



MODELAGEM DE LAJES ALVEOLARES COM A UTILIZAÇÃO DE CONCRETO COM FIBRAS METÁLICAS E CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

E. M. R. FAIRBAIRN

eduardo@coc.ufrj.br

CT-Ilha do Fundão, 21941-916, Rio de Janeiro-RJ, Brazil;

G. C. CORDEIRO

gcc@uenf.br

Av. Alberto Lamego 2000, 28013-602, Rio de Janeiro, Campos dos Goytacazes ,Brazil;

W.A.P.BETTIN

wapinere@hotmail.com

CT-Ilha do Fundão, 21931-420, Rio de Janeiro-RJ, Brazil;

Resumo.

Neste trabalho foi desenvolvido e caracterizado um concreto de alto desempenho de 50 MPa, com cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) substituindo 15% (em massa) o cimento, e reforço com 1% em volume de fibras metálicas. O material foi dosado com o uso do programa Bétonlab Pro3® que baseia-se no modelo de empacotamento compressível. Os parâmetros necessários a uma modelagem numérica baseadas na mecânica da fratura não-linear, notadamente a energia específica de fratura G_f , foram determinados em laboratório. Foi então estudada, no código comercial FX+FOR DIANA, uma laje alveolar hipotética, para que fossem analisados os benefícios introduzidos pelo material desenvolvido em comparação com um concreto não fibroso. Sabendo-se que as lajes alveolares, em vista do processo construtivo de extrusão, não permitem a introdução de armaduras transversais, o problema simulado correspondeu a um ensaio típico de cisalhamento. Os resultados indicaram que o concreto fibroso com CBCA melhora consideravelmente as características estruturais das lajes alveolares. Ressalta-se que esta melhoria só é possível ser simulada com o emprego de um modelo computacional sofisticado já que as normas atuais não incluem as características benéficas do concreto fibroso.

Palavras-Chave: Cisalhamento, Fratura, Fibras, Modelagem computacional.

1 INTRODUÇÃO

A laje alveolar é uma laje pré-moldada de concreto protendido, constituída de alvéolos longitudinais e cordoalhas de protensão em todo o seu comprimento como única armadura longitudinal que pode ser colocada na parte inferior ou superior da laje. É utilizada para vencer vãos de 3 a 20 m. A Norma Brasileira NBR 14861 define a laje alveolar como peça de concreto produzida industrialmente, fora do local de utilização definitiva, sob-rigorosas condições de controle de qualidade. As lajes alveolares caracterizam-se por ausência de armadura transversal de cisalhamento, já que o processo construtivo por extrusão não permite a introdução destas armaduras.

O sistema de fabricação (extrusão ou deslizante) das lajes alveolares protendidas é caracterizado principalmente pela rapidez de execução e montagem. A presença dos alvéolos reduz o consumo de material e o peso da estrutura, permitindo também abrigar dutos para redes elétricas ou hidráulicas, melhorando o aproveitamento dos espaços, desde que devidamente posicionados nas peças, além de terem excelentes propriedades térmicas e acústicas. A Figura 1 apresentam montagem da laje alveolar protendida.

De acordo com o *Canadian Prestressed Precast Concrete Institute* (CPCI, 2010), a grande vantagem da utilização de painéis alveolares como lajes se deve à redução do volume de concreto devido aos alvéolos mantendo a altura útil da seção. Além disso, por serem protendidos, estes elementos conseguem vencer grandes vãos com economia.



Figura 1. Posicionamento da laje alveolar.
(Fonte: < <http://www2.cassol.ind.br> >. Acesso em: 27 de ago. 2012).

Apesar de toda essa possibilidade de industrialização e aplicação no setor da engenharia civil, as lajes alveolares protendidas têm um processo de produção por extrusão que impossibilita o posicionamento de armadura transversal antes da concretagem. A não existência de estribos apresenta grande problema para combater a força cortante. Desta forma, é necessário um estudo minucioso sobre o dimensionamento de lajes alveolares protendidas para verificação da sua capacidade resistente à força cortante.

No presente artigo desenvolver e caracterizar um concreto com fibras metálicas e cinzas de bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) e utilizá-lo como material de construção para uma laje alveolar.

Para tal são realizados ensaios de laboratório para determinar as principais características do material que em seguida servem como entrada de dados para uma modelagem computacional da laje até à ruptura. As fibras metálicas possibilitam que o cisalhamento seja resistido por um material que sua introdução no processo de extrusão.

A CBCA, utilizada em substituição ao cimento, contribui para a redução das emissões de CO₂ para a atmosfera, imprimindo sustentabilidade às construções (FAIRBAIRN, et al, 2010).

2 MATERIAIS E PROGRAMA EXPERIMENTAL

Neste item são apresentados os materiais utilizados e os ensaios mecânicos que se referem à resistência a compressão e tração na flexão de concretos reforçados com fibras metálicas e CBCA. O ensaio à compressão foi realizado conforme especificado pela NBR 5739/2007 e para determinação dos parâmetros da mecânica da fratura foi utilizado o ensaio de tração na flexão recomendado *RILEM TC50-FMC* (1985).

2.1 Materiais utilizados

O concreto reforçado com fibras de aço foi dosado a partir de um traço prévio utilizado, considerando um concreto inicial de resistência à compressão aos 28 dias (f_{cm28}) de 60 MPa. Quando da utilização de reforço fibroso de aço, a dosagem foi realizada com a substituição de cada material constituinte do concreto pelo volume correspondente ocupado pelo reforço fibroso. Uma substituição de 15% da massa cimento por CBCA e inclusão de fração volumétrica de 1% de fibras metálicas Dramix RC 65/35 BN Classe 65, com resistência à tração de 1.150 MPa, formato retilíneo e gancho em suas extremidades. Essas fibras possuíam comprimento de 35 mm, diâmetro de 0,54mm e relação de aspecto igual a 65. Produzindo assim a mistura final, denominada como CFR1S15 (concreto fibroso reforçado com 1% de fibra e substituição 15% de CBCA). A composição da mistura está mostrada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição dos concretos de alto desempenho.

Mistura	Materiais (kg/m ³)							
	Cimento Portland	Areia	Brita	CBCA	Fibras Dramix	SP*	Água	VMA**
CRF1S15	391,55	803,2	997,82	69,10	78,00	9,47	159,10	2,35

2.3 Ensaios mecânicos no concreto

Os ensaios mecânicos que se referem à resistência a compressão e tração na flexão de concretos reforçados com fibras metálicas e CBCA. O ensaio à compressão foi realizado conforme especificado pela NBR 5739/2007 e para determinação dos parâmetros da mecânica da fratura foi utilizado o ensaio de tração na flexão recomendado RILEM TC50-FMC (1985).

2.3.1 Resistência à compressão

Os ensaios a compressão são apresentados na Figura 2, mostra as curvas típicas de tensão-deformação obtidas através do ensaio de resistência à compressão, para o concreto reforçado com fibras metálicas e CBCA, nas idades de 7, 21 e 28 dias de curas.

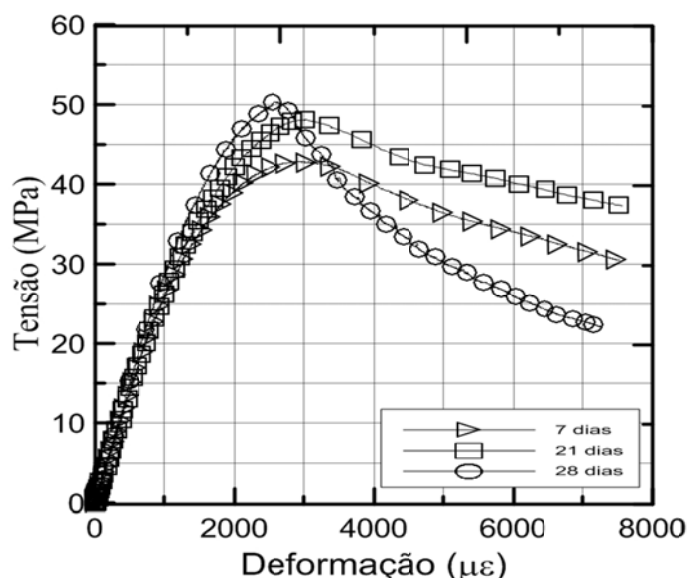


Figura 2. Curvas tensão-deformação típicas à compressão do concreto reforçado com fibras metálicas e CBCA.

Os resultados médios da resistência à compressão (f_{cm28}), módulo de elasticidade (E) e coeficiente de Poisson (μ), são apresentados na Tabela 2. O concreto CRF1S15 está de acordo com a resistência requerida.

Tabela 2. Valores médios das propriedades mecânica da resistência à compressão aos 28 dias do concreto reforçados com fibras metálicas e CBCA.

Mistura	Resistência à Compressão	Módulo de Elasticidade	Coeficiente de Poisson
	f_{cm} (MPa)	E (GPa)	μ
CRF1S15	49,7 ($\pm 3,5$)	29,2 ($\pm 2,2$)	0,2 ($\pm 0,006$)

2.3.2 Resistência à tração na flexão

A determinação dos parâmetros de resistência do concreto reforçado com fibras metálicas foi realizada através de ensaios experimentais especificados pelo comitê RILEM (*International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures*). Essa metodologia adota ensaio a flexão através de controles de carga e deslocamento, com forças em três pontos de uma viga com entalhe na metade do vão, na face inferior da viga.

O entalhe da viga de 100x100x400 mm³ foi feito através de corte seco usando um disco adiamantado de 2,0 mm de espessura e 17 mm de altura. A Figura 3 apresenta o entalhe realizado.

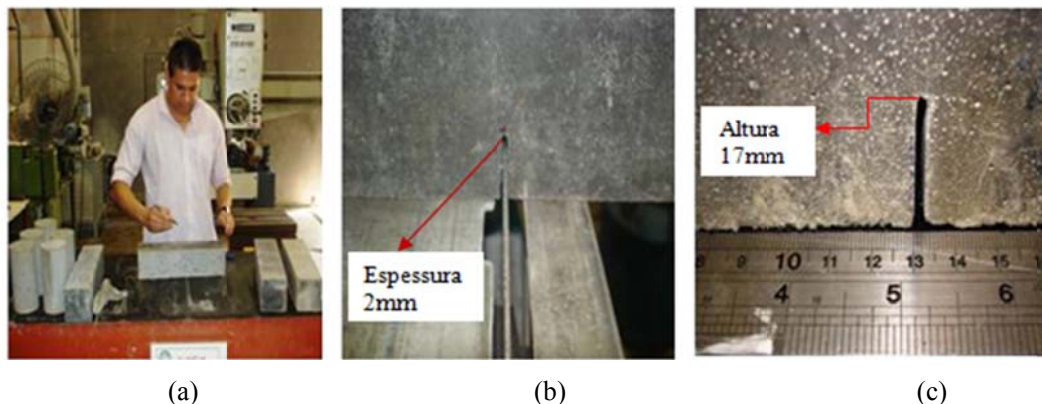


Figura 3. Entalhe da viga a) marcação das vigas; b) corte com disco adiamantado de e c) Espessura entalhe 2 mm e altura de 17mm.

Os ensaios de tração na flexão nas vigas foram realizados com velocidade de carga aplicada de 0,1 mm/min. O ensaio foi realizado sob controle de deflexão vertical, que foi medida diretamente por um transdutor de deslocamento (LVDT). A Figura 4 mostra o processo de ensaios de tração na flexão e corpos de prova após a ruptura.

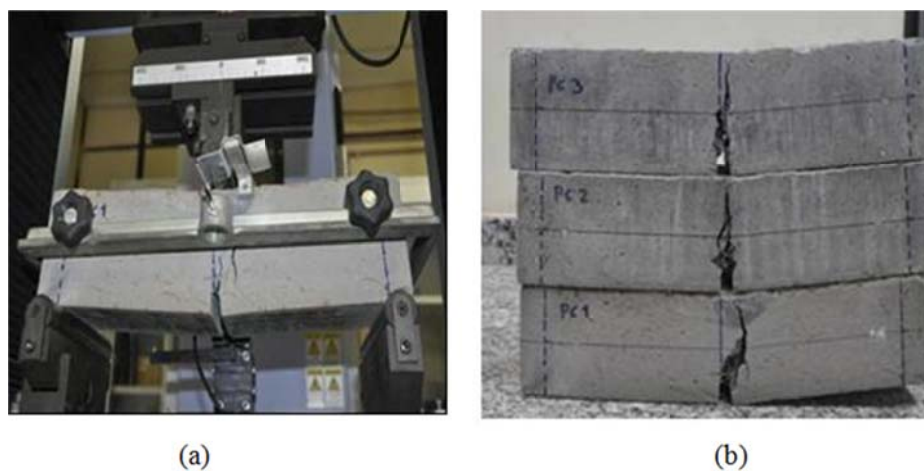


Figura 4. a) Sistema de aplicação de carga e a apresentação das Fissuras em processo de ensaio e b) Mostra modo de ruptura das vigas.

Os resultados do ensaio mostram as Curvas carga versus deslocamento aos 94 dias dos corpos de prova do concreto reforçado com 1,0% de fibra metálica e CBCA estão apresentadas na Figura 5.

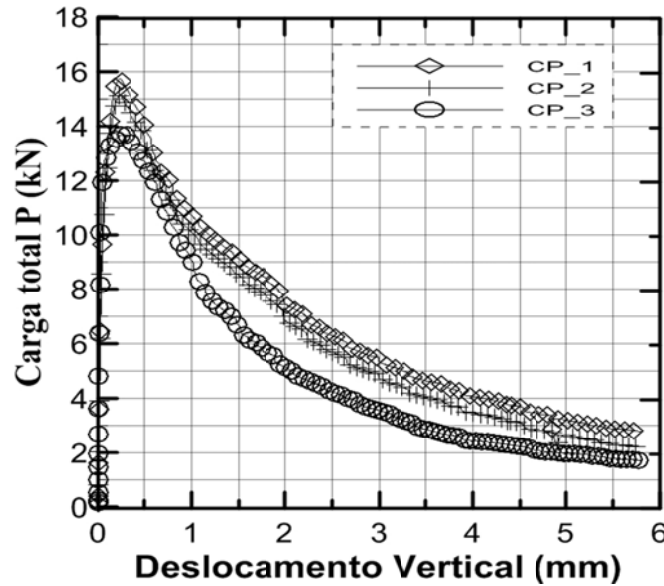


Figura 5. Curvas Carga-Deslocamento vertical concreto reforçado com fibras metálicas e CBCA.

Os valores médios dos parâmetros de fratura das vigas, calculados a partir de ensaio da resistência à tração na flexão (ensaio das vigas em três pontos), das curvas de carga e deslocamento, obtidos aos 94 dias de idade, estão apresentados nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3. Valores de energia de fratura (G_f) aos 94 dias do concreto reforçado com fibras metálicas e CBCA.

Corpos de Prova	Energia Absorvida	Massa da Viga	Deslocamento na ruptura	Área ligada	Energia de fratura
	W_0 (N.mm)	m (Kg)	δ_0 (mm)	A_{lig} (mm ²)	G_f (N/mm)
CP_1	39.138,28	9,70	5,80	8,30	4,78
CP_2	35.599,88	9,65	5,80	8,30	4,36
CP_3	29.398,22	9,62	5,80	8,30	3,61
$G_{f_m\acute{e}dia}$					4,25 ($\pm 0,6$)

Tabela 4. Valores de resistência à tração (ft) aos 94 dias do concreto reforçado com fibras metálicas e CBCA.

Corpos de Prova	Carga máxima	Tração na flexão máxima	$\frac{f_{net}}{f_t}$	$\frac{E G_F}{f_t^2}$	Resistência à tração
ϕ	P_{max} (N)	f_{net} (N/mm ²)	Adimensional	(mm)	f_t (N/mm ²)
CCP_1	15.735,28	11,99	1,85	0,085	6,48
CCP_2	15.125,28	11,53	1,85	0,086	6,23
CCP_3	13.701,14	10,44	1,85	0,085	5,64
$f_{t_m\acute{e}dia}$					6,12 ($\pm 0,4$)

3 MODELAGEM COMPUTACIONAL

Para o estudo do projeto da Laje Alveolar utilizou-se o programa FX + DIANA 3.0.0 (*Displacement Method Analyser*).

Este programa é baseado no Método dos Elementos Finitos, com múltiplos recursos, com diversos modelos de não linearidade física e geométrica e extensa biblioteca de elementos, que vem sendo desenvolvido na Universidade de Delft desde 1972. As aplicações do FX + DIANA às estruturas de concreto incluem: fissuração, modelos de plasticidade, modelos de fluência, análise de compósitos, análises térmicas, comportamento do material dependente da temperatura e modelos de reforço (armaduras).

Os métodos iterativos disponíveis no programa FX+DIANA são os métodos de rigidez Constante, método da rigidez Linear, método Newton-Raphson e o método Secante, de acordo com algoritmo de BFGS, Broyden e Crisfield. Para superar alguns problemas que surgem em análises não-lineares, o programa FX + DIANA combina método iterativo com os métodos de line search e o método de arc length control.

O método iterativo utilizado para a modelagem da laje alveolar foi o método da secante, com algoritmo *Crisfield*, combinado com o método line search. O método “*Line search*” acelera a convergência do processo iterativo através do cálculo de um multiplicador ótimo para o campo dos deslocamentos incrementais e é extremamente útil quando os processos ordinários de iteração não são suficientes.

Os modelos de amolecimento do material sob tração disponíveis são : Frágil, linear, multi-linear, não-linear de Moelands-Reinhardt e de Hordijk. (Manual DIANA 9.3).

Para modelar o concreto fibroso da Laje alveolar, foi utilizada uma curva de amolecimento do material de acordo com o modelo Hordijk.

Os modelos de endurecimento utilizados para o comportamento a compressão disponíveis no programa FX+DIANA são: elástico, ideal, Thorenfeldt, bilinear, multilinear, saturação e parabólico.

Para modelar o concreto fibroso da Laje alveolar protendida foi utilizado o modelo *Druccker Prager* (ideal). Os parâmetros de entrada necessários são o ângulo de atrito interno do material (ϕ) e a coesão (C), sendo assumido para ângulo de atrito o valor de 30° (Valor típico para concreto) e para a coesão o valor de $14,34 \text{ N/mm}^2$, obtida pela equação 1.

$$C = \frac{1 - \text{Sen } \phi}{2 \times \cos \phi} \quad (1)$$

3.1 Parâmetros de entrada em análises não-lineares

A Tabela 5 apresenta os parâmetros de entrada para análises não-lineares para as propriedades do concreto com fibras metálicas, introduzido no *Mesh Editor*.

Tabela 5. Entrada de Dados *Mesh Editor* de FX+DIANA

Propriedades do Concreto	

Mesh Editor de FX+DIANA	
Parâmetros	Valor
<i>YIELD</i>	<i>Drucke</i>
<i>YLDVAL</i>	14,34 ; 0,50
<i>CRACK</i>	1
<i>CRKVAL</i>	6,12
<i>BETA</i>	0,20
<i>Gf</i>	4,25
<i>TENSIO</i>	5
<i>TENVAL</i>	3 ; 6,93

3.2 Modelagem da laje alveolar

A laje alveolar foi analisada utilizando plano de simetria e sendo simulados o modo de ruína do elemento e o panorama de fissuração.

Foi utilizado o elemento HX24L de 8 de nós de um sólido para concreto, com malha de 32.567 elementos finitos. Para obter a curva carga versus deslocamento vertical, se aplicou um deslocamento vertical total de 10 mm a uma distância de $2.5 h$ do apoio.

Para os apoios e a aplicação da transferência de deslocamento para a laje alveolar são consideradas barras metálicas posicionadas sob e sobre a laje com continuidade de deformações nos nós comuns com a laje. A laje foi modelada com a consideração de um plano de simetria paralelo ao plano $x - z$. As Figuras 6 e 7 apresentam o modelo da laje alveolar.

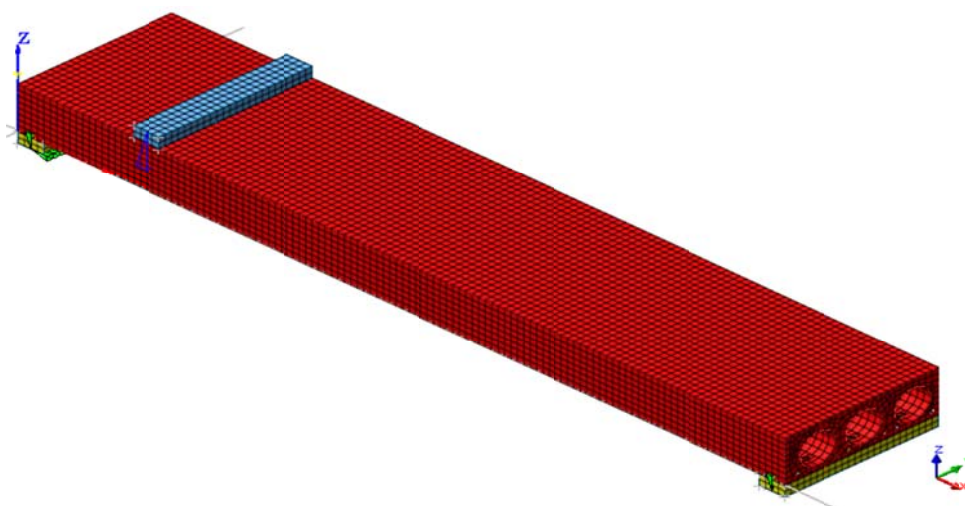


Figura 6. Perspectiva do modelo da laje.

A Figura 7 mostra uma vista lateral da laje, onde a distância do centro da carga ao centro do apoio mais próximo é de 500 mm. Os deslocamentos são aplicados sobre a chapa de aço de tal forma que são igualmente distribuídos ao longo da largura da laje.

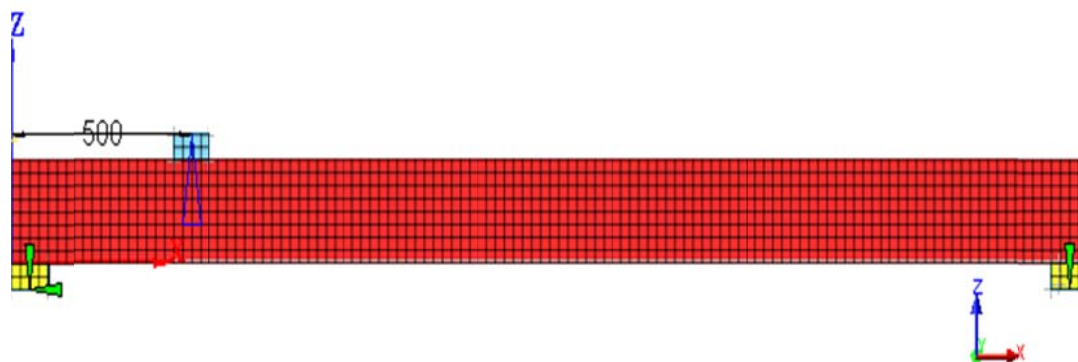


Figura 7. Vista lateral da laje.

3.2.1 Resultados da laje alveolar para concreto sem fibras

Para concreto sem fibras utilizou-se $G_f = 0.104$ N/mm e $f_t = 3.3$ N/mm² (54% da resistência na flexão do concreto com fibras de aço). O carregamento foi aplicado através de incremento de deslocamento vertical até atingir a ruptura da laje, utilizando-se como critério de convergência a norma de deslocamentos. O método iterativo para a análise não linear foi o método secante. Adicionalmente ativou-se a opção “line search”.

O deslocamento aplicado foi de 10 mm, para tamanho de passo de carregamento de 0,025 vezes 10 mm. A Figura 8 relaciona as reações de apoio com os deslocamentos aplicados.

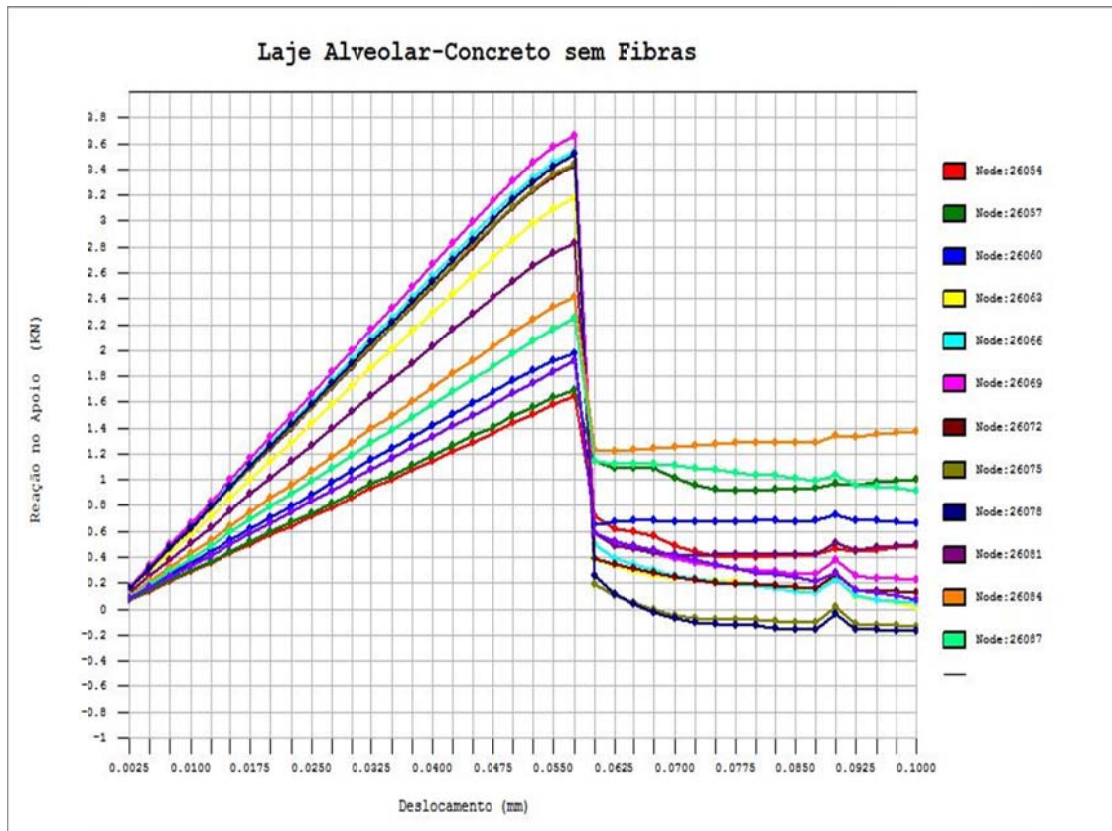


Figura 8. Reações de apoio versus deslocamento aplicado.

A soma das reações de apoio duplicada para que seja considerada a simetria é mostrada no gráfico da Figura 9. Indicada a primeira fissuração no concreto que se do ponto **A** com uma carga de 60,48 kN deslocamento de 0,475 mm. Nesta Figura são marcados também os pontos **B** e **C** para os quais serão apresentadas os esquemas de fissuração.

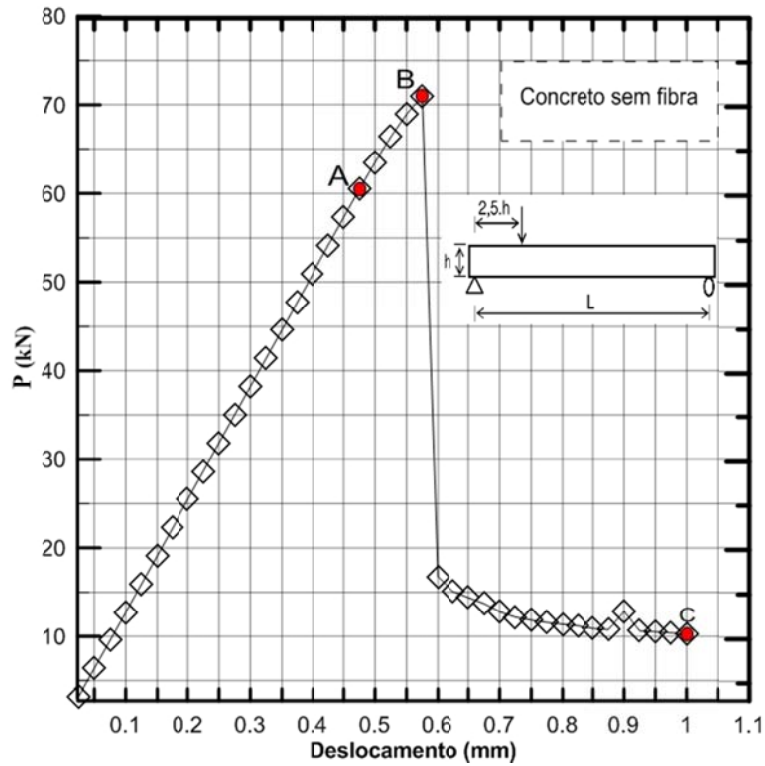


Figura 9. Total de reações de apoio versus deslocamento aplicado.

Nas Figuras 10 e 11 são mostradas as fissuras para a carga nos pontos **B** e **C**. A Figura 12 apresenta um corte transversal das fissuras representadas em forma de discos segundo a saída gráfica do programa FX+DIANA para o ponto **B**.

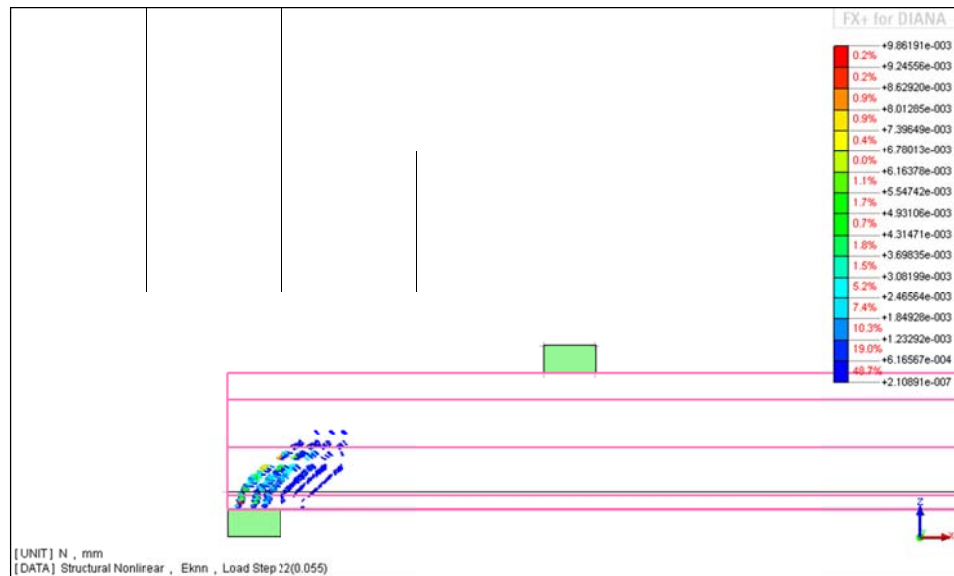


Figura 10. Seção longitudinal das fissuras para carga no ponto B da curva da Figura 9.

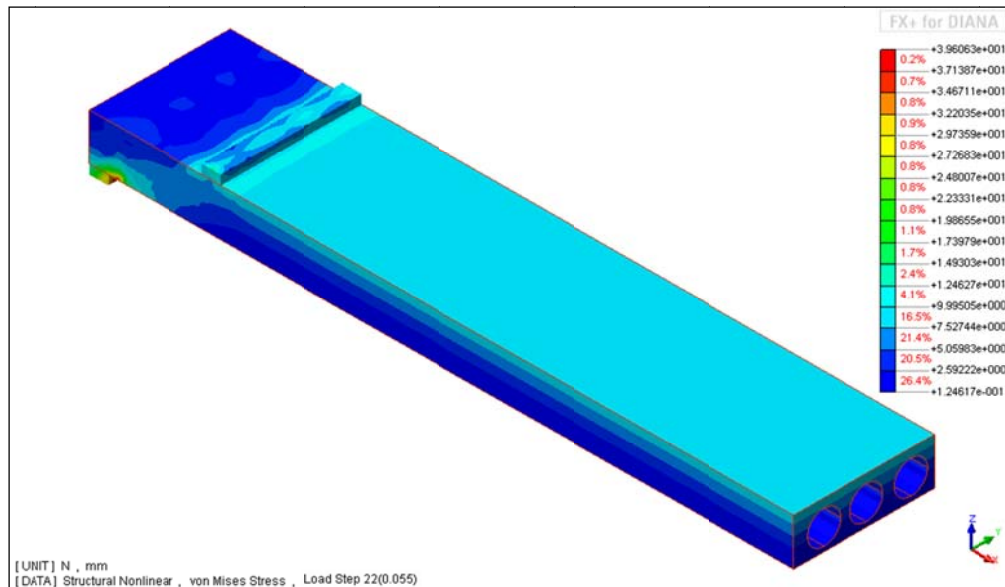


Figura 13. Tensão principal da carga em ponto B.

3.2.2 Resultado da laje alveolar protendida para concreto com fibras de aço e CBCA.

Para concreto com fibras utilizou-se $G_f = 4,25 \text{ N/mm}$ e $f_t = 6,12 \text{ N/mm}^2$ obtidos experimentalmente. A Figura 14 mostra um gráfico, onde são apresentadas todas as reações de apoio versus incremento de carga a cada 0,0075 vezes 10 mm, com um total de 30 incrementos.

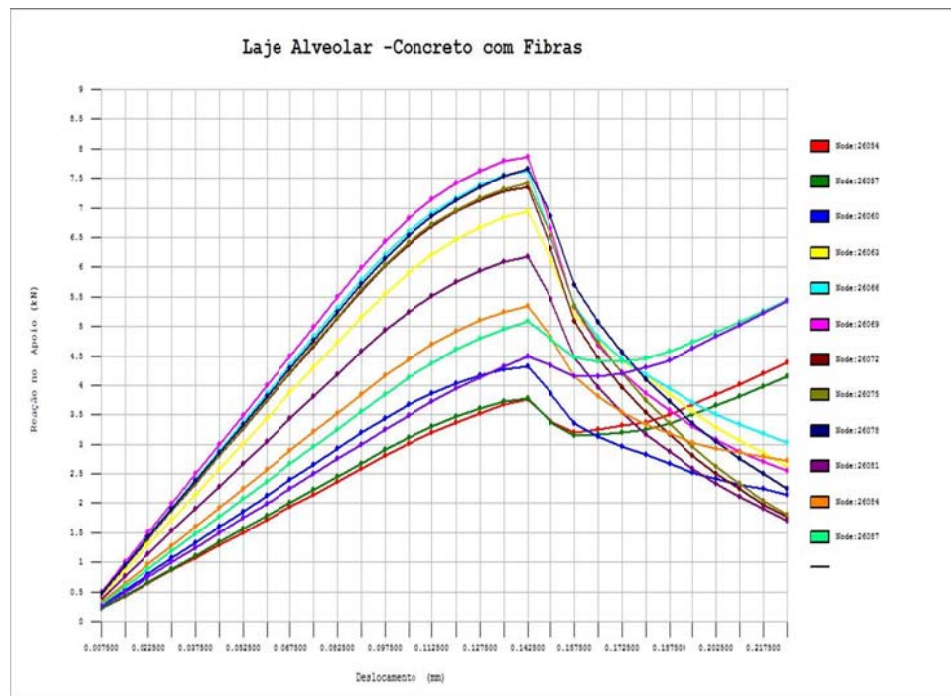


Figura 14. Reações de apoio versus incremento de carga do Programa FX+DIANA.

A soma das reações de apoio duplicando todas as reações, para considerar a simetria é mostrada na Figura 15.

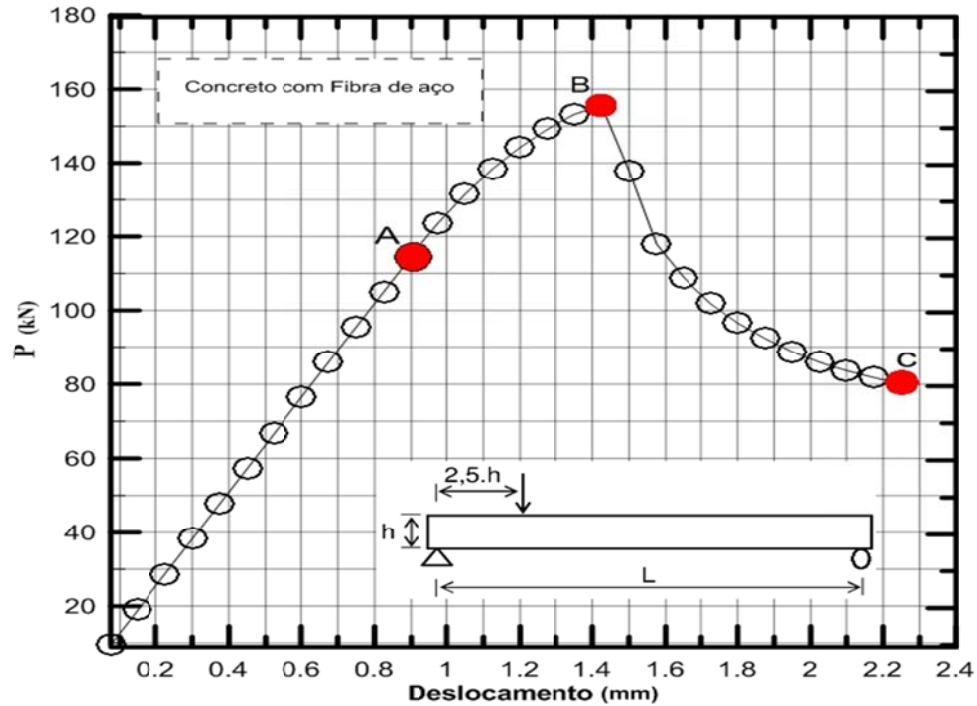


Figura 15. Total de reações de apoio versus deslocamento.

A Figura 15 mostra o início da primeira fissura no concreto que se dá no ponto A a uma carga de 114,56 kN com valor de deslocamento de 0,9 mm. Os pontos B e C indicam cargas para os quais serão apresentados esquemas de fissuração.

Nas Figuras 16 e 17 são mostradas as fissuras para a carga nos ponto B e C respectivamente. A figura 18 apresenta um corte transversal das fissuras representadas em forma de discos em ponto B.

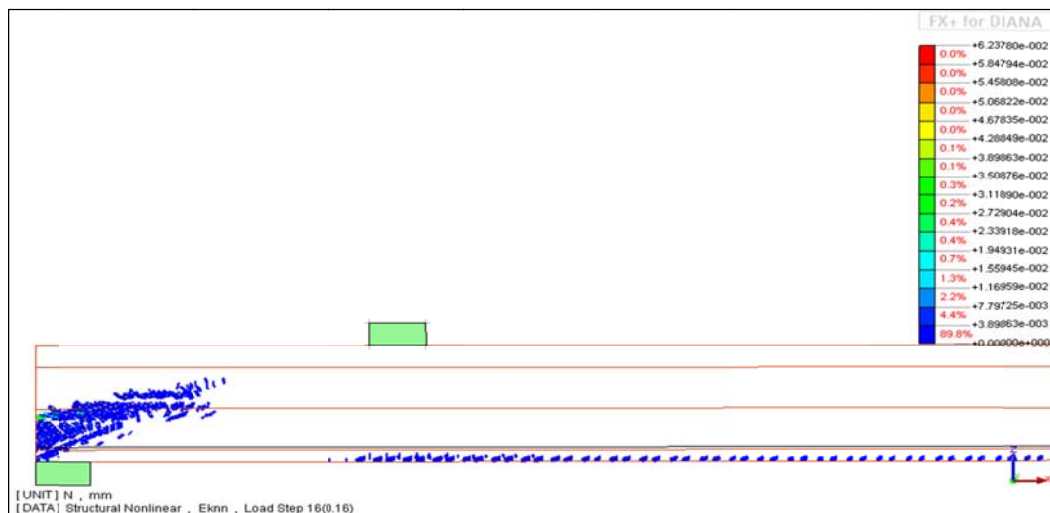


Figura 16. Seção longitudinal das fissuras para a para carga no ponto B da Figura 15.

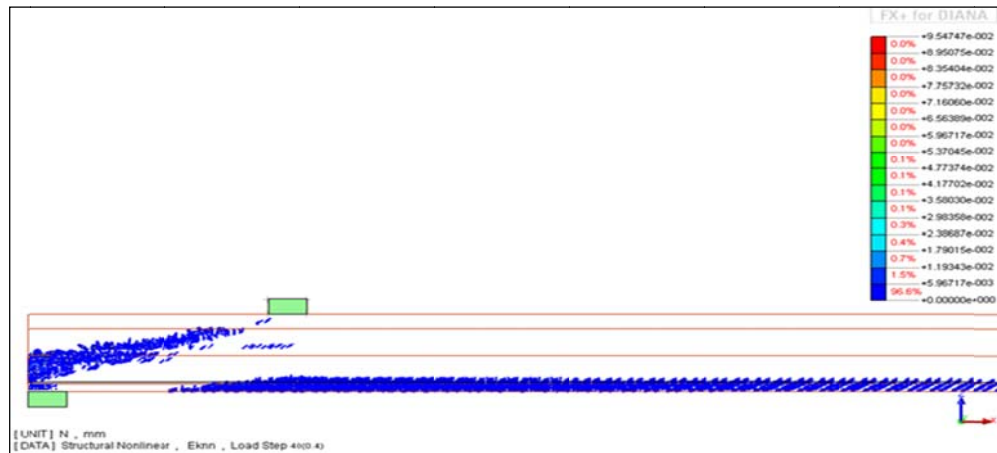


Figura 17. Seção longitudinal das fissuras para carga no ponto C da Figura 15.

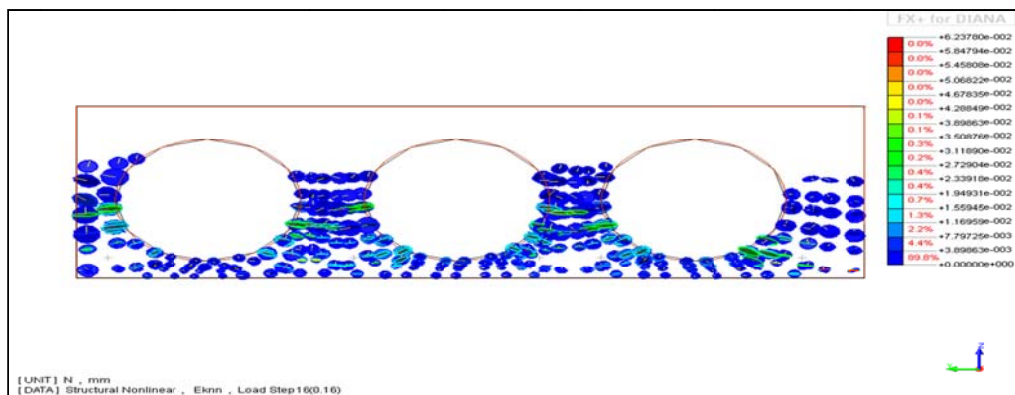


Figura 18. Corte transversal das fissuras representa em forma de discos em ponto B da Figura 15.

A Figura 19 apresenta a tensão principal, observando-se concentração de tensões diagonal induzida por cisalhamento para a carga máxima aplicada no concreto com fibras metálicas. Este comportamento é similar ao concreto sem fibra.

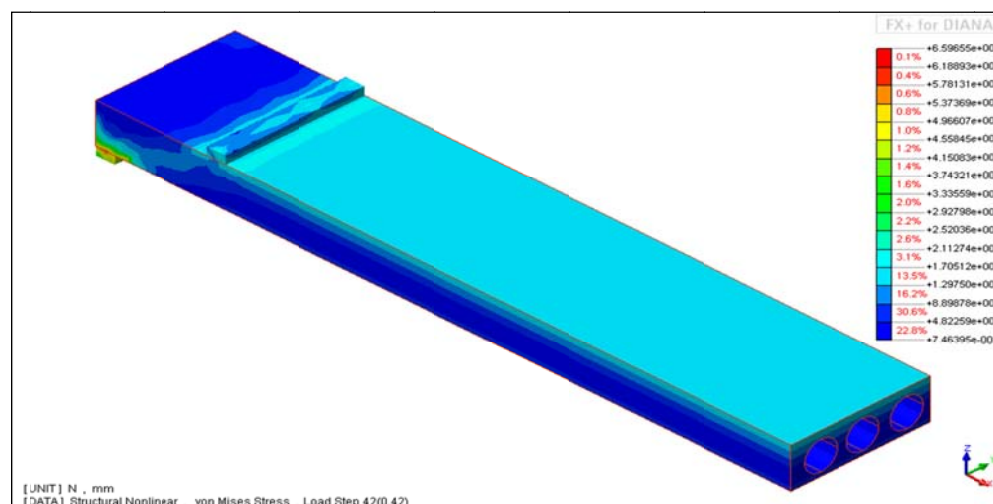


Figura 19. Tensão principal da carga máxima aplicada no concreto com fibras metálicas.

A Figura 20 mostra as curvas carga versus deslocamento para as lajes construídas com os dois tipos de concreto com e sem adição de fibra metálica. A laje com fibras atingiu uma capacidade máxima de carga de 155,64 kN, enquanto que a laje sem fibras alcançou 71,01 kN. É importante notar que não só a carga máxima é expressivamente maior, mas a capacidade de absorver energia também aumenta consideravelmente para concreto fibroso.

Com relação aos esquemas de fissuração apresentados anteriormente, para o concreto sem fibras as primeiras fissuras no ponto A se dão a um deslocamento de 0,475 mm, enquanto que o com fibras se dão com deslocamento de 0,90 mm. No ponto B, por sua vez, no concreto sem fibras as fissuras se dão a um deslocamento de 0,575 mm. No concreto com fibras isso ocorre a um deslocamento de 1,425 mm.

No ponto C, para concreto sem fibras, as fissuras se apresentam com um deslocamento de 1,0 mm, enquanto que o com adição de fibras têm um deslocamento de 2,25 mm. Assim este comportamento de fissuração é similar para ambos os concretos, observando-se que o concreto com fibras as fissuras ocorrem com uma maior carga.

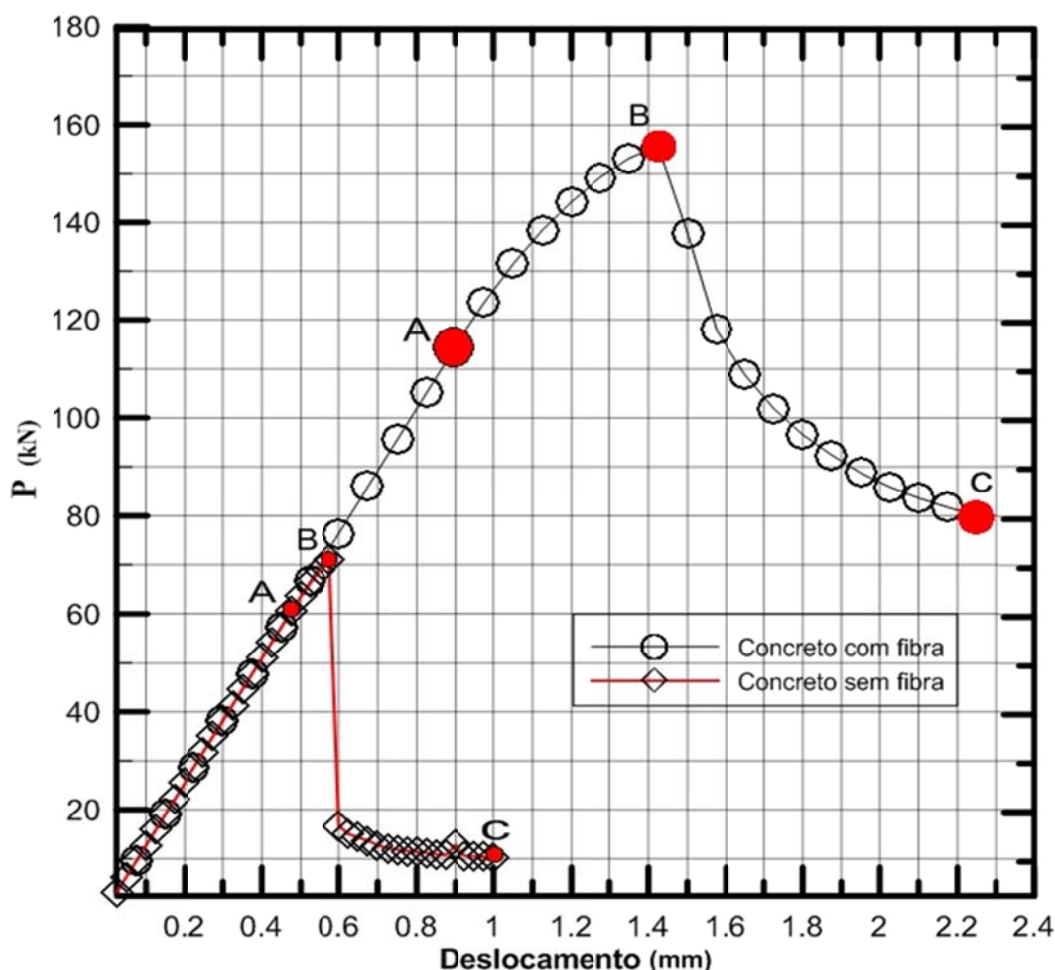


Figura 20. Total de reações de apoio versus incremento de carga para dois tipos de concretos.

4 CÁLCULO DA LAJE ALVEOLAR SEGUNDO NBR 14861:2011.

Para o cálculo do esforço cortante resistente (V_{Rd1}), a ABNT NBR14861 (2011) considera que a verificação à força cortante deve ser feita na seção transversal mais crítica ao longo do vão do elemento. A norma técnica brasileira não avalia as características do concreto com reforço de fibras.

Foram determinadas e comparadas as resistências ao cisalhamento do concreto reforçado com fibras e do concreto sem a adição do reforço, considerando as características geométricas e mecânicas da laje alveolar protendida em estudo.

- $A_c = 0,073156 \text{ m}^2 \rightarrow$ Área da seção transversal da laje;
- $D = 141 \text{ mm} \rightarrow$ Diâmetro de furo;
- $h = 200 \text{ mm} \rightarrow$ Altura da seção;
- Recobrimento de 25 mm;
- $d = 200 \text{ mm} \rightarrow$ Altura útil da seção;
- $L_{\text{largura}} = 600 \text{ mm} \rightarrow$ largura da seção transversal;

Considerando a laje estudada, utilizou-se os procedimentos da ABNT NBR14861 (2011), onde a resistência do projeto ao cisalhamento é dada pela Expressão 2.

Realizar-se o seguinte procedimento:

a) Concreto sem fibra

 $f_{ctm} = 3,3 \text{ MPa} \rightarrow$ Resistência à tração (54% da resistência nas flexão do concreto com fibras de aço)

$$V_{Rd1} = V_{c,1} + V_{p,1} \quad (2)$$

$$V_{c,1} = [0,25 \cdot f_{ctd} \cdot K \cdot (1,2 + 40\rho_1)] \sum b_{w,1} \cdot d ;$$

$$V_{p,1} = 0,15 \cdot \sigma_{CP,1} \sum b_{w,1} ;$$

Em caso particular uma laje sem protensão, adota-se:

$$\rho_1 = 0 \quad \text{e} \quad V_{p,1} = 0$$

$$V_{Rd1} = V_{c,1} = [0,25 \cdot f_{ctd} \cdot K \cdot 1,2] \sum b_{w,1} \cdot d$$

$$f_{ctk,inf} = f_{ctm} = 3,30 \text{ Mpa.}$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c} = \frac{3,3}{1,4} = 2,36 \text{ Mpa.}$$

$$K = (1,6 - d) = (1,6 - 0,2) * 1000 = 1,40.$$

$$b_w = L_{Largura} - \# \text{Alveolos} * D = 600 - 3 * 141 = 177 \text{ mm.}$$

$$V_{Rd1} = \left[0,25 * 2,36 \text{ N/mm}^2 * 1,40 * 1,2 \right] * 177 \text{ mm} * 200 \text{ mm.}$$

$$R_{d1} = 35,09 \text{ kN} \rightarrow \text{Simetria} \rightarrow 70,18 \text{ kN.}$$

$$V_{Rd1} = 70,18 \text{ kN} \rightarrow \text{Esforço cortante resistente para concreto sem fibra.}$$

b) Concreto com fibra

$$\text{🚦 } f_{ctm} = 6,12 \text{ MPa} \rightarrow \text{Resistência à tração, obtidos experimentalmente.}$$

Fazendo o mesmo procedimento é obtido esforço cortante resistente para concreto com fibra um V_{Rd1} igual a 129,95 kN.

Comparando os resultados teóricos com os obtidos na modelagem numérica tem-se que:

Para a laje protendida de concreto sem a adição de fibras metálicas como reforço a resistência ao cisalhamento na análise numérica foi de 71,01 kN, enquanto que a obtida teoricamente foi de 70,18 kN; uma diferença de 1,17% nos resultados. Tal valor apresentou boa aproximação com o concreto sem fibras.

Para a laje protendida de concreto com a adição de fibras de aço como reforço a resistência numérica alcançada foi 155,64 kN e a teórica foi de 129,95 kN; uma diferença de 16,51 %.

➤ RESUMO DOS RESULTADOS

Na tabela 6 são comparados os resultados obtidos através do programa FX+DIANA e os calculados pela equação da NBR 14861:2011 para a verificação da resistência ao cisalhamento de lajes alveolares protendidas sem armadura transversal.

Tabela 6. Resumo dos resultados da modelagem e cálculo teórico a cisalhamento.

COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES MODELADO EM FX+ DIANA.				
INÍCIO DA PRIMERA FISSURA E RESISTÊNCIA À CISALHAMENTO.				
Descrição do modelo da Laje alveolar	FX+DIANA			NBR 14861: 2011
	Início da primera Fissura.	Deslocamento Maximo	V_B	V_{Rd1}
	(kN)	mm	(kN)	(kN)
Concreto sem Fibras	60,48	0,475	71,01	70,18
Concreto com Fibras metalicas	114,56	0,90	155,64	129,95

De acordo com a tabela 6, observa-se que os resultados da modelagem numérica utilizando os parâmetros do concreto fibroso para primeira fissura e carga máxima foi bem superior aos valores do concreto sem fibras estimadas através NBR 14861: 2011, entretanto, para concreto fibroso a norma não considera a ação da fibra, uma vez que esta não apresenta especificações sobre concreto com este tipo de reforço.

5. CONCLUSÕES

A dosagem com os agregados locais, um cimento porland CP V-ARI, uma cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) e reforço com fibras de aço, foi adequada à produção de um concreto com resistência à compressão de 49,7 MPa, aos 28 dias. Essa resistência atendeu aos critérios da norma NBR 6118 (2003) para uso como concreto protendido.

O material desenvolvido tendo CBCA em substituição ao cimento emprega-se na tendência da utilização de concreto mais sustentáveis para evitar emissões de CO₂ para a atmosfera.

A laje alveolar de concreto com fibras metálicas atingiu uma capacidade máxima de carga de 155,64 kN, enquanto que o concreto sem fibra alcançou uma carga de 71,01 kN. Sendo assim, aquele apresentou melhor comportamento estrutural em relação a este, com um aumento de aproximadamente 119,2% na carga máxima. Verifica-se também que o concreto com fibras apresenta maior capacidade de deformação.

O dimensionamento da laje alveolar com base nas normas existentes não possibilita que sejam aproveitadas as melhorias mecânicas introduzidas pelas fibras. O ganho estrutural pode ser conseguido por modelos analíticos que permite a introdução dos parâmetros que distinguem a matriz fibrosa da matriz convencional e/ou empíricos também.

REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA, 2003, *Projeto de Estruturas de Concreto- Procedimento*. NBR 6118. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, *Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. NBR 5739. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA, 2011, *Lajes Alveolares Pré-moldadas de Concreto Protendido — Requisitos e procedimentos*. NBR 14861. Rio de Janeiro.

CANADIAN PRESTRESSED PRECAST CONCRETE STRUCTURES – CPCI. Prestressed concrete in Canada. –2010.

ARAÚJO, D.L.; CARMO, L.C.; NUNES, F.G.T.; FILHO, R. D. T “Modelagem computacional de viga de concreto armado reforçado com fibras de aço submetidas a Cisalhamento”. Estruturas e materiais, IBRACON , V.3,n 1, p.68-94, Mar., 2010.

FAIRBAIRN, E. M. R.; AMERICANO, B. B.; CORDEIRO, G. C.; PAULA, T. P.; FILHO, R. D. T.; SILVOSO, M. M., “Cement replacement by sugar cane bagasse ash: CO2 emissions reduction and potencial for carbon credits”. *Journal of Environmental Management* 91, p. 1864 – 1871, Elsevier, 2010.

FERREIRA, M. A.; FERNANDES, N. S; CARVALHO, R. C.; ORTENZI, A. “Avaliação desempenho da resistência ao cisalhamento em lajes alveolares pré-fabricadas em concreto protendido”. *Revista Concreto e construções*, São Paulo, n.48, p. 46-51, out./ dez, 2007.

FX+FOR DIANA 2010, *DIANA - Finite Element Analysis -User's Manual* release 9.4.3, editado por Jonna Manie, Delft, The Netherlands, 2010.

MIDAS FX+FOR DIANA, *DIANA - Finite Element Analysis*, release 9.4.3, Delft, The Netherlands, 2010. (Software).

RILEM TC 50-FMC. COMMITTEE FRACTURE MECHANICS OF CONCRETE. *Determination of Fracture Energy of Mortar and Concrete by means of Three-point Bending Tests on Notched Beams-Draft Recommendation*. Materials and Structures, v.85, n. 85, p.285-90, 1985.

TKALCIC, D., BANIC, D., ZUPNIC, M., PERIC, Z. Prestressed Hollow Core Slabs Shear Resistance Test According to HRN EN 1168: 2005. *Symposium Dubrovnik*, Dubrovnik, Croatia, 2007.

TNO DIANA 2010, *DIANA - Finite Element Analysis -User's Manual* release 9.4.3, editado por Jonna Manie, Delft, The Netherlands, 2010.