

19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



## 25º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 48ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv)

# IMPACTO DOS DEFEITOS EM DIFERENTES SEVERIDADES NA VIDA ÚTIL DE PAVIMENTOS INTERTRAVADOS

DOI: (a ser preenchido após o envio do código DOI da publicação)

*Felipe Silveira Cavalcanti<sup>1</sup> & Francisco Heber Lacerda de Oliveira<sup>2</sup>*

### RESUMO

A ocorrência de defeitos durante a operação do pavimento intertravado altera a sua capacidade estrutural e diminui sua vida útil residual. Existe um índice para classificação da condição do pavimento intertravado concebido a partir dos defeitos existentes, que permite a priorização de trechos para manutenção e reabilitação. Contudo, o índice não fornece informação da vida útil residual do pavimento, fato é relevante pois permite compatibilizar o tráfego com a sua capacidade estrutural em um Sistema de Gerência de Pavimentos. Assim, este artigo objetiva avaliar o impacto da ocorrência de defeitos na vida útil residual do pavimento por meio da análise da sua capacidade estrutural. A modelagem foi realizada com a simulação dos defeitos de blocos danificados, deformações permanentes, perda de areia da junta, desalinhamento das juntas, dano de contenção e perda de material de assentamento em diferentes severidades na capacidade de atenuação de carga do revestimento. Por meio de uma verificação mecanicista-empírica identificou-se o impacto na vida útil da estrutura em cada condição. Os resultados evidenciaram que os defeitos que afetam a transmissão de esforços nas juntas possuem os maiores potenciais de redução de vida útil residual, em especial a abertura das juntas. Os blocos danificados causam prejuízo a capacidade estrutural, todavia em menor impacto do que o desempenho de transferência de carga entre os blocos. Conclui-se que o mecanismo de intertravamento entre os blocos, que garante a transmissão de esforços, é o aspecto mais relevante na manutenção da capacidade estrutural e impacto na vida útil residual de um pavimento intertravado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Intertravado; gerência; degradação.

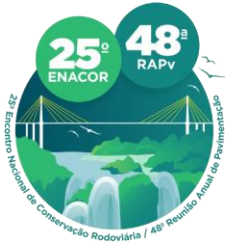
### ABSTRACT

The occurrence of defects during the operation of the interlocking pavement alters its structural capacity and reduces its residual useful life. There is an index for classifying the condition of the interlocking pavement designed from the existing defects, which allows the prioritization of sections for maintenance and rehabilitation. However, the index does not provide information on the residual useful life of the pavement, a fact that is relevant as it allows compatible traffic with its structural capacity in a Pavement Management System. Thus, this article aims to evaluate the impact of the occurrence of defects on the residual service life of the pavement through the analysis of its structural capacity. The modeling was carried out with the simulation of the defects of damaged blocks, permanent deformations, loss of sand from the joint, misalignment of the joints, containment damage and loss of settlement material in different severities in the load attenuation capacity of the coating. Through a mechanistic-empirical verification, the impact on the useful life of the structure in each condition was identified. The results showed that the defects that affect the transmission of efforts in the joints have the greatest potential for reducing the residual service life, especially the opening of the joints. Damaged blocks damage the structural capacity, but with less impact than the load transfer performance between the blocks. It is concluded that the interlocking mechanism between the blocks, which guarantees the transmission of efforts, is the most relevant aspect in maintaining the structural capacity and impact on the residual useful life of an interlocking pavement.

**KEYWORDS:** Interlocked; management; degradation.

<sup>1</sup> Universidade Federal do Ceará, felipesilveirach@hotmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal do Ceará, heber@det.ufc.br



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR  
[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



## INTRODUÇÃO

Os pavimentos intertravados são uma solução adequada para diversos tipos de contextos, Morgado (2008) cita que os pavimentos intertravados têm capacidade de suportar cargas elevadas e de apresentar um baixo custo de manutenção. Outrossim, como não há continuidade monolítica do revestimento é possível a manutenção de instalações subterrâneas, como no ambiente urbano, com os reaproveitamentos dos blocos de concreto.

Em decorrência dessas características, os pavimentos intertravados têm ganhado relevância em diversos contextos. Com a maior utilização desse tipo de pavimento urge a necessidade de compreensão do desempenho durante sua operação para aplicação em um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) que maximizem suas vantagens. Teixeira *et al.* (2007) mencionam a relevância de métodos de avaliação do pavimento que viabilizem prever o dano com maior assertividade, permitindo minimizar os custos de medidas de manutenção e reabilitação (M&R) do pavimento.

Uma informação importante no processo decisório para adoção de M&R trata-se da vida útil residual compatibilizada com o tráfego, a qual o índice proposto pela ASTM (2015) não aborda. Freitas e Pereira (2001) definem a vida útil residual do pavimento como a quantidade de solicitações que um carregamento padrão levará a estrutura à ruína em determinado momento da sua vida útil. A presença de defeitos na camada de rolamento do pavimento intertravado reduz sua vida útil residual e sua capacidade de atenuação de esforços.

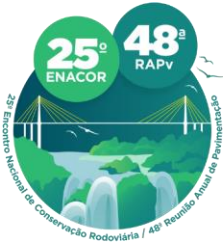
Diante disso, o objetivo deste artigo é mensurar o impacto dos defeitos na camada de rolamento do pavimento intertravado na redução de sua vida útil por meio da análise da capacidade estrutural. Assim, busca-se compreender de que forma esse processo de degradação é mais agressivo, com intuito de permitir a priorização de trechos críticos e respectivos aplicações de estratégias de M&R em um SGP.

## REFERENCIAL TEÓRICO

O princípio de funcionamento de blocos intertravados segundo ABNT (2011) é o travamento das peças de concreto aos deslocamentos individuais em relação às peças vizinhas. Em decorrência da presença das discontinuidades para a operação do pavimento, deve-se alcançar o intertravamento vertical, rotacional e horizontal das peças, conforme afirmam Knapton e Barber (1980).

Distintos aspectos influenciam na rigidez do revestimento de um pavimento intertravado, desde as propriedades dos blocos de concreto até a interação com material de assentamento e rejuntamento. Tom e Cheung (1999) elaboraram um modelo para estimar o módulo de resiliência de bases cimentadas degradadas. Balbo (2007) menciona que pode ser utilizado para determinação do módulo de resiliência de uma camada de blocos intertravados, pois considera aspectos intrínsecos ao pavimento intertravado também como o módulo de elasticidade das peças, espessura dos blocos e grau de transferência de carga nas juntas.

Durante a operação do pavimento podem surgir defeitos na camada de revestimento, os quais podem afetar diversos aspectos como os blocos, as juntas ou camada de assentamento. A ASTM (2015) elenca diversos defeitos que podem afligir a camada para determinação do *Pavement Condition Index* (PCI).



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR  
[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



Morgado (2008) observou que o processo de degradação na camada de blocos intertravados ocorre por intermédio de danificação das peças e perda da capacidade de transferência de carga. Por meio de ensaios em escala real, Füssl *et al.* (2018) constataram que pavimentos na ruína não apresentavam blocos quebrados; no entanto, o espaçamento das juntas não estava dentro de valores toleráveis, que são definidos, no Brasil, pela ABNT (2011).

Nesse viés, Thom e Cheung (1999) afirmam que para otimizar o funcionamento da camada em blocos intertravados é necessário maximizar a transferência de cargas nas juntas. Em geral, peças danificadas possuem influência pontual na camada. Todavia, o prejuízo na transmissão de carga nas juntas implica no comportamento global da camada. Em vista esses aspectos, Soutsos *et al.* (2011) corroboram que a ruína do pavimento é governada por deformações permanentes excessivas.

A distribuição de esforços verticais por cisalhamento é fundamental para garantir o intertravamento vertical. Heng e Füssl (2016) afirmam que quando a tensão de cisalhamento excede um valor limite no contato entre as peças ocorre o deslizamento até uma condição de equilíbrio ou colapso do sistema. Assim, os defeitos podem afetar a capacidade de transferência de esforços entre peças adjacentes, fomentando a ruína precoce do pavimento.

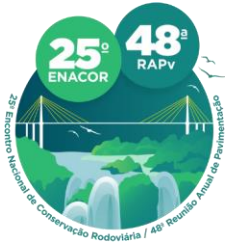
A compreensão de como os defeitos alteram a capacidade estrutural do pavimento e impactam a sua vida útil, é essencial em um SGP. Uma alteração na capacidade de reter os esforços sobre o revestimento altera a capacidade de dano de uma solicitação na estrutura. Assim, a definição pela ASTM (2015) de um PCI para pavimentos intertravados permite definir trechos prioritários para medidas de M&R, porém não possibilita estimar a quantidade de solicitações que o pavimento suporta até sua ruína.

O conhecimento sobre a vida útil residual do pavimento requer ciência acerca da geometria da estrutura, das solicitações que serão impostas e das propriedades dos materiais (FREITAS E PEREIRA, 2001). Torna-se uma árdua tarefa a modelagem da camada de blocos com a presença de defeitos, tendo em vista as peculiaridades supracitadas. Todavia, justifica-se tal esforço, pois dados a respeito de distintos cenários de vida útil do pavimento intertravado é relevante no processo decisório de um SGP (MELLO *et al.*, 2016).

Os defeitos como danificação dos blocos, deformações permanentes, perda de areia da junta, desalinhamento das juntas, dano de contenção e remendos são listados como primários na ASTM (2015). A norma elenca acréscimo de espaçamento das juntas e o desnível entre as peças de concreto como defeitos que ocorrem em decorrência de outros, os quais atuam especificamente prejudicando o mecanismo de transferência de carga entre os blocos.

## MÉTODOS DE PESQUISA

O método aplicado neste trabalho consistiu em correlacionar os defeitos em suas diferentes severidades, conforme ASTM (2015), e o impacto dos mecanismos que influenciam na rigidez da camada de revestimento. Foi considerado que os defeitos impactam o Módulo de Elasticidade (ME) do bloco, a área de contato entre os blocos responsável pela distribuição das tensões de cisalhamento e o espaçamento das juntas que são os principais aspectos avaliados pelo modelo de



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Tom e Cheung (1999). Na Tabela 1 estão apresentados os defeitos nos três níveis de severidade (baixo, médio e alto) e os respectivos mecanismos que influem no ME do revestimento.

Tabela 1. Cenários verificados no estudo.

Defeito	Nível de severidade baixo	Nível de severidade médio	Nível de severidade alto
Blocos danificados	Redução de 25% do $f_{pk}$	Redução de 50% do $f_{pk}$	Surgimento de novas juntas (2,0 mm) e redução de 50% do $f_{pk}$
Deformações permanentes	Abertura de juntas de 1,6 mm	Abertura de juntas de 1,8 mm e redução de 10% altura útil	Abertura de juntas de 2,0 mm e redução de 25% altura útil
Perda de areia de junta	Abertura de juntas de 1,6 mm	Abertura de juntas de 1,8 mm	Abertura de juntas de 2,0 mm
Desalinhamento das juntas	Abertura de juntas de 1,6 mm	Abertura de juntas de 1,8 mm	Abertura de juntas de 2,0 mm
Dano de contenção	Abertura de juntas de 1,6 mm	Abertura de juntas de 1,8 mm	Abertura de juntas de 2,0 mm
Perda de material de assentamento	Redução de 10% altura útil	Redução de 25% altura útil	Redução de 50% altura útil

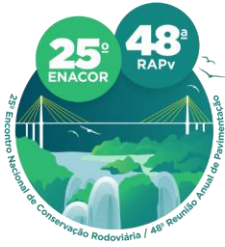
As consequências dos defeitos na rigidez do revestimento foram consideradas por meio da alteração da abertura das juntas e do módulo de elasticidade (ME) intrínseco ao material, por meio da variação da resistência à compressão. Foi adotado a correlação proposta pela ABNT (2014) para obtenção do ME dos blocos em razão da alteração dos valores de resistência a compressão ( $f_{pk}$ ).

A redução da altura útil entre as peças não permite uma alteração direta no modelo de Thom e Cheung (1999). Então, a modelagem desse efeito ocorreu por meio da aplicação de fatores de redução no ME em cisalhamento, que foram definidos com base na diminuição da tensão de cisalhamento.

A definição da estrutura do pavimento teve como premissa a existência apenas de camadas granulares, que foram submetidas a um alto volume de tráfego. Foi previsto um Número N de  $6,07 \times 10^7$  durante 10 anos da vida de serviço. Com o objetivo de identificar o volume de tráfego durante cada ano da vida útil do pavimento foi discretizado o Número N anual na Tabela 2. Tornando possível identificar em qual período a estrutura apresenta tendência de ruína pela ocorrência de defeitos.

Tabela 2. Projeção de tráfego durante vida útil do pavimento.

Ano	1	2	3	4	5
Número N	$5,42 \times 10^6$	$1,10 \times 10^7$	$1,67 \times 10^7$	$2,25 \times 10^7$	$2,85 \times 10^7$
Ano	6	7	8	9	10
Número N	$3,46 \times 10^7$	$4,09 \times 10^7$	$4,74 \times 10^7$	$5,40 \times 10^7$	$6,07 \times 10^7$



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



O dimensionamento da estrutura foi realizado conforme Carvalho (1998), adotando o coeficiente de equivalência estrutural da PMSP (2004). Foram adotados blocos do Tipo I com comprimento de 0,20 m e largura de 0,10 m e foram admitidas propriedades elásticas genéricas para permitir a modelagem elástica da estrutura (Tabela 3).

Tabela 3. Estrutura do pavimento analisado.

Camada	Material	Espessura (m)	CBR (%)	MR (MPa)	$\nu$
1	Bloco	0,10	-	-	0,15
2	Camada de Assentamento	0,05	-	93	0,3
3	Base	0,30	80	250	0,35
4	Sub-base	0,24	30	134	0,4
5	Subleito		6	73	0,45

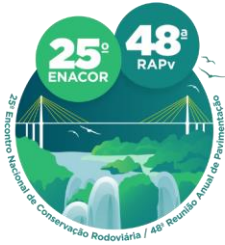
$\nu$  é o Coeficiente de Poisson;

Realizou-se a análise elástica com a utilização do *software* ELSYM5, considerando os diferentes módulos de elasticidade no revestimento em cada defeito analisado. Além disso, executou-se a avaliação do estado de tensões da estrutura sem a presença de defeitos com intuito de obter-se um parâmetro para avaliar a consequência dos defeitos.

Executou-se a verificação empírica-mecânica para cada cenário com intuito de estimar a vida útil residual de cada estrutura. O modelo utilizado foi o indicado por Rahman *et al.* (2018) para análise das deformações plásticas no subleito. Foi avaliado como a progressão da severidade do defeito incorre no acréscimo da capacidade de dano da estrutura por uma mesma solicitação. Ademais, verificou-se os defeitos que geram uma diminuição da vida útil da estrutura, incitando em uma ruína precoce.

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise considerou apenas os defeitos atuando na camada de revestimento, por implicar em uma diminuição da capacidade de atenuação de carga dos blocos intertravados. A redução da rigidez do revestimento ocorre devido à diminuição da eficiência da transferência de carga entre blocos adjacentes, avaliada pela diminuição de altura útil entre as peças e o aumento do espaçamento das juntas. Na Tabela 4 estão apresentados os ME e seus respectivos parâmetros, em diferentes níveis severidades e, também, para uma estrutura sem ocorrência de defeito como parâmetro de referência.



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Tabela 4. Módulo de elasticidade e seus parâmetros do revestimento.

Defeitos	Nível de Severidade	$f_{pk}$ (MPa)	$E_1$ (MPa)	L (m)	h (m)	$f_a$ (mm)	G (MPa/m)	$E_2$ (MPa)	$E_3$ (MPa)	$E_{in situ}$ (MPa)
Blocos danificados	Baixo	37,5	30.649,2	0,2	0,1	1,5	2706	5418,1	3247,2	1.904
	Médio	25	24.150,0	0,2	0,1	1,5	2706	4269,2	3247,2	1.713
	Alto	25	24.150,0	0,2	0,1	2,0	101	4269,2	121,2	117
Deformações permanentes	Baixo	50	36.628,1	0,2	0,1	1,6	2185	6475,0	2622,0	1.776
	Médio	50	36.628,1	0,2	0,1	1,8	1143	6475,0	1234,4	1.008
	Alto	50	36.628,1	0,2	0,1	2,0	101	6475,0	90,9	89
PDD	Baixo	50	36.628,1	0,2	0,1	1,6	2185	6475,0	2622,0	1.776
	Médio	50	36.628,1	0,2	0,1	1,8	1143	6475,0	1371,6	1.098
	Alto	50	36.628,1	0,2	0,1	2,0	101	6475,0	121,2	119
Perda de material de assentamento	Baixo	50	36.628,1	0,2	0,1	1,5	2706	6475,0	2922,5	1.909
	Médio	50	36.628,1	0,2	0,1	1,5	2706	6475,0	2435,4	1.688
	Alto	50	36.628,1	0,2	0,1	1,5	2706	6475,0	1623,6	1.254
Sem defeitos		50	36.628,1	0,2	0,1	1,5	2706	6475,0	3247,2	2.042

$E_1$  é o Módulo de Elasticidade (ME) do bloco de concreto (MPa); L é o comprimento dos blocos (m); h é a espessura do bloco (m);  $f_a$  é a abertura das fissuras (mm); G é o Módulo de elasticidade em cisalhamento (MPa/m);  $E_2$  é o Momento de flexão (MPa);  $E_3$  é o Módulo em cisalhamento (MPa),  $E_{in situ}$  é o Módulo de elasticidade da camada *in situ* (MPa),  $f_{pk}$  é a resistência à compressão do bloco e PDD é a perda de areia das juntas, o desalinhamento das juntas e o dano de contenção.

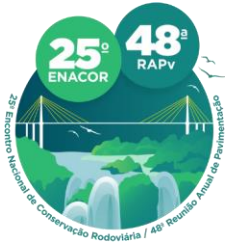
Pela Tabela 4 verifica-se que para o defeito perda do material de assentamento, com severidade baixa, o valor de rigidez é 93,5% menor do que em relação ao pavimento sem defeitos. Apesar da evolução do dano, na severidade alta, nesse defeito, o ME apresenta um valor de 61,4% do pavimento sem defeitos.

Pode-se concluir que a alteração da altura útil, causada pela perda de material de assentamento, possui uma influência na capacidade de retenção de carga no revestimento. Todavia, atuando isoladamente, o revestimento ainda consegue apresentar rigidez compatível a de um material cimentado. As tensões de cisalhamento são o mecanismo de transferência de esforços entre peças adjacentes. Assim sendo, a diminuição de altura útil entre as peças ocasiona uma diminuição linear no módulo de cisalhamento ( $E_3$ ) entre os blocos.

A perda de altura útil do bloco não pode ser considerada diretamente no modelo utilizado para estimativa do ME *in situ* das camadas em blocos, pois em sua concepção o modelo considera toda a área disponível da peça. Os fatores de redução utilizados no módulo em cisalhamento para estimar a rigidez *in situ* evidenciaram uma diminuição proporcional à diminuição de sua área útil.

Avaliando os defeitos de perda de areia das juntas, desalinhamento das juntas e dano de contenção (PDD), em que também o único efeito analisado é a alteração no espaçamento das juntas, observa-se maior influência na capacidade de retenção de carga do revestimento do que a variação de altura útil dos blocos. Para o nível de severidade baixo, tem-se uma camada com um valor de rigidez compatível com 93,5% da camada sem defeitos.

Com o agravamento do defeito, mesmo para o nível de severidade médio, encontra-se uma capacidade de atenuação de esforços inferior à condição mais crítica para a perda de material de



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



assentamento. Observa-se que para a situação mais crítica, a PDD apresenta uma rigidez de 5,8% da camada sem ocorrência de defeitos e um valor de 10,8% em relação ao nível de severidade médio do mesmo cenário. Desse modo, conclui-se que o espaçamento das juntas possui maior nível de influência na rigidez da camada de blocos do que a sua altura útil.

O comportamento mecânico admitido para as juntas pode ser representado por um modelo elasto-plástico com amolecimento, no qual as tensões de cisalhamento entre as peças possuem um valor limítrofe que diminui com o acréscimo de deformações. Tal situação valida os resultados encontrados por Füssl *et al.* (2015).

O defeito blocos danificados, para os níveis de severidade baixo e médio, avalia exclusivamente a danificação dos blocos pela redução da resistência à compressão das peças, que se mostrou com efeito menos significativo do que os outros efeitos considerados. A rigidez do revestimento, para o nível de severidade baixo apresenta um valor de 93,3% em relação à camada de referência sem defeitos, enquanto para a deformação permanente possui um valor de 83,9%. Pode-se perceber que o desempenho individual de cada peça perde relevância em comparação ao funcionamento do conjunto.

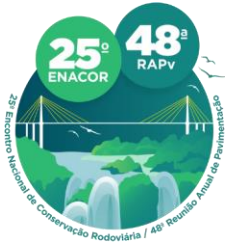
O dano nos blocos atua em trechos localizados do pavimento, enquanto as juntas representam um comportamento mais global da camada de revestimento. Em decorrência disso, as juntas mostraram-se mais relevantes no desempenho do pavimento. A acentuação da danificação dos blocos pode ocasionar o surgimento de fissuras nas peças, atuando como juntas sem a presença de material de rejuntamento.

O nível de severidade alto dos blocos danificados representa uma condição em que ocorre diminuição da resistência à compressão dos blocos e abertura de fissuras nas peças. Observa-se que a rigidez do revestimento é de 5,7% do valor de referência. Essa condição é o segundo pior defeito, dentre os analisados. A sobreposição dos efeitos incorre na acentuação da diminuição da capacidade de atenuação de esforços da camada.

As deformações permanentes é um defeito que implica no aumento do espaçamento das juntas e a diminuição de espessura útil de contato entre as peças com o seu agravamento. Para o nível de severidade baixo, que indica um acréscimo de abertura das juntas de 6,3%, a rigidez do revestimento possui um valor de 87% do pavimento sem defeitos. Na severidade alta, encontra-se uma capacidade de atenuação de tensões da camada de 4,4% do valor encontrado na estrutura sem defeitos, representando a pior situação encontrada.

As deformações permanentes, nos níveis médio e alto, ocasionam uma sobreposição de efeitos sobre a camada, sendo mais crítico porque a alteração da espessura útil e da abertura das juntas atuam sobre a eficiência de transmissão dos esforços entre os blocos. Pode-se constatar que, quando efeitos sobrepostos atuam sobre o revestimento, maiores reduções na rigidez são constatadas, sendo maximizado o potencial de dano nas situações em que ambos interferem sobre a eficiência das juntas.

A distribuição de esforços na estrutura do pavimento sofre alterações com a variação da capacidade de atenuação de carga do revestimento. A diminuição da rigidez do revestimento em decorrência dos defeitos ocasiona uma alteração dos níveis de tensão previstos. Dessa forma, sua compreensão é



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



necessária para identificação de medidas de M&R. Na Tabela 5 estão evidenciados os esforços atuando no topo do subleito para todos os defeitos analisados.

Tabela 5. Estudo de tensões no topo do subleito do pavimento.

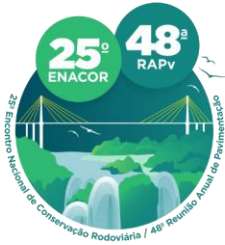
Defeito	Nível de Severidade	Deformações Verticais (m/m)	Tensão	
			Vertical Topo do Subleito (kPa)	Deflexões (0,01mm)
Blocos danificados	Baixo	2,85E-04	214	28,1
	Médio	2,88E-04	216	28,3
	Alto	3,64E-04	283	33,4
Deformações permanentes	Baixo	2,87E-04	215	28,2
	Médio	3,03E-04	229	29,2
	Alto	3,71E-04	289	33,8
PDD	Baixo	2,87E-04	215	28,2
	Médio	3,01E-04	227	29,1
	Alto	3,63E-04	283	33,3
Perda de material de assentamento	Baixo	2,85E-04	213	28,1
	Médio	2,88E-04	216	28,3
	Alto	2,97E-04	223	28,8
Sem defeitos		2,83E-04	212	28,0

Por meio da análise dos resultados obtidos na Tabela 5, verifica-se que o acréscimo de tensão vertical no nível de severidade alto da deformação permanente é de 36,3%, enquanto para o nível de severidade baixo da PDD esse acréscimo torna-se de 0,47%. Sabe-se que o critério indicado por Rahman *et al.* (2018), para o nível de tráfego de projeto, estabelece um valor limite de deformação vertical de  $3,17 \times 10^{-4}$  m/m, que foi superado no nível de severidade alto para os blocos danificados, as deformações permanentes e a PDD.

Observa-se que, para o caso analisado, a estrutura do pavimento com deflexões até 30,0 (0,01mm) obteve um nível de deformação vertical no topo do subleito dentro de limites aceitáveis. Todavia, verifica-se que esse valor é restritivo para pavimentos intertravados, tendo em vista que essa estrutura não está submetida a ruína por fadiga. Cabe uma análise acerca desse valor, uma das causas pode ser o *software* ELSYM5 considerar aderência perfeita entre todas as camadas. Ademais, o valor restritivo também ocorre em função do número elevado de solicitações durante sua vida útil.

O método de dimensionamento utilizado permite a concepção da estrutura do pavimento sem análise das tensões atuantes sobre ele. Assim, a estrutura sem a presença de defeitos suporta um Número N de  $9,58 \times 10^7$ . No Gráfico 1 está evidenciada a vida útil residual do pavimento para condição analisada e indicado o Número N de projeto por meio de uma linha horizontal.





19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)

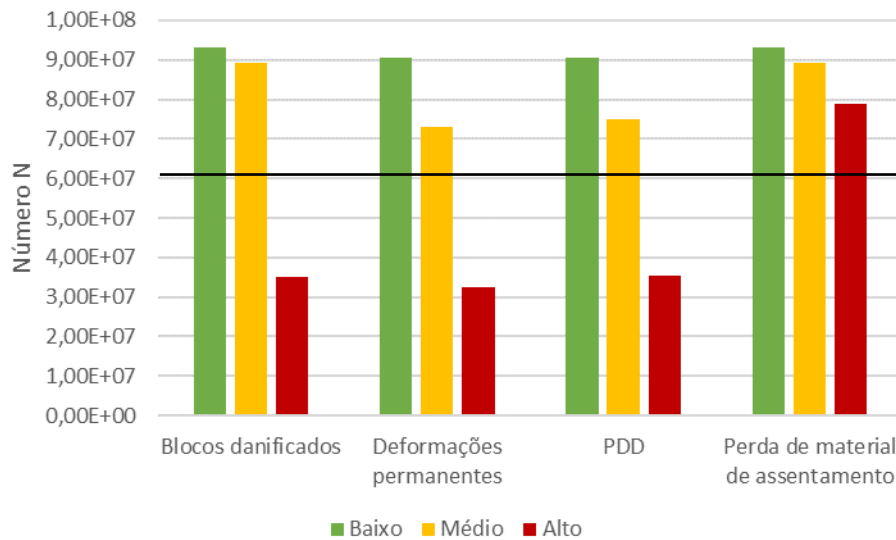


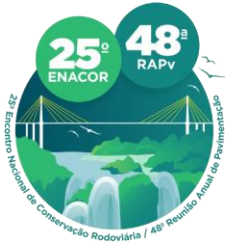
Gráfico 1. Número de solicitações que cada superestrutura suportará.

Como a estrutura do pavimento analisada neste trabalho suporta um Número N superior ao tráfego de projeto, alguns cenários mesmo com perda da capacidade estrutural do pavimento tendem a suportar o tráfego de projeto. Os únicos cenários em que houve tendência de ruína precoce da estrutura foram os que apresentaram uma abertura das juntas com um aumento percentual de 33,3%. Mesmo para as condições em que as juntas obtiveram um aumento de abertura de 20% a estrutura foi capaz de suportar o tráfego de acordo com o critério adotado. Os danos nos blocos de concreto e a diminuição da sua espessura útil de contato acentuam a diminuição da capacidade estrutural do pavimento. Todavia, observa-se que esses efeitos isolados não foram suficientes para gerar a ruína precoce do pavimento, ao contrário do espaçamento das juntas.

No nível de severidade alto da PDD, em que se avalia um acréscimo do espaçamento das juntas de 33,3% atuando isoladamente, tem-se uma capacidade de resistir um Número N de  $3,54 \times 10^7$ . Por meio da compatibilização do tráfego previsto com a verificação empírica-mecanicista, identifica-se que a estrutura com essa capacidade estrutural apresenta tendência de ruína no 6º ano de operação. Comparando-se a capacidade estrutural no nível de severidade alto da perda de material de assentamento, em que está atuando a diminuição da altura útil isoladamente, permite-se suportar um Número N de  $7,90 \times 10^7$ . Observa-se a diferença de sensibilidade desses dois aspectos que atuam na eficiência da transferência de carga entre os blocos.

Para os blocos danificados na severidade alta, em que atua uma diminuição de 50% da resistência à compressão e acréscimo de espaçamento das juntas de 33,3%, a estrutura do pavimento resiste ao Número N de  $3,50 \times 10^7$ . Consta-se que o número de solicitações que o pavimento suporta nessa condição é similar ao nível de severidade alto da PDD. Logo, a diferença nas solicitações que a estrutura suporta é de  $4,0 \times 10^5$ , comparando-se o nível de severidade alto dos blocos danificados e da PDD.

Avaliando as deformações permanentes no nível de severidade alto, têm-se a maior redução da capacidade estrutural, na qual a estrutura suporta um Número N de  $3,24 \times 10^7$ . A estrutura suporta 34% das solicitações do pavimento de referência. Percebe-se que a diminuição da altura útil de



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



contato entre as peças, atuando em conjunto com o aumento do espaçamento das juntas, permite maximizar a capacidade de dano de uma mesma solicitação em comparação à danificação dos blocos. Como a diminuição da altura útil de contato entre os blocos e do acréscimo do tamanho das juntas implicam diretamente na eficiência da transferência de carga entre as peças, possuem uma maior capacidade de dano.

Analisando o período em que ocorrerá ruína precoce, em uma condição representada pelo nível de severidade alto dos blocos danificados, verifica-se que estrutura apresentará ruína também no 6º ano de operação. Além disso, o pavimento apresenta a tendência de sofrer a ruína no 5º ano de operação para as deformações permanentes no nível de severidade alto, representando, portanto, uma diminuição da vida útil em 5 anos. Uma análise a respeito da perda de material de assentamento indica que um dos motivos da diminuição de altura útil entre os blocos é ocasionada pela falha de vedação das juntas. Apesar de atuando isoladamente, o desnível entre as peças possui o menor impacto na capacidade estrutural do pavimento.

Avaliando apenas a diminuição de área útil de contato entre os blocos, em nenhum nível de severidade ocorre a ruína precoce do pavimento. Para o nível de severidade baixo, tem-se uma capacidade de resistir um Número N de 97% em comparação uma estrutura sem defeitos.

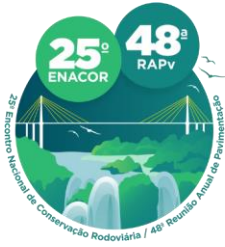
O defeito de dano aos blocos não evidenciou a tendência de ruína precoce do pavimento até alcançar o nível de severidade alto. Para o nível de severidade médio, em que há uma redução da resistência à compressão de 50%, a estrutura suporta 82% do Número N em relação ao pavimento sem defeitos.

Nos locais em que há deformações permanentes, há uma diminuição da capacidade de atenuação de esforços do revestimento. Até o nível de severidade médio da deformação permanente, o pavimento suporta o tráfego de projeto. Nesse estágio, ocorre um acréscimo do tamanho das juntas de 20%, em uma diminuição da altura útil de 10%, de tal forma que a estrutura possui uma vida útil residual de 76% em relação ao pavimento sem defeito. Essa redução ainda permitiria a estrutura suportar o tráfego de projeto. Todavia, o nível de severidade alto representa a diminuição da vida útil do pavimento em 5 anos.

O aumento da espessura das juntas representa uma diminuição da eficiência da transmissão de esforços entre os blocos, podendo ser causado, também, pela perda de material de rejuntamento entre os blocos. Apesar de consistir em um aspecto construtivo, um adequado travamento dos blocos por meio de contenções evita o acréscimo do espaçamento entre eles. Verifica-se que para os níveis de severidade baixo e médio da PDD em que o acréscimo da abertura das juntas é de 6,7% e 20% respectivamente, a estrutura apresenta uma vida útil residual de 95% e 78% do pavimento sem defeitos. A partir do nível severidade alto, o pavimento apresenta tendência de ruptura precoce com a diminuição da vida útil em 4 anos.

## CONCLUSÕES

A ocorrência de defeitos na camada de rolamento do pavimento intertravado incorre em uma alteração da sua capacidade estrutural, a que ocasiona uma diminuição da sua vida útil residual. Em um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) é essencial ter conhecimento sobre a condição da



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



infraestrutura e sua capacidade de suporte para as condições de tráfego impostas de modo a permitir o planejamento das medidas de manutenção e reabilitação.

Os defeitos que apresentaram o maior impacto na vida útil residual do pavimento intertravado analisado neste trabalho foram os que afetaram a transmissão de carga entre os blocos de concreto, em especial a abertura das juntas. Em todos os cenários em que houve uma abertura das juntas de 33,3% acima do valor padrão, o pavimento apresentou tendência de ruína precoce. Logo, analisando os defeitos na camadas de rolamento conclui-se que o desempenho global de como a camada de rolamento distribui os esforços é mais relevante do que a condição individual dos blocos de concreto em um pavimento intertravado.

## BIBLIOGRAFIA

ABNT. Associação Brasileira de Normas e Técnicas. **ABNT NBR 6118: 2014**. Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. 3. ed. ABNT, 2014. 238p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas e Técnicas. **ABNT NBR 15953: 2011**. Pavimento intertravado com peças de concreto - execução. 1. ed. ABNT, 2011. 13p.

ASTM International. **Standart Practice for Pavement Condition Index Surveys for Interlocking Concrete Roads and Parking Lots**. United States, 2015, p. 1 - 23.

BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica - materiais, projeto e restauração**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

CARVALHO, M. D. DE. **Pavimentação com peças pré-moldadas de concreto**. 4. ed. São Paulo, ABCP, 1998, 32p. (ET-27).

FREITAS, E. F.; PEREIRA, P. A. A. Estudo da Evolução do Desempenho dos Pavimentos Rodoviários Flexíveis. **Revista Engenharia Civil**, n. 11. Universidade do Minho: Repositório UM, 2001, p. 47-58.

FUSSL, J.; HENGL, H.; EBERHARDSTEINER, L.; KLUGER-EIGL, W.; BLAB, R. Numerical simulation tool for paving block structures assessed by means of full-scale accelerated paved tests. **International Journal of Pavement Engineering**, v. 19, n. 8, 2018, p. 917-929.

HENG, H. L.; FUSSL, J. The influence of superelevated profiles of paving block structures on their load-bearing behavior. **Engineering Structures**, v. 117, 2016, p. 195-203.

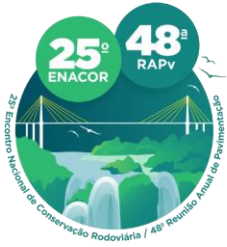
KNAPTON, J.; BARBER, S. D. UK research into concrete block pavement design. **Concrete Block Paving**. University of Newcastle: England, 1980, p. 34-37.

MELLO, L. G. R.; FARIAS, M. M.; PREUSSLER, E. S.; PREUSSLER, R. Análise do impacto do período de projeto de pavimentos no custo global de obras rodoviárias. **Transportes**, v. 24, n. 4, 2016, p. 64-74.

MORGADO, P. R. DA. S. **Concepção e Dimensionamento de Pavimentos em Blocos**. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Técnica de Lisboa, 2008.

PMSP. Prefeitura Municipal de São Paulo. **IP-06/2004**. Dimensionamento de Pavimentos com Blocos Intertravados de Concreto. São Paulo, 2004. 16p.

RAHMAN, M. D. M.; IQBAL, A.; BEECHAM, S. Mechanistic design of concrete block pavements. In: AGS Victorian Symposium. **Geotechnics and Transport Infrastructure**. Proceedings 2018 Australian Geomechanics Society Victorian Symposium. Melbourne, 2018, p. 13-17.



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



SOUTSOS, M. N.; TANG, K.; KHALID, H. A.; MILLARD, S. G. The effect of construction pattern and unit interlock on the structural behaviour of block pavements. **Constructions and Building Materials**, v. 25, 2011, p. 3832-3840.

TEIXEIRA, V. F.; SOUSA, F. V. DE.; SOARES, J. B. Modelagem da vida de fadiga e do acúmulo de deformações permanentes em pavimentos asfálticos por meio de um modelo de dano contínuo. **Transportes**, v. XV, n. 2, dez. 2007, p. 17-25.

THOM, N. H.; CHEUNG, L. W. Relating In Situ Properties of Cement-Bound Bases to Their Performance. **Proceedings of 78 th Annual Meeting of the Transportation Research Board**, Washington, D.C., paper n. 99-0592, p. 3-8.