, R. S. (2004) *Análise comparativa de pavimentos dimensionados através dos métodos empírico do DNER e mecanístico e proposta de um catálogo simplificado de pavimentos para a região de Campo Grande (MS)*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 169 f. São Carlos.
- Branco, S. P. V. M. (2013) *Estudo e aplicação de sistemas BRT- Bus Rapid Transit*. Dissertação Mestrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto, 148f. Portugal.
- DNIT (2005) *Manual de Pavimentos Rígidos*. Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes, Publicação IPR-714, Rio de Janeiro.
- DNIT (2006) *Manual de Estudos de Tráfego*. Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes, Publicação IPR-723, Rio de Janeiro.
- EDITAL DE PRÉ-QUALIFICAÇÃO n° 001/2014. Pré-qualificação para futura licitação da obra de implantação do Corredor Eixo Norte que é um subsistema de transporte coletivo tronco-alimentado, estruturado em torno de um eixo principal, exclusivo e segregado, ligando o terminal de Planaltina ao Terminal da Asa Norte, ao longo da Avenida Independência, BR-020 e DF-003. 85 p. 2013.
- IP – 02 (2004) *Classificação das vias* - Instrução Técnica. Prefeitura Municipal de São Paulo. São Paulo.

- Gondim, Y. C. (2008) *Dimensionamento de pavimentos de concreto utilizando o programa computacional KENSLABS 2004 e comparação com o método da PCA 1984*. 281 f.
- Martins, J. A. P; Ferreira, M. A. (2014) *Análise crítica do projeto de pavimentação, referente ao corredor Eixo Norte, para implantação do BRT no Distrito Federal*. 63f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Campus Alto Paraopeba, Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco.
- Oliveira, P. L. (2000) *Projeto estrutural de pavimentos rodoviários e de pisos industriais de concreto*. Dissertação Mestrado em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 218f. São Carlos, São Paulo.
- Pitta, M. R. (1998) *Dimensionamento de Pavimentos Rodoviários e Urbanos de Concreto pelo Método PCA*. ET-97, (3ª ed.), publicação Associação Brasileira de Cimento Portland, São Paulo.
- PCA (1984) Thickness design for concrete highway and street pavements. Portland Cement Association, EB 109.01P, Skokie.
- Projeto de pavimentação (2013) *Projetos e Documentos para Concorrência BRT - Corredor Eixo Norte*. Volume 1, Tomo 2.
- Rodrigues, P. P. F e Pitta, M. R. (1998) *Dimensionamento de Pavimentos de Concreto Estruturalmente Armados*. ABCP, São Paulo.
- Santos, C. R. G. (2011) *Dimensionamento e análise do ciclo de vida de pavimentos rodoviários: uma abordagem probabilística*. Tese de doutorado - Universidade de São Paulo, SP. 295f.

---

Juliana de Paula Rezende (jupaulaprod@gmail.com)  
Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa  
Av. Peter Henry Rolfs, s/n – Campus Universitário, Viçosa, MG, Brasil  
Tales Moreira de Oliveira (talesciv@gmail.com)  
Maicon de Ávila Fernandes (maiconavila89@gmail.com)  
Leandro Neves Duarte (leandro.duarte@ufsj.edu.br)  
Universidade Federal de São João Del Rei  
Rod. MG 443, KM 7 – Campus Alto Paraopeba, Ouro Branco, MG, Brasil