

IV Simpósio Internacional de Avaliação de Pavimentos e Projetos de Reforço

Fortaleza/CE - BRASIL - 07 a 09 de outubro 2009

LIMITES ADMISSÍVEIS PARA DESLOCAMENTO VERTICAL DE BARRAS DE LIGAÇÃO EM PAVIMENTO RÍGIDO

*José Eudes Marinho da Silva¹; Luiz Antônio Vieira Carneiro¹; José Renato M. S. Oliveira¹;
Carlos Roberto Giublin².*

RESUMO

O presente trabalho tem como finalidade apresentar um estudo sobre os limites de deslocamentos verticais de barras de ligação em placas de concreto simples utilizadas como pavimento rígido. A relevância do tema se baseia na dificuldade executiva do controle da posição vertical das barras quando da utilização de pavimentadoras automáticas de formas deslizantes, bem como na ausência de critérios limítrofes estabelecidos em norma para os referidos deslocamentos. Para tanto, uma série de ensaios de campo em placas especialmente concretadas para este fim foram realizados durante a obra de duplicação da BR 101 em seu Lote 6, no estado de Pernambuco, obra cuja execução se encontra a cargo do 3º Batalhão de Engenharia de Construção do Exército Brasileiro. Adicionalmente, uma série de simulações numéricas via elementos finitos foi realizada com o objetivo de comparar os resultados numéricos com os reais. Em conclusão o estudo propõe um limite admissível para o deslocamento vertical das barras de ligação, objetivando com isso permitir maior flexibilidade durante a execução de obras similares.

PALAVRAS-CHAVE: Pavimento de concreto, Pavimentadora com forma deslizante, barra de ligação.

ABSTRACT

This work is intended to submit a study on the limits of offsets vertical bar connecting cards used as a simple concrete floor. The relevance of the theme is based on the Executive Board of control of the vertical position of the bar the use of slipform paver, as well as in the absence of criteria established in neighbouring standard for such displacements. To this end, a number of field trials in cards especially run for this purpose have been made during the work of duplication of BR101 in its lot 6 in the State of Pernambuco, which is borne by the 3º Battalion Engineering Construction of the Assembly. In addition, a series of numerical simulations via finite elements has been carried out in order to compare the figures with those. To conclude the study proposes a limit to the vertical scroll bars with this connection, in order to allow more flexibility during the execution of similar works.

KEY WORDS: Concrete Pavement, slipform paver, connection bar.

¹ Instituto Militar de Engenharia – Praça General Tibúrcio, 80, Praia Vermelha, Rio de Janeiro - RJ, 21-2546 7080, eudes@ime.eb.br, carneiro@ime.eb.br, jrmso@terra.com.br

² Associação Brasileira de Cimento Portland - Rua da Glória, 175, Centro Cívico, Curitiba - PR, 41-3353 7426, abcpsul@bigghost.com.br

1. INTRODUÇÃO

A adequação da capacidade e a duplicação da Rodovia BR 101/NE, iniciada em dezembro de 2005, dobrará a capacidade de fluxo rodoviário entre as capitais dos Estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. A nova pista está sendo construída em pavimento de concreto.

Com uma extensão aproximada de 336,0km, o trecho em obras liga Natal (RN) a Palmares (PE) e está dividido em oito lotes. O Governo Federal incumbiu o Exército Brasileiro da execução de três deles, sobre a coordenação do 1º Grupamento de Engenharia, sendo as obras executadas diretamente por três Batalhões de Engenharia de Construção (BECnst) sediados no Nordeste (Figura 1). A extensão total dos lotes a cargo do Exército soma 142,5km, sendo no estado do Rio Grande do Norte (46,2km - 1º. BECnst, Lote 01), na Paraíba (54,9km - 2º. BECnst, Lote 05) e em Pernambuco (41,4km - 3º. BECnst, Lote 06) todos com consultoria técnica da Associação Brasileira de Cimento Portland. A execução dos serviços de pavimentação ocorre com a utilização de pavimentadoras de formas deslizantes.

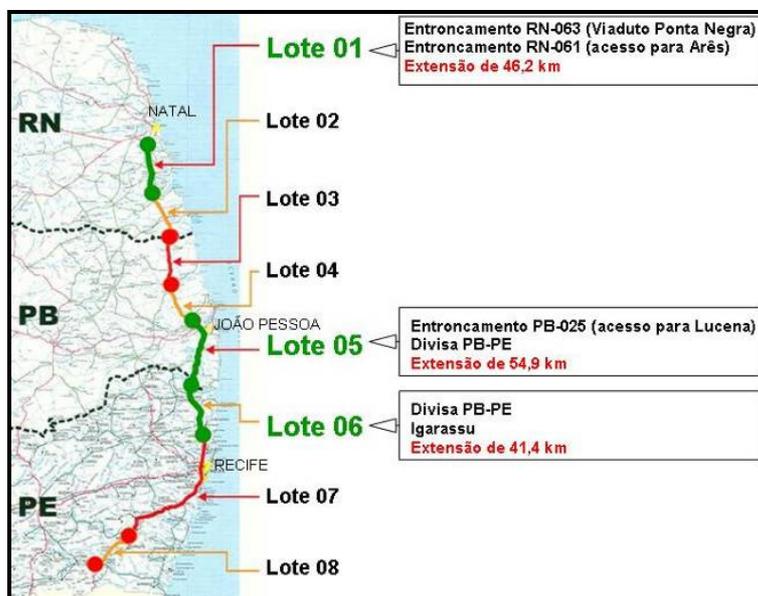


Figura 1. Mapa com a localização dos lotes da BR 101/NE

2. OBJETIVO

Apresentar os estudos relativos aos limites de deslocamentos verticais de barras de ligação em placas de concreto simples utilizadas como pavimento rígido.

3. PAVIMENTO DE CONCRETO DA BR-101/NE, LOTE 06

O método utilizado para o dimensionamento do pavimento de concreto foi o da PCA (Portland Cement Association) de 1984. Este método obedece aos seguintes parâmetros básicos: capacidade de suporte do subleito; tráfego estimado, inclusive crescimento previsto; resistência de projeto do concreto e período de projeto.

Com base no dimensionamento e na análise das diferentes condições de solicitações de tráfego ao longo da Rodovia, foi definida a seção do pavimento de concreto conforme a Figura 2.

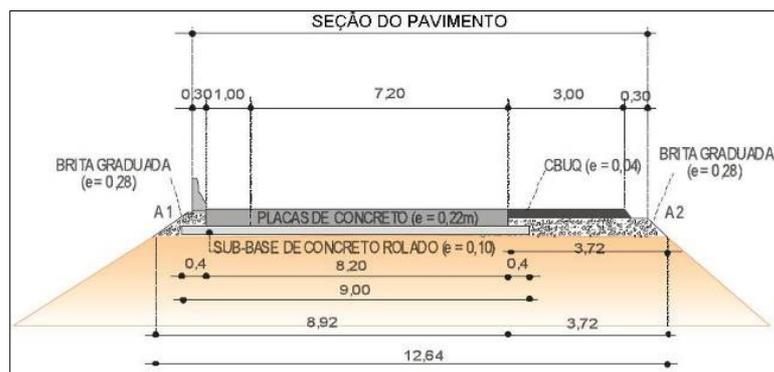


Figura 2. Seção-tipo do pavimento de concreto

As dimensões definidas em projeto para as placas de concreto foram 22 cm de espessura, duas faixas de tráfego com 3,60m de largura, um faixa de segurança de 1,00m de largura, e acostamento de 3,00m em CBUQ com 4 cm de espessura, com comprimento da placa de 6,00m (Figura 3).

Nas juntas transversais espaçadas a cada 6,0m, são utilizadas barras de transferência com aço CA-25, diâmetro de 25mm e comprimento de 46cm, com 25cm pintada e engraxada e espaçamento entre elas de 30cm.

Nas juntas longitudinais de articulação são utilizadas barras de ligação com aço CA-50, diâmetro de 12,5 mm e comprimento de 85 cm, com espaçamento entre elas de 75 cm, as barras de transferência e de ligação devem ficar na linha neutra da placa de concreto (Figura 4).

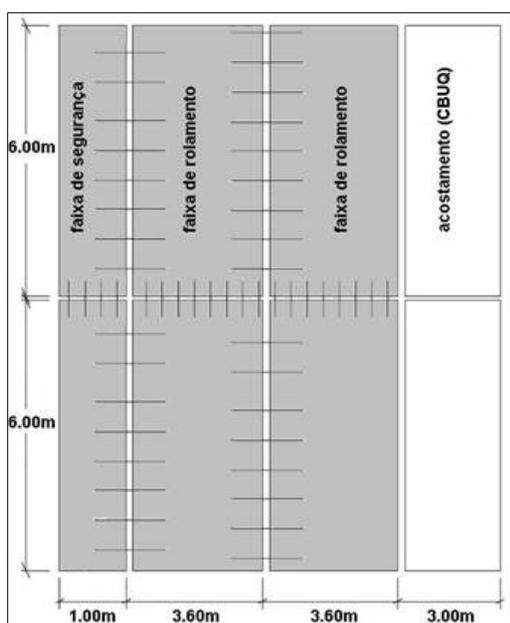


Figura 3. Dimensões das placas de concreto

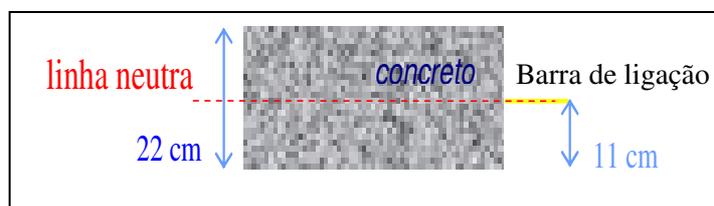


Figura 4. Posição das barras na placa de concreto

No projeto do traço de concreto simples – CS (Tabela 1) é definida a resistência à tração na flexão do concreto aos 28 dias em 4,5MPa e o concreto compactado com rolo (CCR) em 1,8MPa (ver Figura 5, que mostra a execução do pavimento).

Os volumes são os seguintes:

- . Concreto para placa – 88.436 m³
- . Concreto compactado com rolo – 43.533 m³

Tabela 1. Traço do concreto simples – LOTE 06

MATERIAIS	UNIDADES	LOTE 06
		TRAÇO – PLACA
Cimento CII F-32	kg	392
Areia Natural	kg	606
Brita 9,5/25	kg	549
Brita 19/31,5	kg	671
Água	l	176
Aditivo	kg	3,29
Relação A/C	-	0,45
Teor de Argamassa	%	45,0
Abatimento ("Slump Test")	mm	60±10

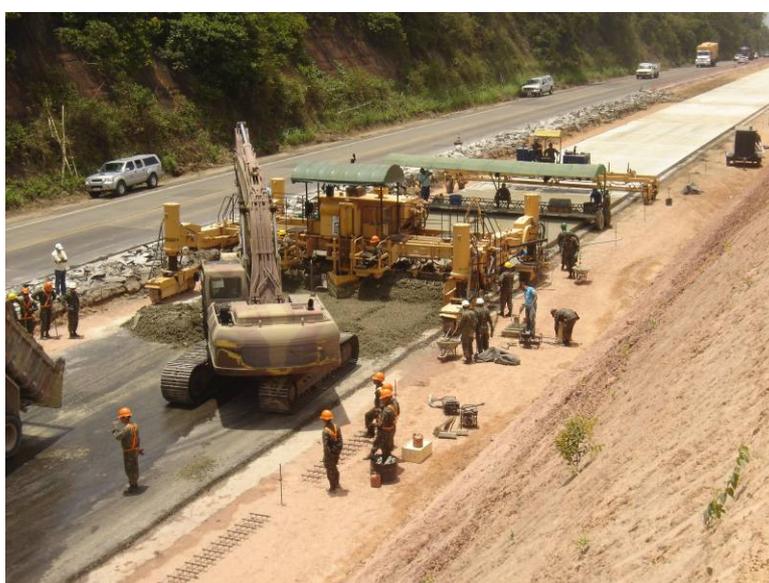


Figura 5. Execução do pavimento de concreto

4. JUNTAS EM PAVIMENTOS DE CONCRETO

Os pavimentos de concreto estão sujeitos ao aparecimento de fissuras transversais e longitudinais, provocadas pelas variações volumétricas do concreto e pela combinação dos efeitos do empenamento restringido das placas e das solicitações do tráfego.

Existem dois dispositivos de controle destas fissuras nos pavimentos de concreto:

- a) emprego de armadura distribuída, sem função estrutural;
- b) adoção de seções artificialmente enfraquecidas (juntas), de preferência uniformemente espaçadas ao longo do comprimento do pavimento, de modo a forçar a ocorrência das fissuras em locais previamente determinados, caracterizando o pavimento de concreto com juntas ou pavimento de concreto simples.

As juntas podem ser:

- Transversais: são construídas no sentido da largura da placa de concreto, sendo os tipos principais, quanto à sua serventia:

- de retração (ou contração);

- de retração com barras de transferência;
- de construção;
- de expansão (ou dilatação).

- Especiais:

- Juntas de construção longitudinais e transversais;
- Juntas de expansão.

- Longitudinais: são empregadas para o controle das fissuras longitudinais devidas ao empenamento da placa de concreto, podem ser:

- Juntas Longitudinais de Articulação;
- Juntas Longitudinais de Articulação com Barras de Ligação, sendo empregada nas mesmas funções da junta longitudinal de articulação, justificando a colocação do dispositivo de ligação quando houver necessidade de se manter as faixas de tráfego livres de possíveis movimentos laterais.

Os Tipos de inserção das barras de ligação podem ser:

- Manual, conforme mostrado na Figura 6.



Figura 6(a). Inserção através de suporte de apoio.

- Automático, de acordo com a Figura 7.



Figura 7(a). Insersor automático lateral.



Figura 7(b). Inserção automática central.

5. ESTUDOS E ANÁLISES: POSICIONAMENTO VERTICAL DAS BARRAS DE LIGAÇÃO

Estes estudos foram realizados com a finalidade de sugerir um limite admissível no deslocamento vertical das barras de ligação, que são inseridas de maneira automática pela pavimentadora de formas deslizantes, na execução do pavimento rígido, na obra de Adequação da Capacidade de Tráfego da BR 101 / PE, Lote – 6.

Fatores que podem afetar o posicionamento das barras de ligação na inserção automática pela pavimentadora de formas deslizantes são:

- Regulagem do equipamento de inserção das barras de ligação;
- “Slump” do concreto no momento de lançamento;
- Frequência dos vibradores da pavimentadora.

✓ Estudos e análises estruturais

Balbo (2007) realizou estudos do comportamento estrutural ou tensional das placas de concreto construídas conforme os padrões da obra para determinação de condições críticas de sollicitação do concreto, e eventualmente de aço nas juntas longitudinais.

Buscaram-se dados e informações relacionados aos detalhes de execução, estudos de módulo de elasticidade do concreto de maneira que as simulações e análises estruturais refletissem de melhor maneira a realidade de pista.

A área de aço necessária de barras de ligação por metro de comprimento de uma junta longitudinal, de acordo com ABCP – ET 13 , é dada pela seguinte expressão:

$$A_S = \frac{b \times f \times \gamma_c \times h}{100 \times S} \quad (1)$$

onde:

A_s : área de aço, cm²/m;

b : distância entre a junta considerada e a junta livre mais próxima, m;

f : coeficiente de resistência entre a placa e a sub-base, geralmente 1,5;

γ_c : peso específico do concreto, igual 24000 N/m³;

h : espessura da placa, m;

S : tensão admissível no aço, em geral 2/3 da tensão de escoamento, MPa.

Adotando-se os valores para b , f , γ_c , h e S iguais a 3,6; 1,5; 24000; 0,22 e 435 (BALBO, 2007), chega-se a $A_s = 0,655$ cm²/m.

Como as barras de ligação em emprego na obra possuem diâmetro de 1,25cm estando posicionadas a cada 75 cm, o que representa 1,6363 cm²/m, portanto, uma área disponível, favorável à aderência, nas faces nas juntas longitudinais. Isto representa uma área por metro linear de aço disponível restante de 0,9808 cm²/m.

Os valores dos módulos de elasticidade do concreto simples (CS) e concreto compactado a rolo (CCR), seguindo ensaios feitos por Balbo (2007) foram, 30 GPa e 17 GPa, respectivamente.

Para o estudo de tensões de tração na flexão críticas nas proximidades, foi considerada a junta longitudinal central, entre duas faixas de rolamento, quando a tensão de aderência nas barras é máxima e foi realizada uma simulação com o Programa **ISLAB2000** e com o **EverFE 2.24**. Duas cargas de eixos rodoviários foram consideradas nas análises, por se

tratarem geralmente das mais críticas: os eixos de rodas duplas (ESRD) e os eixos tandem duplos (ETD), as análises pautaram-se pelas cargas máximas legais permitidas, que são de 100 kN para ESRD e de 170 kN para ETD.

Como mostrado na Figura 8, Balbo (2007) encontrou um esforço de tração por comprimento de placa de 2.827 kgf/m a 5,5 cm abaixo de linha neutra da placa, o que equivale a ¼ da altura total da placa e que somente com a área de aço disponível restante (0,981 cm²/m) temos 4.904 kgf/m, considerando a mesma barra de ligação.

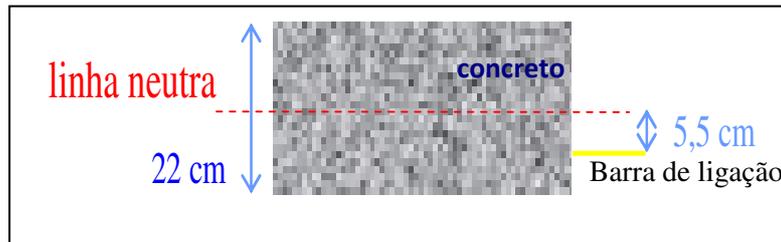


Figura 8. Barra de ligação a ¼ da altura da placa de concreto.

Pelos resultados encontrados, Balbo (2007) concluiu o seguinte:

“não há risco de ruptura das barras de ligação em função de um eventual posicionamento da mesma na zona de tração do concreto, abaixo da linha neutra de cálculo para placas não armadas, recomenda-se manter sempre as barras de ligação a uma altura mínima de 5cm do fundo da placa, considerando que não há riscos para ruptura do aço para as posições entre aquelas mencionadas.”

✓ **Ancoragem mínima das barras de ligação**

O estudo foi realizado com a finalidade de verificar as condições de ancoragem da barra de ligação, sendo todo ele pautado pela Norma ABNT 6118.

Resultados dos ensaios de resistência a tração na flexão ($f_{ct,f}$), apresentados na Tabela 2 abaixo:

Tabela 2. Resultados dos ensaios ($f_{ct,f}$)

AMOSTRA	RESISTÊNCIA A TRAÇÃO NA FLEXÃO (MPa)
1	5,2
2	4,9
3	5,2
4	5,6
5	4,6
6	4,6
7	4,0
8	4,4
MÉDIA	4,81

– l_b – comprimento de aderência básico, calculado conforme Item 9.4.2.4.

$$l_b = \phi f_{yd} / 4 f_{bd} \quad (2)$$

onde:

$$f_{bd} = n_1 n_2 n_3 f_{ctd} \text{ (Item 9.3.2.1).} \quad (3)$$

Adotando-se n_1 , n_2 , n_3 e f_{ctd} iguais a 2,25; 0,7 (a favor da segurança), 1,0 e 4,5 (a favor da segurança, pois $f_{ct,m} = 4,81MPa$); chega-se a $f_{bd} = 6,95MPa$, resultando em $l_b = 19,55 \text{ cm}$

– $l_{b \text{ nec}}$ - comprimento de ancoragem necessário, conforme Item 9.4.2.5.

$$l_{b \text{ nec}} = \alpha l_b A_{s \text{ calc}} / A_{s \text{ ef}} \geq l_{b \text{ min}} \quad (4)$$

$$l_{b \text{ nec}} = 19,55 \text{ cm.}$$

– $l_{b \text{ min}}$ - comprimento de ancoragem mínimo, sendo o maior valor entre $0,3 l_b$; 10ϕ e 100 mm; maior valor = $10 \times 12,5 \text{ mm} = 12,5 \text{ cm}$

Logo, ancoragem necessária $l_{b \text{ nec}} = 19,55 \text{ cm} \geq l_{b \text{ min}} = 12,5 \text{ cm}$, valor usado no projeto = **42,5 cm**.

✓ Resistência ao arrancamento de barras de ligação por metro de junta

A realização do ensaio de arrancamento das barras de ligação concentra-se na comprovação ou não da efetiva aderência das barras ao concreto. Foram utilizadas as orientações do Boletim Técnico TB 010-01P da ACPA – American Concrete Pavement Association, da especificação técnica do DOT do estado americano da Pennsylvania – SECTION 501.3(i)1. Tied Joints e da especificação técnica 5040-30 da FHWA – Federal Highway Administration.. Os resultados foram analisados comparativamente com a Tabela 3, recomendada pelo TB 010-01P (1991).

Tabela 3. Critério para resistência de arrancamento (TB 010-01P, 1991).

DISTÂNCIA DA JUNTA CONSTRUÍDA ATÉ O BORDO LIVRE MAIS PRÓXIMO	MÉDIA MÍNIMA DE RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE BARRAS DE LIGAÇÃO POR METRO DE JUNTA (kgf / m)
3,7 m ou menos	3.200
de 3,7m a 5,2m	4.650
Mais de 5,2 m	6.550

Para a realização do ensaio de arrancamento das barras de ligação foram construídas 3 (três) pistas-teste no canteiro de obra do 3º BECnst, sendo que para cada altura, foi executada 3 barras de ligação com intuito de garantir pelo menos um resultado confiável.

Na construção das pistas-teste foram adotados os mesmos procedimentos de construção das placas na obra. Foi utilizado, para a placa, concreto com resistência de 4,5 MPa a tração na flexão aos 28 dias, espessura de 22 cm, diâmetro da barra de ligação de 12,5 mm e comprimento de 100 cm, sendo 42,5 cm engastado na placa, de acordo com o projeto, e 57,5 cm livre. As barras foram concretadas com 15 cm a mais para a fixação do macaco hidráulico no ensaio.

Para ensaiar o comportamento das barras, foram escolhidas diversas alturas descritas a seguir, referenciadas pelo topo da placa de concreto. As barras de ligação nas alturas de h_1 até h_6 foram posicionadas perpendicularmente ao eixo da pista, enquanto para a altura h_7 foram posicionadas em um ângulo de 45° relativo ao eixo da pista. ($h_1 = 5$ cm; $h_2 = 8$ cm; $h_3 = 11$ cm; $h_4 = 14$ cm; $h_5 = 17$ cm; $h_6 = 19$ cm; $h_7 = 11$ cm).

Foi utilizado um macaco hidráulico com capacidade de 80 toneladas, área do pistão (constante de fábrica) de 132 cm^2 e manômetro com capacidade de 700 kgf / cm^2 .

A concretagem das pistas-teste foi realizada no dia 28 de junho de 2007 e os ensaios nos dias 31 de julho e 2 de agosto de 2007, conforme mostra Figura 9.



(a)



(b)

Figura 9. (a) Concretagem da pista-teste, (b) Controle tecnológico do concreto.

A resistência de arrancamento R por metro de junta (kgf./m) é calculada de acordo com a especificação da ACPA como a razão entre a força F (kgf.) aplicada e o espaçamento das barras de ligação (0,75 metros) em metros (v. Figura 10, que mostra os resultados do ensaio de arrancamento).

$$R = F / 0,75 \text{ (kgf/m)} \quad (5)$$



(a)



(b)

Figura 10. (a) Barra de ligação na posição $h_6 = 19$ cm (8 cm da linha neutra) após ensaio de arrancamento e (b) Verificação da efetiva aderência da barra de ligação na placa de concreto.

A Tabela 4 - apresenta os resultados do ensaio das barras de ligação. A barra de ligação $h_7 - 2$ não foi levada a ruptura em função da ruptura do apoio de *grout*.

Tabela 4 – Resultado do ensaio de arrancamento das barras de ligação.

Barra de Ligação		R – kgf / m	R – Médio kgf / m
$h_1 = 5$ cm	1	19.360	18.187
	2	17.600	
	3	17.600	
$h_2 = 8$ cm	1	17.600	17.600
	2	17.600	
	3	17.600	
$h_3 = 11$ cm	1	14.080	16.427
	2	17.600	
	3	17.600	
$h_4 = 14$ cm	1	17.600	17.600
	2	17.600	
	3	17.600	
$h_5 = 17$ cm	1	14.080	17.013
	2	17.600	
	3	19.360	
$h_6 = 19$ cm	1	19.360	18.187
	2	17.600	
	3	17.600	

h ₇ = 11 cm	1	17.600	15.840
	2	14.080	

Com base nas informações obtidas dos ensaios de arrancamento das barras de ligação das pistas-teste, pode-se concluir que a resistência de arrancamento mínima recomendada pela especificação da ACPA de 3.200 kgf / m é atendida com folga em todas as posições e alturas das barras ensaiadas.

6. CONCLUSÃO

Com relação aos limites tolerados para o deslocamento vertical das barras de ligação, quando inseridos automaticamente pelas vibroacabadoras de formas deslizantes, pode-se citar:

- “... um dos critérios é que as barras de ligação não devem estar mais próximos que **50 mm** do topo ou do fundo da placa para evitar destacamento do concreto...” **Prof. Lev Khazanovich**, pesquisador americano da FHWA, publicado na Revista CONCRETO de janeiro de 2007.
- “Existe um consenso no meio técnico internacional, principalmente nos EUA, de que o deslocamento vertical das barras de ligação, desde que se tenha cobertura mínima de 38,1 mm e 50,8 mm, não é causa de patologia comprovada nos pavimentos de concreto.” **Eng. Marcos Dutra** – ABCP, sobre relatório técnico da FHWA.

Em função das dificuldades no estabelecimento claro de critérios para limites de deslocamentos verticais de barras de ligação nas normas brasileiras vigentes (ABNT e DNIT) e considerando os resultados obtidos nos estudos e análises sobre o posicionamento vertical das barras de ligação, sugere-se um limite de 25,4 mm (em relação à linha neutra) no deslocamento vertical de posicionamento da barra de ligação.

7. BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 049/2004 – **ES: Pavimento Rígido – Execução de pavimento rígido com equipamento de forma deslizante**. Brasília, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. ABCP – **ET-13: Projeto de Juntas em Pavimentos Rodoviários de Concreto**. São Paulo, 1998.

Blabo, J. T. “Efeito de tensões no aço das barras de ligação em função de sua posição em relação à profundidade da placa de concreto no trecho em construção da BR-101/NE em execução pelo Exército Brasileiro”, Parecer Técnico a ABCP de junho de 2007

Dutra, Eng. Marcos. **Barras de ligação – Limites de Deslocamento Vertical**, Parecer Técnico ao 3º BECnst, novembro de 2007.

TB 010-01P, “**Design and Construction of Joints for Concrete Highways**”, ACPA – American Concrete Pavement Association, Skokie, 1991.

“**Concrete Pavement Joints**”, Technical Advisory 5040.30, FHWA – Federal Highway Administration, Washington D.C., 1990.

“**Technical specification – SECTION 501.3(i) 1. Tied Joints**”, DOT of Pennsylvania, 2000.