

Aberturas Em Lajes Treliçadas Nervuradas Unidirecionais de Concreto Armado Do Tipo Vigota Treliçada

Ana Beatriz Leda Ribeiro¹, Luciano Carneiro Reis²

¹UEMA / Departamento de Construção Civil e Estruturas – DECE / anabeatrizlr96@gmail.com

²UEMA / Departamento de Construção Civil e Estruturas – DECE / eng.lucianoreis@outlook.com

Resumo

Aberturas em lajes são comumente ligadas às passagens para tubulações dos sistemas prediais. Essas passagens podem ter diversas dimensões e usos, além de poder acontecer com ou sem vigas de contorno. As lajes do tipo nervurada permitem com mais facilidade algumas aberturas que preferencialmente são feitas na mesa evitando que interceptem as nervuras, que são os elementos de maior inércia nas lajes, portanto, os responsáveis pelo aporte da maior parte das tensões de uso, revestimento, peso próprio, entre outros. Por ser o tipo de laje mais empregado em construções populares, incluindo residências unifamiliares, pequenos edifícios residenciais multifamiliares e comerciais, as lajes nervuradas unidirecionais do tipo vigota treliçada apresentam larga aplicação por serem caracterizadas por baixo consumo de material, redução das cargas e do custo com fôrmas, escoramento e mão-de-obra. A possibilidade da aplicação de vazios nessas lajes é negada no caso do dimensionamento feito pelo método de análise proposto pela NBR 6118 (ABNT, 2014). FLÓRIO (2004) propôs a consideração da rigidez transversal como mecanismo de redução da transmissão de cargas apenas na direção da nervura e apresentou em seu trabalho redução das flechas conforme é apresentada a Figura 1. Isso se deu devido à transmissão por meio da rigidez da mesa. Com isso, há de se vislumbrar a possibilidade de poderem ser cortadas algumas nervuras para fins de aberturas nas lajes e possibilidade de se evitar colocação de vigas no pavimento. Esse trabalho apresenta as considerações feitas utilizando lajes exatamente como as adotadas por FLÓRIO (2004) acrescentando aberturas de dimensões adequadas a fim de causar interferências em uma e duas barras das grelhas equivalentes do pavimento em cada direção em três posições das lajes. Como resultado, apresentamos a análise estrutural da laje com as aberturas em cada posição explicitando o modelo adotado, as tensões acumuladas no contorno da abertura, limitações acerca das aberturas nesse tipo de laje e indicação de uma proposta de reforço de bordo para essas aberturas.

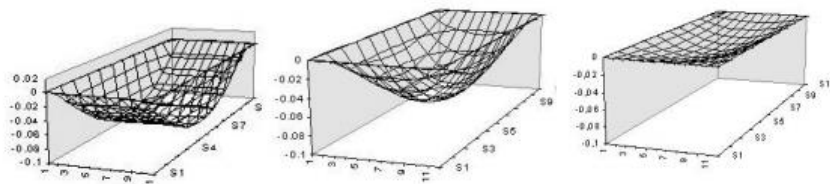


Figura 1 – Flechas em lajes treliçadas.
(Fonte: FLÓRIO, 2004)

Palavras-chave

Lajes, Nervuradas, Unidirecionais, Pré-moldada, Treliçada, Aberturas.

Introdução

Justificativa

Por apresentar vantagens em relação a outros sistemas, principalmente na redução de custos, a utilização do sistema estrutural de lajes pré-fabricadas de vigotas treliçadas tem se tornado cada vez mais frequente atualmente. Porém apesar do crescimento na popularidade do seu uso, sente-se ainda que muito pode ser aproveitado por parte dos projetistas sem experiência no assunto. Torna-se oportuno ampliar o estudo sobre esse tipo de sistema, tendo em vista potencializar o acervo de informações técnicas sobre seu comportamento objetivando seu melhor aproveitamento.

Os furos e aberturas em lajes são feitos usualmente para passagens de tubulações dos sistemas prediais. Qualquer estrutura que apresente, em suas exigências de projeto, a necessidade de furos ou aberturas, deve ser projetada e detalhada para absorverem as alterações do fluxo de tensões que ocorrem no entorno destes locais. As aberturas em lajes de vigota treliçadas são normalmente feitas na mesa da estrutura. Com os estudos de FLÓRIO (2004) sobre a rigidez transversal como mecanismo de redução da transmissão de cargas apenas na direção da nervura, onde apresentou em seu trabalho redução das flechas por conta da transmissão por meio da rigidez da mesa, vislumbrou-se a ideia que é o assunto deste artigo, que é a possibilidade de poderem ser cortadas algumas nervuras para fins de aberturas nas lajes e possibilidade de se evitar colocação de vigas adicionais no pavimento.

Assim, espera-se que este trabalho possa ajudar os projetistas a potencializarem o uso do sistema estrutural de lajes treliçadas unidirecionais pré-fabricadas de concreto armado e ampliar o acervo de informações técnicas a seu respeito.

Histórico Bibliográfico

BOCCHI JR. (1995) aborda em seu estudo uma comparação, por meio de um exemplo numérico, as lajes nervuradas de concreto armado moldadas no local e as lajes pré-fabricadas. Ele enfatiza a importância do caminhamento correto da concepção da estrutura, desde o projeto até a execução das lajes, como fator fundamental para o bom desempenho das mesmas. Demonstra que o custo das lajes pré-moldadas é bem inferior as moldadas *in loco*, analisa as principais recomendações da norma de concreto vigente da época, a NBR 6118 (ABNT, 1980) e apresenta exemplos numéricos das armaduras de flexão.

DROPPA JUNIOR (1999) em sua Dissertação considera a fissuração do concreto na análise estrutural das lajes pré-moldadas. Para isso utiliza o modelo de grelha, considerando a não-linearidade do concreto armado, a relação momento x curvatura e carregamento incremental. Os resultados que obteve se comparam com os obtidos de forma analítica para vigotas simplesmente apoiadas que foram ensaiadas na Escola de Engenharia de São Carlos. Em seu trabalho ainda analisa também sistemas contínuos e lajes bidirecionais.

FLÓRIO (2004) aborda em sua dissertação o projeto e execução de lajes unidirecionais com vigotas em concreto armado segundo a analogia de grelha equivalente. Compara as deformações dos pavimentos considerando vigas independentes, lajes pré-moldadas com capa e placa maciça. Utiliza como modelo de cálculo a consideração de vigas independentes por conta da proximidade dos valores apresentados de momento fletor e deformação elástica. Traz ainda uma análise sobre os benefícios que

a consideração da continuidade pode incorporar nas condições de serviço, especialmente no cálculo dos deslocamentos, considerando os efeitos de fissuração, plastificação e cisalhamento do concreto.

Em termos de Normas Técnicas, quando se trata das Lajes Pré-Fabricadas, a ABNT apresenta disposições sobre o assunto na NBR 6118:2014, NBR 9062, NBR 14859 (partes 1 e 2), NBR 14860-1 (partes 1 e 2) e NBR 14862. Porém todas apresentam de uma maneira geral apenas especificações. A NBR 14859 (parte 1), principal norma sobre o tipo de laje em estudo no artigo, apenas fixa os requisitos para o recebimento e utilização de componentes de lajes pré-fabricadas a serem empregados na execução de estruturas laminares nervuradas unidirecionais, para qualquer tipo de edificação, mas não dispõe de critérios de cálculos para projetos. A única que ainda realmente aborda um pouco mais sobre isso é a NBR 6118:2014.

Modelo Teórico

A analogia de grelha consiste em um método de análise muito utilizado em estudos de lajes devido a sua simplicidade em relação a outros métodos e a sua facilidade de compreensão. Com isso, optou-se pela sua escolha na análise deste artigo assim como foi feito nos trabalhos de DROPPA JR (1999), BOCCHI JUNIOR (1995) e FLÓRIO (2003).

Através deste método a laje é substituída por uma grelha equivalente, onde a sua rigidez longitudinal concentra-se nas barras longitudinais e a sua rigidez transversal concentra-se nas barras transversais. Assim, a estrutura torna-se um problema simples de análise matricial aplicada a uma grelha. Quando a laje analisada consiste em uma laje nervurada em uma direção, como é o caso em estudo, a discretização da malha é determinada de acordo com a localização das nervuras, sendo a localização das barras na direção das nervuras já determinadas e podendo variar apenas o número de barras na direção perpendicular a ela.

Quando se fala em modelos de grelha, surgem além dos esforços de momento fletor e cortante, esforços referentes ao momento torçor nas barras, sendo a rigidez à torção um parâmetro a ser estudado na analogia de grelhas tal qual a rigidez a flexão.

O módulo de elasticidade transversal (G) do material, que é calculado em função do módulo de elasticidade longitudinal (E_c), e a inércia à torção da seção transversal da barra (I_T), compõem este parâmetro de rigidez à torção da barra (K_T), que é função direta destes dois coeficientes, sendo:

$$K_T = G * I_T \quad (1)$$

Como as tensões provocadas na estrutura causam deformações tanto na sua direção como na sua transversal, utiliza-se o coeficiente de Poisson (ν) como razão das deformações longitudinal e transversal. Este coeficiente é encontrado na equação do módulo de elasticidade transversal (G) e apesar de ser variável com a compressão do concreto adota-se para cálculos práticos, segundo a NBR 6118 (2014), o valor médio de 0,2.

$$G = \frac{E_c}{2(1 + \nu)} \quad (2)$$

Como pode ser observado em estudos realizados sobre o assunto, assim como em LEOHARDT (1981), o parâmetro de rigidez a torção cai consideravelmente com o surgimento de fissuras nas peças de concreto armado.

Já a inércia à torção (I_T), segundo LEOHARDT (1979), para vigas com seção I ou T, como é o caso da configuração adotada para o dimensionamento das vigotas da laje em estudo, deve ser calculada dividindo-se a seção em retângulos e somando os valores parciais dos retângulos.

$$I_T = \sum I_{Ti} = I_{T1} + I_{T2} + I_{T3} + \dots \quad (3)$$

Assim, tem-se ainda segundo estudos do CEB-90 (1991), equações estimadas para valores de K_T de acordo com o Estádio em que se encontra o a peça de concreto armado:

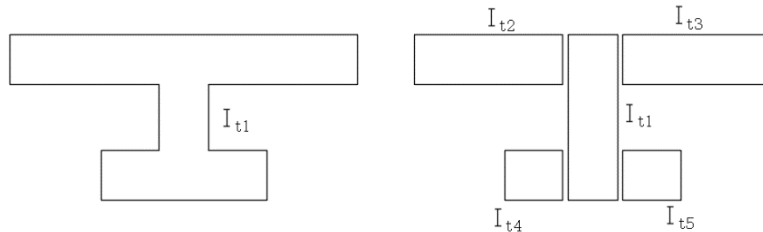


Figura 2 - configuração do cálculo do momento de inércia à torção da seção I, segundo LEOHARDT (1979).

- Para Estádio I:

$$K_{IT} = 0,3 * E_c * I_T \quad (4)$$

- Para Estádio II:

$$K_{IIT} = 0,1 * E_c * I_T \quad (5)$$

- Para casos de flexo-torção:

$$K_{IIT} = 0,05 * E_c * I_T \quad (6)$$

Discretização da laje

A escolha do painel de laje nervurada pré-moldada foi a mesma utilizada por FLÓRIO (2004), discretizada como uma grelha. A laje tem dimensões de 363cm de comprimento por 330cm de largura e as nervuras são dispostas paralelas ao menor lado. Dessa forma, adotaram-se os seguintes valores:

- Intereixos (b_f) de 33cm.
- Altura da capa (h_f) de 3 cm.
- Altura da alma (h_w) de 8 cm.
- Largura da alma (b_w) de 12cm.

- Carregamento de 5kN/m^2 . (incluindo peso próprio da laje)
- $f_{yk} = 500\text{ Mpa}$
- $f_{ck} = 20\text{ Mpa}$
- Treliça TR08645 + $\varnothing 8\text{mm}$

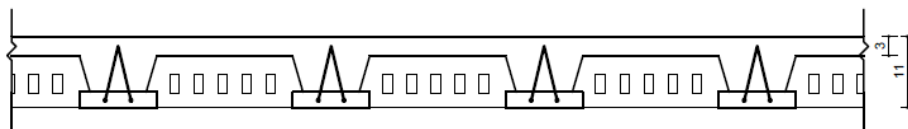


Figura 3 - Representação em corte da laje treliçada (medidas em cm).

No método das grelhas equivalentes o carregamento atuante na laje pode ser aplicado de duas formas: distribuído ao longo da barra ou aplicado diretamente no nó das grelhas. Optou-se pela segunda forma devido a posição do furo que iremos analisar. Dessa forma há um melhor aproveitamento da carga aplicada na análise da estrutura para o seu dimensionamento. Assim calcula-se a área de influência de cada nó e aplica-se nele a carga correspondente, tal como na figura 4.

Caso a abertura em análise fosse feita em um formato mais parecido com um losango, recomendar-se-ia aplicar o carregamento distribuído na barra, já que o cálculo da área de influência é feito como na imagem abaixo e para esse tipo de caso o aproveitamento da carga é superior.

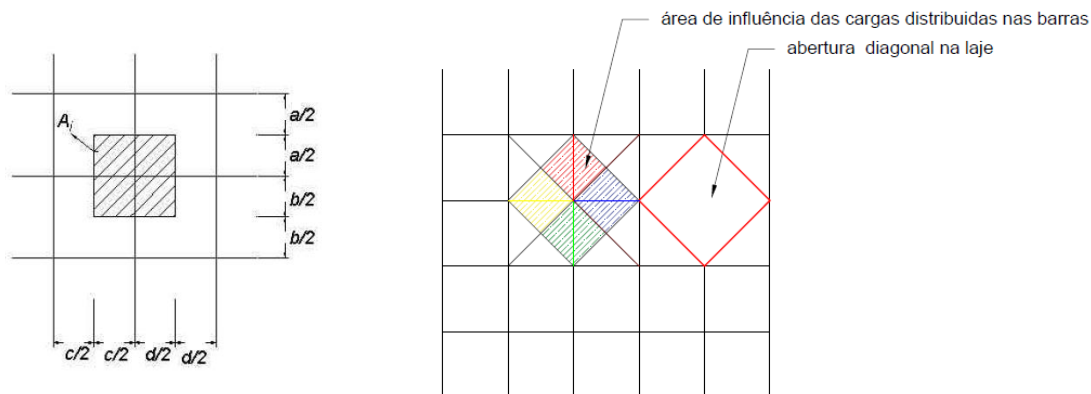


Figura 4 - Configuração da área de influência para obtenção de cargas por nó de grelha (DROPPA, 1999) e por barra, respectivamente.

Na modelagem do SAP 2000 as nervuras foram modeladas como vigas “T” com as dimensões da vigota anteriormente descritas e as barras transversais como barras retangulares com largura igual ao comprimento do entreixo e altura igual à espessura da capa. O esquema da malha é representado na imagem abaixo e as vigas de bordas, que são apoiadas na alvenaria, consideradas indeslocáveis verticalmente com um auxílio de apoios do 2º gênero. Na direção transversal às nervuras a rigidez da capa é a responsável pela condução dos esforços. O espaçamento entre as barras da grelha é igual tanto na direção longitudinal quanto na transversal e tem o valor do entreixo de 33cm.

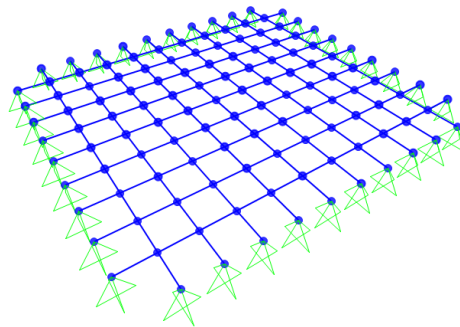


Figura 5 - Modelo da laje analisada no software SAP 2000.

Análise das influências das aberturas

Para a análise dos efeitos causados pela abertura de furos nas nervuras das lajes pré-moldadas treliçadas foram consideradas as seguintes situações: a) abertura no canto da laje; b) abertura no centro da laje; c) abertura na lateral da laje.

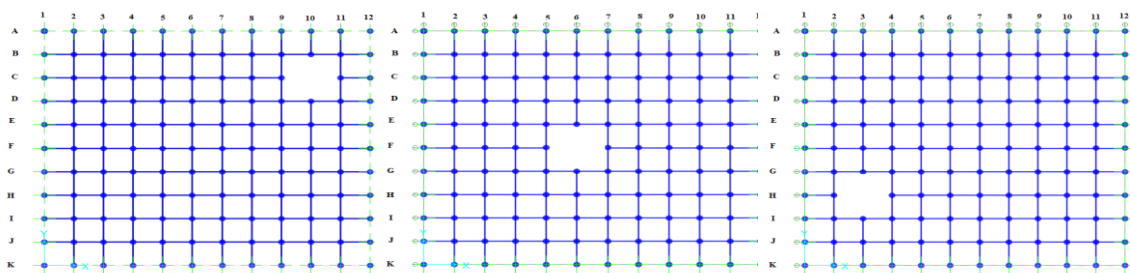


Figura 6 - Aberturas nas lajes em 3 situações: a) no canto; b) no centro e c) na lateral.

Avaliaram-se então os resultados encontrados quanto aos critérios de flecha e momento na vigota central e quanto a carga transmitida aos apoios. Pelos resultados apresentados quanto às flechas, pode-se concluir que o modelo de análise adotado pela NBR 6118:2014 é adequado. Os resultados obtidos pela analogia de grelha apresentam 5% menos flecha na vigota central, reduzindo seu valor conforme aproxima-se das laterais da laje em forma parabolóide.

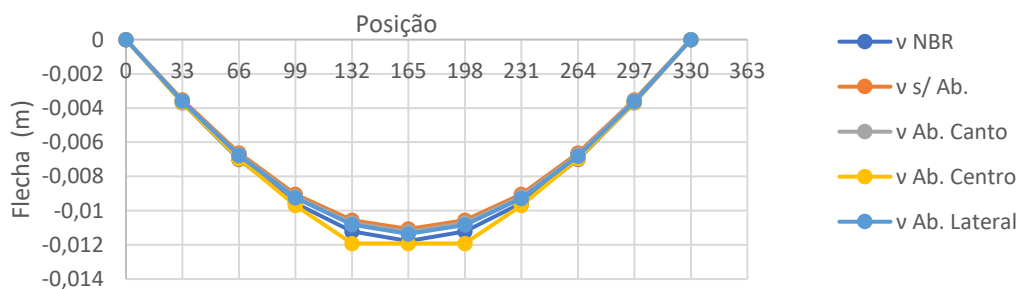


Figura 7 - Flecha na vigota central para cada laje analisada

Com a abertura central pode-se observar um maior deslocamento em relação às outras situações. Já com a abertura lateral observa-se uma maior proximidade dos seus valores aos obtidos pela análise segundo a NBR 6118:2014. Em relação ao momento fletor, este apresenta um comportamento semelhante aos obtidos pela análise das flechas, com variação média de 5% em seus valores, exceto no caso da abertura central em que se observa uma variação maior que a média obtida das outras situações e redução dos momentos conforme aproxima-se da lateral e em caso de abertura na lateral valores mais próximos aos obtidos por análise segundo a Norma.

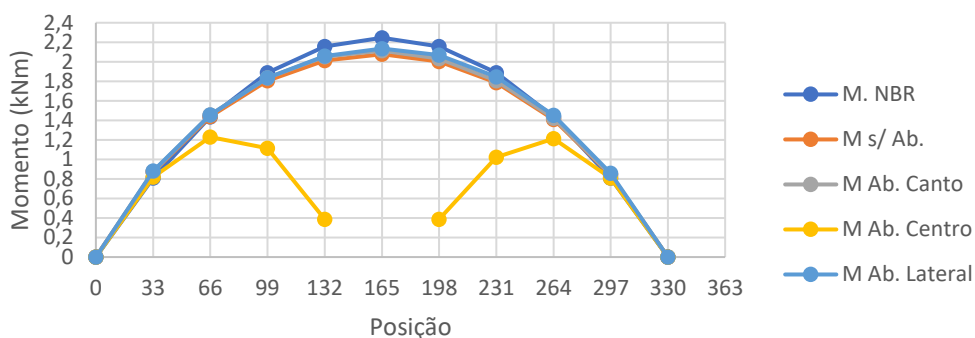


Figura 8 - Valor dos momentos fletores para a vigota central em cada laje analisada

As lajes analisadas via analogia de grelha transmitiram em média 21% dos esforços para as vigas adjacentes, resultado próximo daquele obtido por FLÓRIO (2004) para as mesmas condições, sem aberturas. As lajes com aberturas utilizaram-se mais da rigidez da capa transferindo mais esforços para as vigas adjacentes na ordem de crescimento de 1%, garantindo a proximidade das flechas e esforços com aqueles encontrados pela metodologia indicada pela NBR 6118 (ABNT, 2014).

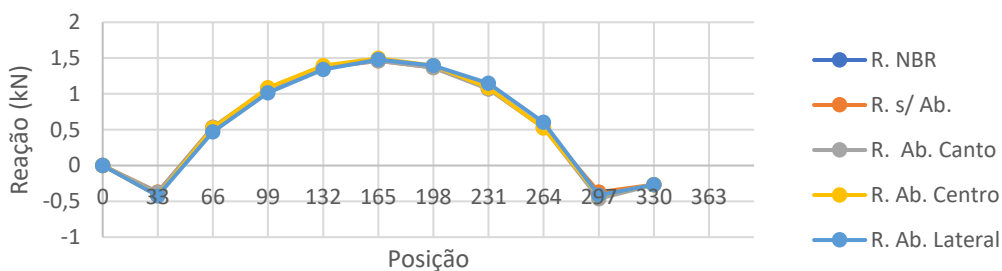


Figura 9 - Carregamento transmitido às vigas adjacentes à direção das vigotas através da capa

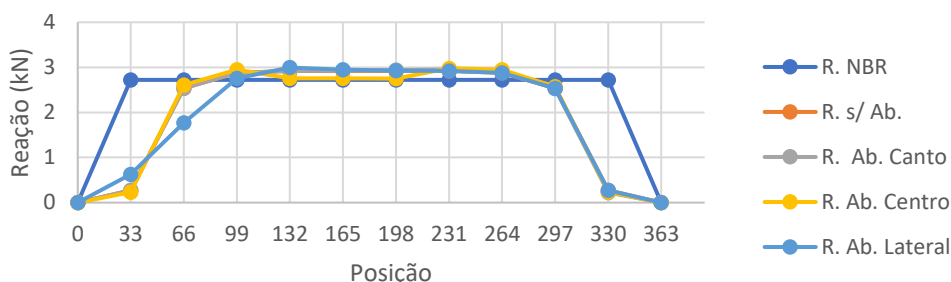


Figura 10 - Carregamento transmitido às vigas transversais à direção das vigotas através das vigotas

Reforço de borda

Validado o modelo, é necessário prover condições de suporte para os novos esforços causados localmente na borda da abertura. O modelo de grelha equivalente das lajes, a fim de garantir a correta compatibilidade dos esforços, precisa, ainda, ser comparado ao modelo físico construtivo real. Nisso, há de ser lembrado que o caso em análise trata de uma abertura onde ocorre um rompimento da nervura, que é mais alta que a laje. Portanto, seria necessária armadura de suspensão, o que não é recomendável pela pouca espessura da laje e pela sua pouca rigidez.

Por outro lado, na borda da abertura ficaria exposta a extremidade interrompida da vigota e alvéolos dos blocos ou EPS de enchimento, o que é esteticamente desagradável. Assim, recomenda-se que seja abandonada a hipótese de suporte dos esforços através da capa, diretamente, e prover a criação de uma peça mais robusta e com inércia compatível aos esforços solicitantes. Ainda, deve-se atentar para a existência de esforço torçor na borda da abertura causado pelo momento fletor da vigota que solicita a rigidez da capa, momento fletor na capa proveniente do carregamento de apoio da vigota na extremidade da abertura e, na mesma posição, esforço cortante. Então, a fim de evitar armaduras complexas e de difícil instalação, incompatibilidades de rigidez ou fissurações inconvenientes, é indicada a criação de uma peça semelhante a uma vigota transversal na borda da abertura que se prolongue transversalmente tangenciando a borda da abertura até um comprimento de 2 vigotas para cada lado convenientemente dimensionado para os esforços obtidos via análise estrutural. Para efeito ilustrativo, a tabela 1 apresenta a ordem de grandeza dos esforços solicitantes obtidos nas lajes analisadas nesse trabalho.

Tabela 1 – Esforços solicitantes máximos obtidos na borda das aberturas nos modelos analisados.

Laje	Momento Fletor Máximo(kNm)	Esforço Cortante Máximo (kN)	Momento Torçor Máximo (kNm)
Abertura no Canto	0.4577	1.452	0.2978
Abertura Lateral	0.3921	1.305	0.2638
Abertura no Centro	0.3706	1.288	0.1998

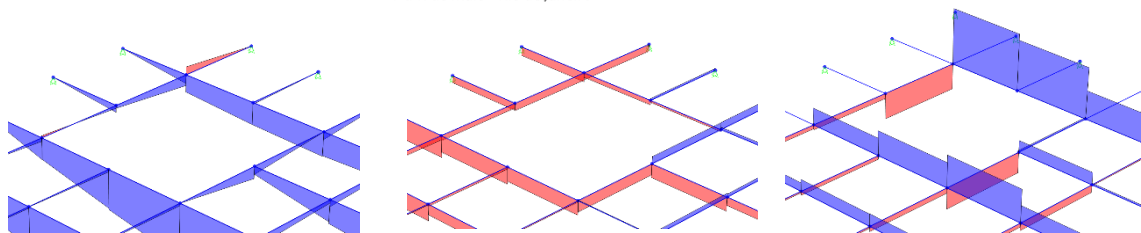


Figura 11 - Detalhe do momento fletor, esforço cortante e momento torçor, respectivamente, na borda da abertura

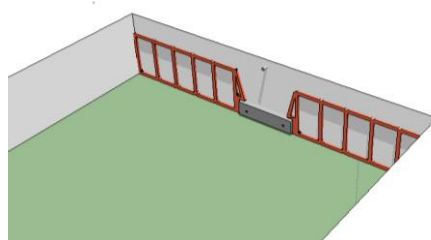


Figura 12 - Detalhe da borda da abertura sem a nervura de suporte

De posse das informações de esforços e dimensionada a vigota de suporte com comprimento de seis intereixos (tanto seu comprimento, quanto sua armação), lembrando que devem ser verificados os critérios de estados limites de serviço além dos estados limites de últimos para as diversas combinações de carregamentos, é sugerido detalhamento conforme figura 9 lembrando de se especificar a espessura da nervura (não constante no detalhamento exemplo da figura supracitada).

Em caso de verificação estrutural de necessidade de estribos e armadura superior, deve-se fazer o detalhamento correto da nervura de suporte.

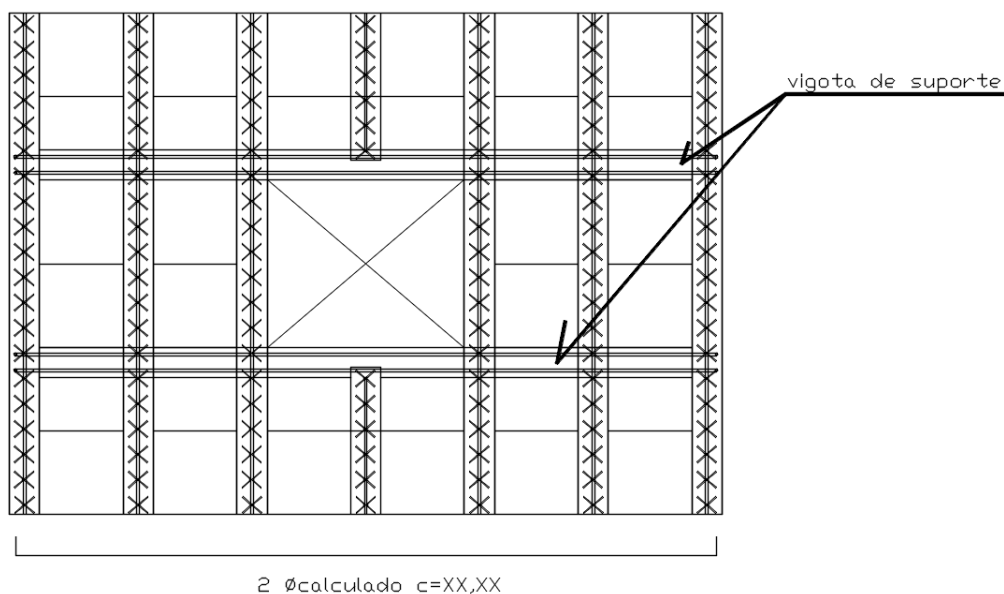


Figura 13 - Detalhamento da armação da nervura de suporte para reforço de borda de abertura.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6118:2014: Projeto De Estruturas De Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- _____. ABNT NBR 14859-1:2002: Laje Pré-Fabricada: Requisitos. Parte 1: Lajes Unidirecionais. Rio de Janeiro, 2002.
- _____. ABNT NBR 6120:1980: Cargas Para O Cálculo De Estruturas De Edificações - Procedimento. Rio de Janeiro, 1980.
- BOCCHI Jr., C. F. (1995). Lajes Nervuradas De Concreto Armado: Projeto E Execução. Dissertação (Mestrado) – Escola De Engenharia De São Carlos, Universidade De São Paulo, 1995.
- CARVALHO, R.C., FIGUEIREDO FILHO, J.R. (2014). Cálculo E Detalhamento De Estruturas Usuais De Concreto Armado. 4ª Edição – Editora da UFSCar. São Carlos, SP.
- CARVALHO, R. C., PARSEKIAN, G. A., FIGUEIREDO FILHO, J. R., MACIEL, A. M., Estado Da Arte Do Cálculo Das Lajes Pré-Fabricadas Com Vigotas De Concreto. 1º Encontro Nacional De Pesquisa-Projeto-Produção Em Concreto Pré-Moldado, 2005.
- DROPPA Jr., A. (1999). Análise Estrutural De Lajes Formadas Por Elementos Pré-Moldados Tipo Vigota Com Armação Treliçada. Dissertação (Mestrado) – Escola De Engenharia De São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999.
- DROPPA Jr, A., EL DEBS, M. K. (2001). Análise Não-Linear De Lajes Pré-Moldadas Com Armação Treliçada: Comparação De Valores Teóricos Com Experimentais E Simulações Numéricas Em Painéis Isolados. Cadernos De Engenharia De Estruturas, São Carlos, n.17, p. 105-120, 2001.
- FLÓRIO M. C. (2001). Estudo Experimental De Vigotas Pré-Moldadas E Nervuras De Concreto Armado Para Execução De Lajes Unidirecionais. Relatório Final De Iniciação Científica 00/11854-0-0, Fapesp. São Carlos, SP.
- _____. (2003). Projeto E Execução De Lajes Pré-Fabricadas Unidirecionais Com Vigotas Em Concreto Armado. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal De São Carlos, 2003.
- LEONHARDT, F., MÖNNIG, E. (1979). Construções De Concreto: Princípios Básicos Do Dimensionamento De Estruturas De Concreto Armado. Rio de Janeiro: Interciência, 1977. V.1.