

INFLUÊNCIA DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E DA ESPESSURA DOS BLOCOS DE CONCRETO E AS ESPESSURAS DAS JUNTAS NA DEFORMAÇÃO PERMANENTE DOS PAVIMENTOS EM BLOCOS INTERTRAVADOS

Felipe Silveira Cavalcanti Bezerra
Carlos Mateus Gonçalves Gonzaga
Francisco Heber Lacerda de Oliveira
Universidade Federal do Ceará
Departamento de Engenharia de Transportes

RESUMO

A deformação permanente é o principal fator da verificação mecanicista de pavimentos em blocos de concreto com camadas granulares. Desse modo, este artigo se propõe a avaliar a influência da variação da resistência à compressão, espessuras dos blocos de concreto e das condições das juntas entre os blocos em função do seu espaçamento. A avaliação foi realizada por intermédio de uma análise elástica e posterior aplicações de modelos de comportamento plástico de cada material. A condição das juntas mostrou-se o parâmetro mais sensível no desempenho da estrutura à deformação permanente, enquanto a resistência à compressão dos blocos não evidenciou grande diferença no comportamento plástico pela variação desse parâmetro. Além disso, constatou-se que o aumento da espessura das peças proporcionou melhoria no desempenho à deformação permanente, mas a sensibilidade desse parâmetro foi bem menor do que a da alternância das juntas.

ABSTRACT

Permanent deformation is the main factor of mechanistic verification of concrete block pavements with granular layers. Thus, this article aims to evaluate the influence of the variation in the compressive strength, the thickness of the blocks of concrete and the condition of the joints between the blocks depending on the spacing. The evaluation was carried out through an elastic analysis and subsequent applications of models of plastic behavior of each material. The condition of the joints proved to be the most sensitive parameter in the performance of the structure to permanent deformation, while the compressive strength of the blocks didn't show much difference in the plastic behavior due to the variation of this parameter. In addition, it was found that the increase in the thickness of the parts provided an improvement in performance to permanent deformation, but the sensitivity of this parameter was much less than the alternations of the joints.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de blocos de concreto intertravados como camada de rolamento de pavimentos urbanos é uma prática cada vez mais comum, inclusive em locais com condições de tráfego pesado. De acordo com Morgado (2008), os pavimentos de blocos em concreto (PBC) conseguem suportar carga elevadas e possuem um baixo custo de manutenção, fato que possibilita essa alternativa de pavimentação como uma solução viável para pavimentos urbanos.

Devido ao aumento das solicitações de tráfego nos PBC intertravados, faz-se necessário o desenvolvimento de procedimentos para mensurar a capacidade de atenuação de tensões nas camadas subjacentes. Shackel e Lim (2003) afirmaram em seus estudos que as juntas entre os blocos de concreto e o seu material de rejuntamento contribuem para o compartilhamento de carga entre as peças e, conseqüentemente, influem na rigidez da camada.

A verificação mecanicista para pavimentos com apenas camadas granulares consiste na análise das deformações plásticas, conforme o método *Lockpave* utilizado na Austrália. Neste viés, o dimensionamento de PBC deve considerar aspectos que possam minimizar os esforços nas camadas granulares, os quais implicam em menores níveis de deformações permanentes.

Diante do exposto, este artigo tem o objetivo de analisar a influência da espessura dos blocos, da resistência à compressão dos blocos e do tamanho das juntas entre os blocos na deformação permanente da superestrutura do PBC.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

No Brasil, ABNT (2013) regulamenta as características mínimas admitidas para os blocos utilizados em pavimentação, admitindo dois valores de resistência a compressão para os blocos: 35 MPa e 50 MPa. O módulo de elasticidade dos blocos de concreto pode ser estimado por meio de correlações com a resistência à compressão (ABNT, 2014). Os valores de Módulo de Resiliência (MR) estimados são dependentes da rocha de origem dos agregados graúdos, então, com granito, obtêm-se que, para as resistências a compressão (f_{ck}) de 35 MPa e 50 MPa, tem-se respectivamente um módulo de elasticidade (E_{cs}) de 27 GPa e 37 GPa.

Thom e Cheung (1999) *apud* Balbo (2007) desenvolveram um procedimento para determinação do MR *in situ* de bases com ligantes hidráulicos degradadas, quando não houver a disponibilidade de ensaios para determinação da bacia de deflexões, por meio de um procedimento analítico para a estimativa dos valores de módulo de elasticidade da camada, tendo como premissa a teoria da elasticidade e que o material se comportará como blocos devido à fadiga. Então, Balbo (2007) afirma que se pode utilizar essas considerações para determinação dos MR de PBC.

A formulação supracitada considera dois modos de respostas estruturais desses pavimentos: a flexão e o escorregamento dos blocos. A análise considera quatro parâmetros para a modelagem que consistem no módulo de elasticidade do material não fissurado, no espaçamento médio entre fissuras, na espessura e no grau de transferência de carga entre as faces dos blocos. Pode-se utilizar o módulo de elasticidade do bloco como o referente à camada não fissurada e os outros parâmetros da análise são inerentes ao pavimento em blocos intertravados.

Na análise para obtenção do MR *in situ*, o procedimento consta da determinação de três MR auxiliares. O primeiro módulo de elasticidade provém da análise do fenômeno da flexão dos blocos para o material não degradado, o qual se obtém o valor dessa grandeza inerente ao material. O segundo módulo de elasticidade é referente ao momento em flexão, o qual admite-se a camada fissurada e tem seu valor dependente do espaçamento entre os blocos e é calculada por meio da Equação 1. O terceiro módulo de elasticidade é encontrado por intermédio da Equação 2 e está relacionado ao cisalhamento entre os blocos, que é dependente da espessura do bloco e do módulo de elasticidade em cisalhamento, o qual é definido pela Equação 3.

$$E_2 = E_1 \times 2^{2,5(L-1,2)} \quad (1)$$

em que E_1 : módulo de elasticidade do bloco de concreto [MPa];

E_2 : momento em flexão [MPa];

L : comprimento dos blocos [m].

$$E_3 = 1,5 \times L^3 \times h^{-2} \times G \quad (2)$$

em que E_3 : módulo em cisalhamento [MPa];

L : comprimento dos blocos [m];

h : espessura do bloco [m];

G : módulo de elasticidade em cisalhamento [MPa/m].

$$G = 10.521 - 5210 \times f_a \quad (3)$$

em que G : módulo de elasticidade em cisalhamento [MPa/m];

f_a : abertura das fissuras [mm].

Para encontrar o módulo de elasticidade *in situ* ($E_{in situ}$), deve-se considerar o efeito conjunto dos três tipos de solitação, por meio do reconhecimento das três deformações que ocorrem

concomitantemente. Assim, por meio dessa superposição de efeitos obtém-se a resposta global, conforme a Equação 4.

$$E_{in situ} = (E_2 \times E_3 + E_1 \times E_3 + E_1 \times E_2) \times (E_1 \times E_2 \times E_3)^{-1} \quad (4)$$

em que E_1 : módulo de elasticidade do bloco de concreto [MPa];

E_2 : momento em flexão [MPa];

E_3 : módulo em cisalhamento [MPa].

As aberturas das fissuras no módulo de elasticidade em cisalhamento no PBC são tratadas como a espessura das juntas entre os blocos, vale ressaltar que a presença de material de rejuntamento diminui a distância de contato entre as peças, melhorando o comportamento da camada de rolamento. Moghadas e Shadravan (2010) analisaram por meio de elementos finitos que as espessuras das juntas possuem influência nas deflexões do PBC, piorando drasticamente o desempenho após ultrapassar uma espessura ótima. Isso evidencia que esse parâmetro possui influência sobre a transmissão de cargas entre os blocos e, conseqüentemente, sobre a capacidade de atenuação de tensões sobre as camadas inferiores.

Moghadas e Shadravan (2010) estudaram também a influência da resistência à compressão e da espessura dos blocos nas deflexões de um pavimento, as quais permitem reconhecer a capacidade da camada de blocos de reter os esforços sobre si de acordo com a alteração desses parâmetros. No trabalho foi concluído que a variação na resistência à compressão dos blocos não possui efeitos significativos nas deflexões obtidas, enquanto o aumento da espessura dos blocos apresentou uma redução nas deflexões do pavimento.

Segundo Balbo (2007), os mecanismos de deformação plástica em solos consistem na redução de vazio com os carregamentos solicitantes e com a ruptura por cisalhamento do solo. O modelo utilizado para análise da deformação plástica específica do material de base foi de Motta (1991), o qual correlaciona, para brita graduada simples, essa grandeza com a quantidade de repetições do eixo padrão, sendo apresentado na Equação 5. Salienta-se que se trata de um modelo simplificado, pois não considera o estado de tensões atuantes sobre a camada.

$$\epsilon_p = 0,00466 \times N^{0,0773} \quad (5)$$

em que ϵ_p : deformação plástica específica [mm];

N : número de repetições do eixo padrão rodoviário.

Na verificação das demais camadas granulares foi adotado o modelo de Barker (1982), o qual para obtenção da deformação permanente específica admite correlação com a deformação específica elástica, o módulo de resiliência e o número de repetições do eixo padrão rodoviário, conforme apresentado na Equação 6.

$$\epsilon_p = 0,14 \times \epsilon_e \times (492,15 \times M_r^{-1})^{(0,2 \times N^{0,12})} \quad (6)$$

em que ϵ_p : deformação plástica específica [mm];

N : número de repetições do eixo padrão rodoviário;

ϵ_e : deformação elástica específica [mm];

M_r : módulo de Resiliência [MPa].

Acerca deste tema, vale-se citar o modelo proposto por Guimarães (2009), o qual possui uma boa aderência tanto ao comportamento dos solos finos como dos materiais pedregulhosos. O próprio autor afirma que o modelo elaborado representa de maneira fiel o comportamento dos materiais, todavia, para alcançar esses objetivos, faz-se necessário a realização de ensaios laboratoriais, pois o modelo depende, além dos estados de tensões do pavimento quando submetido ao tráfego, dos parâmetros obtidos nos ensaios.

Então, de posse das deformações permanentes específicas de cada camada, é possível a determinação da deformação plástica total da estrutura, por intermédio da multiplicação das respectivas deformações permanentes de cada camada com sua espessura e posterior soma desses valores para cada material. Para a camada de blocos intertravados não foi encontrado modelo que representasse a deformação plástica, apesar de reconhecer que existe deformação plástica na camada, devido acomodação da camada de assentamento. Shackel (1992) concluiu que quando o pavimento PBC está submetido ao tráfego em estágios iniciais há um acréscimo do MR da camada, com a acomodação dos blocos entre si e com a camada de assentamento, a qual sofre deformações plásticas no processo.

O método apresentado consiste em uma simplificação da realidade, pois fatores relevantes ao desempenho da estrutura são negligenciados, como o formato dos blocos de concreto utilizados. Ademais, a análise supracitada permite a verificação para um padrão de assentamento de blocos em fileiras, todavia, o padrão de espinha de peixe possui melhores respostas elásticas, segundo Shackel e Lim (2003).

3. MÉTODO DE PESQUISA

A verificação da deformação permanente foi realizada por meio de uma análise com a utilização da teoria de sistema de camadas elásticas, a qual se obtém as tensões e deformações atuantes no topo de cada camada; uma simplificação admitida nessa aplicação é que as respostas da estrutura são as mesmas durante toda a vida de serviço da estrutura. De posse dos valores de deformações, torna-se possível a utilização de modelos analíticos para a previsão de deformação permanente em cada camada.

Na análise de sensibilidade da resistência à compressão dos blocos, da espessura dos blocos e do tamanho das juntas na deformação permanente de pavimentos intertravados foram modelados oito cenários distintos. Em cada caso, foram alternadas pelo menos uma das variáveis, de tal forma que fosse possível, com os resultados obtidos, realizar uma verificação da influência da variável analisada em quatro situações diferentes.

A utilização da teoria de sistemas de camadas elásticas ocorreu por intermédio da utilização do *software* ELSYM5, o qual permite a obtenção das tensões, deformações e deflexões no pavimento em diferentes pontos de análise. Ressalta-se que, para a realização do estudo, é necessário que se tenha um número de repetições do eixo padrão (N) e uma superestrutura do pavimento. Neste trabalho, admitiu-se um número N seja 2×10^7 e a superestrutura tenha as características de Índice de Suporte Califórnia, de espessura, de MR e coeficiente de Poisson apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Superestrutura verificada

Camada	CBR (%)	Esp (cm)	MR (MPa)	ν
Bloco	-	-	-	0,15
Camada de Assentamento	-	5	93,19	0,30
Base	80	20	568,60	0,35
Sub Base	30	22	233,60	0,40
Subleito	5	20	66,10	0,45

3.1. Módulo de elasticidade da camada de rolamento *in situ*

O módulo de elasticidade para a camada de rolamento em campo não é equivalente ao dos blocos por se tratar uma camada modular. Assim, com alteração de alguns parâmetros muda-se os valores dessas grandezas a depender da sensibilidade de cada variável. No estudo em questão foram simuladas a variação da resistência a compressão (f_{kp}) e da espessura dos blocos (h), conforme os valores admitidos na ABNT (2013) para tráfego pesado e, também, considerando uma condição com rejuntamento adequado e outra com inadequado, por intermédio da variação do tamanho das juntas (f_a), conforme apresentado na Tabela 2 para os oito cenários.

Tabela 2: Módulo de elasticidade *in situ* utilizado no estudo

Cenário	f_{kp} (MPa)	E_1 (MPa)	L (m)	h (m)	f_a (mm)	G (MPa/m)	E_2 (MPa)	E_3 (MPa)	$E_{in situ}$ (MPa)
1	35	27.000	0,20	0,08	1,5	2.706	4.772,97	5.073,75	2.254,06
2	35	27.000	0,20	0,10	1,5	2.706	4.772,97	3.247,20	1.803,40
3	50	37.000	0,20	0,08	1,5	2.706	6.540,74	5.073,75	2.652,46
4	50	37.000	0,20	0,10	1,5	2.706	6.540,74	3.247,20	2.049,72
5	35	27.000	0,20	0,08	2,0	101	4.772,97	189,38	180,93
6	35	27.000	0,20	0,10	2,0	101	4.772,97	121,20	117,68
7	50	37.000	0,20	0,08	2,0	101	6.540,74	189,38	183,14
8	50	37.000	0,20	0,10	2,0	101	6.540,74	121,20	118,61

A espessura da camada de rolamento (h) considerada foi apenas a referente ao bloco, desconsiderando a espessura da camada de assentamento, tendo em vista que se trata de uma camada contínua e possui um módulo de elasticidade intrínseco diferente dos blocos de concreto. Dessa maneira, torna-se necessário a consideração posterior da camada de assentamento como uma camada do pavimento na análise da teoria de sistemas de camadas elásticas.

Ademais, o comprimento dos módulos utilizado foi o valor da sua maior dimensão dos blocos, o qual consiste em uma das principais características do padrão de assentamento em fileiras, com os blocos assentados em sentido transversal ao tráfego.

3.2. Teoria de sistemas de camadas elásticas

O carregamento adotado foi o eixo padrão rodoviário, o qual possui uma carga por roda de 2,05 t, um espaçamento entre o eixo das rodas de 34 cm e uma pressão de contato de 0,56 MPa. Os pontos de análise de tensão foram exatamente sobre o eixo da roda e o ponto médio entre duas rodas adjacentes, pois nas camadas superiores a condição mais crítica é sobre o eixo de cada carregamento, porém nas camadas inferiores o efeito da superposição de carregamentos ocasiona as condições críticas entre os dois carregamentos. Além disso, a profundidade das inspeções foi no topo de cada camada.

Conforme descrito anteriormente, a camada de assentamento foi analisada como uma camada independente em relação aos blocos, devido a limitação do método para obtenção do módulo de elasticidade *in situ*. Ressalta-se que os valores adotados de módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson da camada de assentamento foram concebidos com a característica do material não compactado, conforme momento do assentamento dos blocos de concreto sobre essa camada.

As respostas dos materiais obtidas por intermédio do *ELSYM5* são elásticas, posteriormente são utilizadas como variáveis nas previsões das respostas plásticas do pavimento durante ao vida de serviço. O material definido para a camada de base do estudo possui um MR elevado para materiais granulares, todavia a sua utilização se deu por causa do elevado nível de tráfego imposto ao pavimento neste estudo e o baixo MR do material adotado para o subleito. A camada de sub-base do estudo é composta por um material granular com um valor de MR que garante adequadas características elásticas, devido às condições supracitadas.

3.3. Deformação permanente

As deformações plásticas foram encontradas em cada camada de maneira analítica, com auxílio de modelos que necessitam como entrada os dados de entrada o nível de tráfego, o MR e as respostas elásticas para um carregamento padrão. Na verificação não foi considerada deformação permanente dos blocos, tendo em vista que consiste em um material pétreo. Todavia, com a consideração da camada de assentamento independente, é possível obter valores de deformação permanente desta e considerar para a camada de rolamento, incluindo os dois materiais. Para a camada de subleito foi analisada uma espessura de 20 cm.

Para as camadas granulares da camada de assentamento, sub-base e o subleito foi adotado o modelo de Barker (1982), no qual a deformação plástica específica é função do MR, do nível de tráfego e da deformação elástica específica, enquanto para camada de base foi utilizado o modelo de Motta (1991) para material de brita graduada simples (BGS), o qual é dependente apenas do nível de tráfego.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise elástica evidenciou que a variação no MR na camada de rolamento possui forte influência na distribuições de tensões e nas deformações específicas nas demais camadas do pavimento. Em relação às respostas elásticas, a maior sensibilidade foi observada nas variações das espessuras das juntas dos blocos, pois há uma brusca diminuição do MR *in situ* da camada de blocos intertravados. Com a diminuição da rigidez das camadas de blocos intertravados ocorre um aumento das tensões e deformações específicas atuantes nas outras camadas, gerando maiores níveis de deformação plástica.

Ademais, ressalta-se que o aumento na espessura dos blocos gera uma diminuição no MR *in situ* das camadas de blocos intertravados, todavia, seus efeitos no incremento das distribuições de tensões podem justificar a sua utilização. O aumento da resistência a compressão dos blocos ocasionou um acréscimo no valor do MR *in situ* da camada de rolamento em blocos, aumentando a capacidade de reter esforços sobre ela, contudo, os efeitos de atenuação de deformação específica e de tensão não foram significativos. Esses fatores podem ser evidenciados nos valores apresentados na Tabela 3.

Dessa maneira, como as repostas elásticas são fornecidas como dados de entrada para a verificação plástica da superestruturas, os cenários que possuíram os piores desempenho à deformação permanente foram os com aberturas de juntas de 2,0 mm, tendo em vista que os esforços nas camadas inferiores são maiores nesses casos. As duas condições de juntas simuladas divergem apenas 0,5 mm, porém os resultados obtidos foram significativamente diferentes com uma diferença percentual na tensão obtida no topo do subleito de 38,41%, fato que evidencia a sensibilidade desse parâmetro para o desempenho da estrutura. Salienta-se que,

no estudo, foi tratada a situação de juntas corretas e incorretas, assim uma variação de espessura com as juntas adequadas não gera variações muito elevadas.

Tabela 3: Análise elástica pelo ELSYM5

Cenário 1			Cenário 5		
Camada	ϵ_z (m/m)	σ_z (KPa)	Camada	ϵ_z (m/m)	σ_z (KPa)
Bloco	-1,03E-04	-560	Bloco	-2,51E-03	-560
Cam. Assentamento	-2,24E-03	-248	Cam. Assentamento	-4,23E-03	-467
Base	-2,35E-04	-203	Base	-4,24E-04	-368
Sub Base	-3,03E-04	-64,6	Sub Base	-3,59E-04	-81
Subleito	-3,58E-04	-22,8	Subleito	-4,35E-04	-31,4
Cenário 2			Cenário 6		
Camada	ϵ_z (m/m)	σ_z (KPa)	Camada	ϵ_z (m/m)	σ_z (KPa)
Bloco	-1,68E-04	-560	Bloco	-3,95E-03	-560
Cam. Assentamento	-1,95E-03	-214	Cam. Assentamento	-3,94E-03	-428
Base	-2,05E-04	-174	Base	-3,80E-04	-333
Sub Base	-2,82E-04	-59,5	Sub Base	-3,43E-04	-79,6
Subleito	-3,37E-04	-23,5	Subleito	-4,30E-04	-31,2
Cenário 3			Cenário 7		
Camada	ϵ_z (m/m)	σ_z (KPa)	Camada	ϵ_z (m/m)	σ_z (KPa)
Bloco	-7,97E-05	-560	Bloco	-2,47E-03	-560
Cam. Assentamento	-2,11E-03	-350	Cam. Assentamento	-4,22E-03	-466
Base	-2,22E-04	-192	Base	-4,23E-04	-367
Sub Base	-2,98E-04	-63,2	Sub Base	-3,59E-04	-80,9
Subleito	-3,52E-04	-24,4	Subleito	-4,35E-04	-31,4
Cenário 4			Cenário 8		
Camada	ϵ_z (m/m)	σ_z (KPa)	Camada	ϵ_z (m/m)	σ_z (KPa)
Bloco	-3,33E-05	-560	Bloco	-3,92E-03	-560
Cam. Assentamento	-2,14E-03	-138	Cam. Assentamento	-3,94E-03	-428
Base	-1,34E-04	-117	Base	3,80E-04	-333
Sub Base	-2,33E-04	-47,9	Sub Base	-3,43E-04	-79,5
Subleito	-2,92E-04	-20,2	Subleito	-4,30E-04	-31,2

Além disso, o acréscimo de espessura nos blocos utilizados na análise demonstrou que a melhora na distribuição dos esforços ocasionou melhores respostas na deformação permanente, todavia, o incremento da resistência à compressão dos blocos, apesar de aumentar a rigidez da camada de rolamento, não influenciou no comportamento à deformação permanente. Na Tabela 4 estão apresentados os valores encontrados para deformação plástica em cada um dos cenários analisados.

Ressalta-se que o mais importante da verificação é a sensibilidade das variáveis no fenômeno, pois os valores em si dependem das características inerentes a cada um dos materiais utilizados

no pavimento e, no estudo em questão, trata-se de uma situação específica. Dessa forma, os resultados encontrados para deformação plástica no pavimento são válidos somente para estrutura analisada, enquanto a variação das respostas em decorrência da alternância dos parâmetros pode ser analisada de uma maneira mais genérica.

Tabela 4: Análise de deformação permanente

Cenário 1				Cenário 5			
Camada	ϵ_p	Esp (cm)	δ_p (mm)	Camada	ϵ_p	Esp (cm)	δ_p (mm)
Bloco	-	8		Bloco	-	8	
Cam. Assent.	0,0038	5	0,1915	Cam. Assent.	0,0072	5	0,3616
Base	0,0171	20	3,4181	Base	0,0171	20	3,4181
Sub Base	0,0001	22	0,0286	Sub Base	0,0002	22	0,0339
Subleito	0,0010	20	0,2052	Subleito	0,0012	20	0,2493
			Total (mm)				Total (mm)
			3,8433				4,0629
Cenário 2				Cenário 6			
Camada	ϵ_p	Esp (cm)	δ_p (mm)	Camada	ϵ_p	Esp (cm)	δ_p (mm)
Bloco	-	10	-	Bloco	-	10	
Cam. Assent.	0,0033	5	0,1667	Cam. Assent.	0,0067	5	0,3368
Base	0,0171	20	3,4181	Base	0,0171	20	3,4181
Sub Base	0,0001	22	0,0266	Sub Base	0,0001	22	0,0324
Subleito	0,0010	20	0,1931	Subleito	0,0012	20	0,2464
			Total (mm)				Total (mm)
			3,8045				4,0337
Cenário 3				Cenário 7			
Camada	ϵ_p	Esp (cm)	δ_p (mm)	Camada	ϵ_p	Esp (cm)	δ_p (mm)
Bloco	-	8	-	Bloco	-	8	
Cam. Assent.	0,0036	5	0,1804	Cam. Assent.	0,0072	5	0,3607
Base	0,0171	20	3,4181	Base	0,0171	20	3,4181
Sub Base	0,0001	22	0,0281	Sub Base	0,0002	22	0,0339
Subleito	0,0010	20	0,2017	Subleito	0,0012	20	0,2493
			Total (mm)				Total (mm)
			3,8283				4,0620
Cenário 4				Cenário 8			
Camada	ϵ_p	Esp (cm)	δ_p (mm)	Camada	ϵ_p	Esp (cm)	δ_p (mm)
Bloco	-	10	-	Bloco	-	10	
Cam. Assent.	0,0037	5	0,1829	Cam. Assent.	0,0067	5	0,3368
Base	0,0171	20	3,4181	Base	0,0171	20	3,4181
Sub Base	0,0001	22	0,0220	Sub Base	0,0001	22	0,0324
Subleito	0,0008	20	0,1673	Subleito	0,0012	20	0,2464
			Total (mm)				Total (mm)
			3,7904				4,0337

Na análise comparativa de deformação permanente dos cenários com juntas de 1,5 mm e de 2,0 mm houve uma variação média de 6,06%. Apesar da espessura dos blocos e a resistência a compressão alterarem, a sua variação não conseguiu suprir os efeitos negativos das juntas em situação inadequada (Figura 1).

O aumento da espessura dos blocos de 8 cm para 10 cm implicou numa diminuição média das deformações plásticas de 0,86%, possuindo o melhor resultado quando a camada de rolamento está rígida (Figura 2). Percebeu-se que a variação da altura dos blocos é válida para o combate às deformações plásticas, entretanto trata-se de uma medida suplementar sendo necessária outras ações para controle efetivo do fenômeno.

Com a variação da resistência à compressão dos blocos houve uma variação média nos resultados de deformação permanente de 0,19% (Figura 3). Diante dos resultados obtidos, constatou-se que a resistência à compressão dos blocos não possui influência relevante nas deformações plásticas da estrutura do PBC. Apesar da maior rigidez da camada de rolamento, devido ao incremento desse parâmetro, o efeito de atenuação de esforços nas camadas inferiores é insuficiente alterar as respostas da deformação permanente.

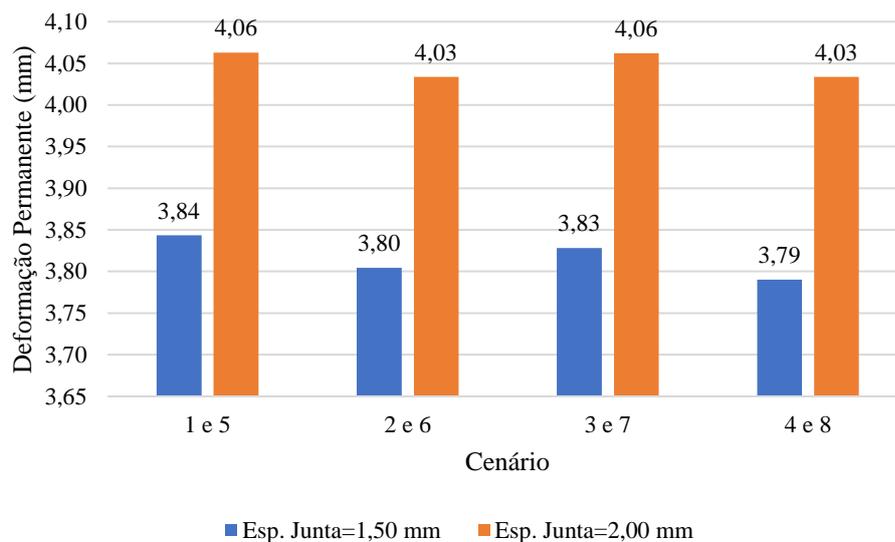


Figura 1: Deformação permanente variando a espessura das juntas

Um aspecto importante da análise é que foram utilizados materiais nas camadas de pavimento de qualidade adequada, com respostas elásticas satisfatórias. Em situações diferentes, com materiais de qualidade inferiores, a tendência é que os efeitos analisados das variações dos parâmetros sejam mais acentuados, tendo em vista que, devido aos atributos inferiores dos insumos utilizados, a influência do comportamento elástico da camada de rolamento torna-se mais importante.

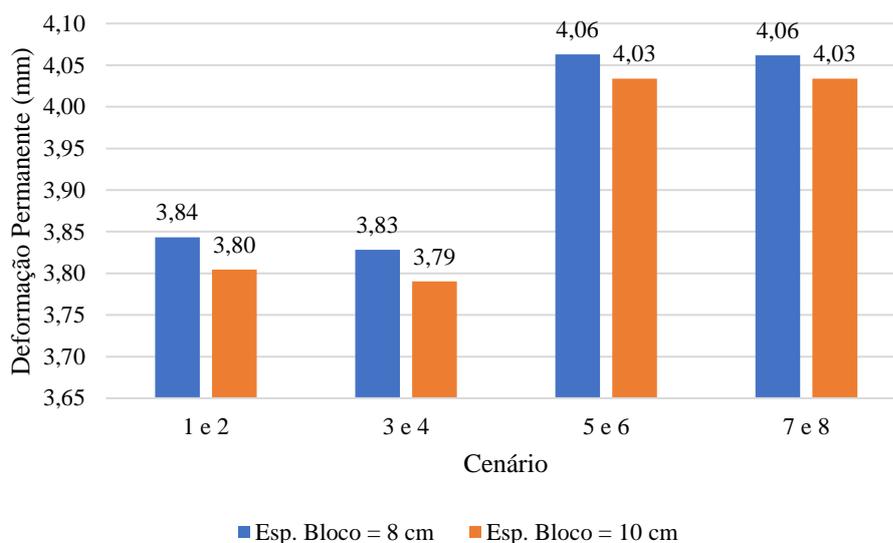


Figura 2: Deformação permanente variando a espessura dos blocos

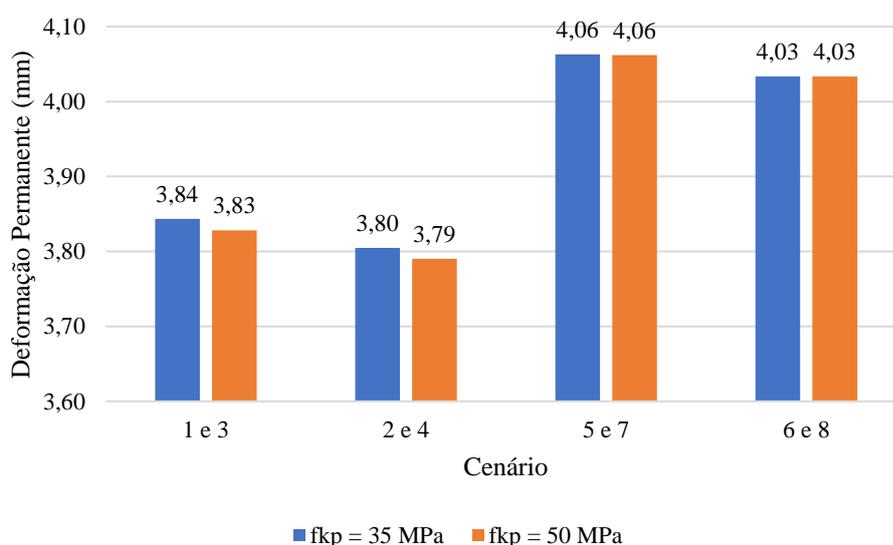


Figura 3: Deformação permanente variando a resistência a compressão dos blocos

5. CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos, percebeu-se que os aspectos construtivos possuem relevância técnica no comportamento dos pavimentos em blocos de concreto, pois uma falha na execução das juntas pode afetar negativamente o pavimento de tal forma que, mesmo os aspectos de projeto tendo sido considerados adequadamente, o desempenho da estrutura ainda será insatisfatório. Outrossim, verificou-se que o aumento da espessura dos blocos implicou em uma melhora no desempenho das deformações plásticas da estrutura, porém a variação desse parâmetro isoladamente mostrou-se insuficiente para obtenção de resultados significativamente diferentes.

Em relação à resistência à compressão das peças, a variação desse parâmetro não apresentou diferenças nas respostas de deformação permanente do pavimento. Todavia, ainda se recomenda a utilização de blocos mais resistentes à compressão para tráfegos mais elevados

devido a outros parâmetros, como a vida útil do bloco. Os resultados apresentados neste trabalho evidenciam que qualquer parâmetro que influa nas distribuições de esforços na estrutura do pavimento altera o desempenho do pavimento à deformação permanente.

Por fim, conclui-se que a condição de juntas adequadas é intrínseca ao pavimento, ou seja, não consiste em uma melhoria de desempenho do pavimento. O incremento do comportamento à deformação permanente do pavimento provém da definição em projeto de parâmetros que possam requintar o comportamento elástico da estrutura, como o aumento da espessura dos blocos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (2013) *NBR 9781 – Informação e Documentação – Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (2014) *NBR 6118 – Informação e Documentação – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- Balbo, J. T. (2007) *Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração*. Ed. Oficina de Textos, São Paulo.
- Barker, W. R. (1982) *Prediction of pavement roughness*. Vicksburg, Waterways Experiment Station, U.S. Corps of Engineers.
- Guimarães, A. C. R. (2009). *Um método mecanicístico – empírico para a previsão da deformação permanente em solos tropicais constituintes de pavimentos*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro.
- Moghadas, F. N. e Shadravan, M. R. (2010) A study on behavior of block pavement using 3D finite element method. *Computational Methods in Civil Engineering*, v. 1, n. 1, p. 65-71.
- Morgado, P. R. S. (2008) *Concepção e Dimensionamento de Pavimentos em Blocos*. Dissertação em Engenharia Civil, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Motta, L. M. G. da. (1991) *Método de dimensionamento de pavimentos flexíveis: critério de confiabilidade e ensaios de cargas repetidas*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro.
- Shackel, B. (1992), Computer Based Procedures for the Design and Specification of Concrete Block Pavements. *Proceedings of Fourth International Concrete Block Paving Conference*, v. 1, n. 1 p. 79-88.
- Shackel, B. e Lim D. O. O. (2003) Mechanism of pavers interlock. *Proceedings of 7th International Conference on Concrete Block*, Sun City, South Africa: Concrete Masonry Association (CMA).
- Thom, N. H. e Cheung, L. W. (1999) Relating in situ properties of cement bound bases to their performance. *Proceedings of 78th Annual Meeting of the Transportation Research Board*; Washington, D.C.

Felipe Silveira Cavalcanti Bezerra (felipesilveiracb@hotmail.com)

Carlos Mateus Gonçalves Gonzaga (carlosmateusgg@gmail.com)

Francisco Heber Lacerda de Oliveira (heber@det.ufc.br)

Departamento de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Bloco 703, Av. Humberto Monte, Campus do Pici – Fortaleza, CE, Brasil.