

DETERMINAÇÃO DA RIGIDEZ À ROTAÇÃO DE LIGAÇÕES PRÉ-MOLDADAS UTILIZANDO O MÉTODO DOS COMPONENTES

Pedro H. L. Alencar¹, Evandro Parente Júnior² & Augusto Teixeira de Albuquerque³

Resumo

Com o aumento da demanda por trabalhadores na construção civil, juntamente com a elevação do custo de mão de obra, sistemas construtivos que visam ganho na produtividade vem conquistando espaço. Este ganho se dá através de processos que reduzem o tempo de execução da estrutura, o número de funcionários no canteiro, e seu tamanho. No âmbito da escolha do sistema estrutural, as soluções mais comuns nestas situações são as construções em aço e as construções em concreto pré-moldado, que imprimem um caráter muito mais industrial e mecanizado à construção civil. Sistemas como aço e concreto pré-moldado possuem uma diferença básica em relação às estruturas de concreto convencional, que é a ligação. A estrutura, diferente dos processos mais usuais, é montada a partir de peças, que são em geral, pilares, vigas e lajes. Este trabalho visa desenvolver uma metodologia e um programa para determinar a rigidez destas ligações em estruturas de concreto pré-moldado de sistemas usuais ou não e analisar a ligação de ALBUQUERQUE (2007). Será, para tanto, utilizado o método dos componentes validado através de resultados experimentais obtidos na literatura.

Palavras-chave: Pré-moldado. Rigidez. Método dos componentes.

DETERMINATION OF THE STIFFNESS ROTATION OF PRECAST CONNECTIONS USING THE METHOD OF COMPONENTS

Abstract

Considering the increasing demand for workers in construction, along with the rising cost of skilled labor, building systems that aim to gain in productivity is conquering space. This gain occurs through processes that reduce the runtime of the structure, the number of employees at the work site, and its size. Within the choice of the structural system, the most common solutions in these situations are the steel structures and buildings in precast concrete, which demonstrate a much more mechanized and industrial face to the construction environment. Systems, such as steel and concrete precast have a basic difference in relation to conventional concrete structures, which is the connection. The structure, different from the more usual processes, is assembled from parts, which are in general, pillars, beams and slabs. This work aims to develop a methodology and a program to determine the stiffness of these connections in structures of precast concrete systems conventional or not and analyzing the connection of ALBUQUERQUE (2007). For it, will be used the components method validated by experimental results in the literature.

Keywords: Precast. Stiffness. Components method.

1 INTRODUÇÃO

Uma das diferenças básicas da tecnologia do concreto pré-moldado comparado com a do concreto moldado *in loco* é o comportamento da ligação. Enquanto nas construções em concreto moldado no local estas se comportam de forma monolítica, no concreto pré-moldado não podemos garantir a priori que as ligações trabalham de forma rígida.

¹ Engenheiro, Hepta Estrutural S/S. Email: pedro@heptaestrutural.com.br.

² Professor Doutor, Universidade Federal do Ceará. Email: evandro@ufc.br.

³ Professor Doutor, Universidade Federal do Ceará. Email: augusto.albuquerque@ufc.br

As ligações podem ser classificadas quanto a sua função estrutural como flexível ou rotulada, rígida ou monolítica e semi-rígida.

Segundo a NBR 9062/2006 a rigidez à rotação de uma conexão pode ser representada por uma mola que respeita uma curva Momento x Rotação que pode ser aproximada por uma reta secante que parte da origem e corta o gráfico no ponto que indica o início da plastificação, como indicado na Figura 1.

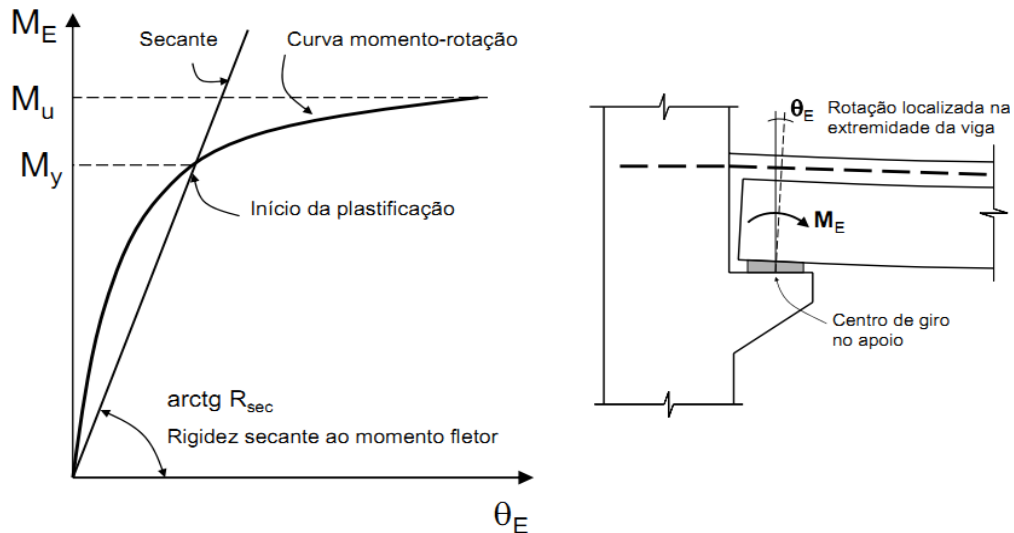


Figura 1 – Relação momento rotação e rigidez secante.

A NBR 9062/2006 define ainda o parâmetro α_r (fator de restrição), dado pela Eq. 01 que relaciona a rigidez secante da ligação com a rigidez da viga.

$$\alpha_r = \frac{1}{1 + \frac{3 \cdot (EI)_{sec}}{R_{sec} \cdot L_{ef}}} = \frac{\theta_1}{\theta_2} \quad (1)$$

Onde R_{sec} é a rigidez da ligação e $(EI)_{sec}$ é a rigidez secante da seção transversal da viga e L_{ef} o vão da viga. Os ângulos θ_1 e θ_2 são respectivamente a rotação da viga e a rotação combinada da viga e da ligação, como ilustrado na Figura 2.

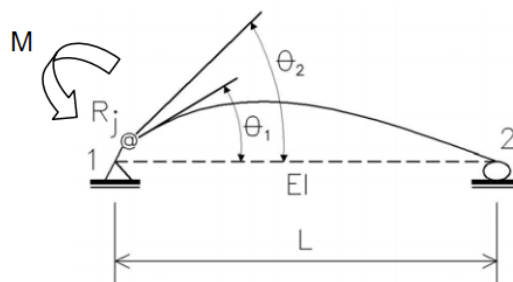


Figura 2 – Fator de restrição.

Note-se que os valores de α_r variam de 0 a 1, representando uma situação perfeitamente rotulada e perfeitamente engastada, respectivamente. Segundo a NBR 9062/2006, para valores

de α_r entre 0,15 e 0,85 a ligação é classificada como semirrígida. Segundo Ferreira (2002) este intervalo é de 0,14 a 0,89.

2 MÉTODO DOS COMPONENTES

O modelo mecânico utilizado no estudo no Método dos Componentes para representar uma ligação viga-pilar pré-moldada, resistente à rotação, baseado no modelo proposto por Mota (2009, p. 56), é o de uma chapa rígida que representa o extremo da viga, ligada a molas que representam a rigidez dos elementos resistentes à rotação. A hipótese feita é que sendo rígida a chapa em seu plano, só ocorreram movimentos de corpo rígido, como mostrado na Figura 3.

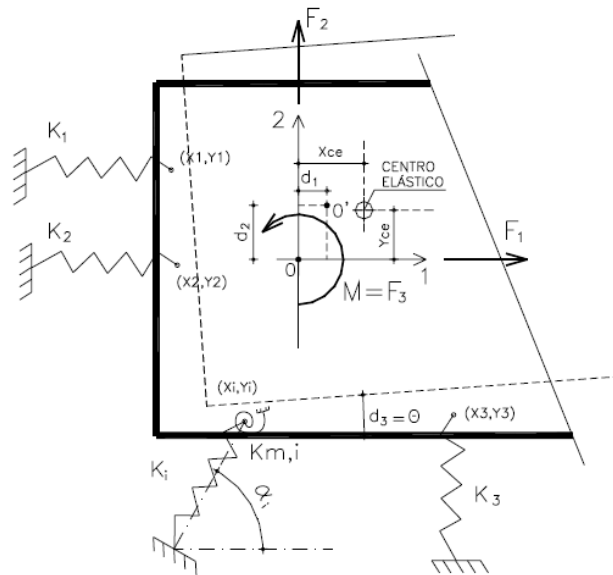


Figura 3 – Ligação representada pelo método dos componentes.

As molas i representam os elementos que compõem a ligação, como barras de aço, almofadas de neoprene, concreto e chumbadores. Cada mola está ligada a seção da viga em um ponto (x_i, y_i) com uma inclinação α_i . Cada mola tem uma rigidez k_i , podemos ainda ter molas que trabalham a rotação, que tem uma rigidez k_{mi} .

As rigidezes k_i e k_{mi} são determinadas a partir do comportamento de cada material separadamente, até sua ruptura ou plastificação, ou seja, são traçadas curvas tensão x deformação de cada componente e então são acoplados ao sistema.

Temos um sistema de forças aplicado na origem $\{F_1, F_2, F_3\}$ que geram deslocamentos $\{d_1, d_2, d_3\}$ na origem. As ações são equilibradas pelas molas que sofrem deslocamentos $d_{i,j}$.

Matricialmente temos:

Segundo MOTA (2009) um ponto importante para a compreensão do comportamento de uma ligação é o Centro Elástico (CE) que tem as seguintes propriedades.

$$\begin{bmatrix} R_{1,1} & R_{2,1} & R_{3,1} \\ R_{2,1} & R_{2,2} & R_{3,2} \\ R_{3,1} & R_{3,2} & R_{3,3} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{Bmatrix} \quad (2)$$

Molas de translação que tem seu eixo passando pelo CE não contribuem para a rigidez a rotação da ligação;

Se a origem coincide com o centro elástico as translações e rotações se desacoplam, gerando $R_{1,2} = R_{2,1} = R_{2,3} = R_{3,2} = 0$. Isso ocorre pois forças externas que passam por esse ponto geram apenas translação e momentos apenas rotação;

Dadas as propriedades do Centro Elástico, suas coordenadas podem ser determinadas a partir das equações (3):

$$\begin{bmatrix} R_{1,1} & R_{2,1} & R_{3,1} \\ R_{2,1} & R_{2,2} & R_{3,2} \\ R_{3,1} & R_{3,2} & R_{3,3} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ F_2 \\ F_2 \cdot x_{CE} \end{Bmatrix} \Rightarrow x_{CE} = \frac{R_{1,1} \cdot R_{3,2} - R_{1,2} R_{3,1}}{R_{1,1} \cdot R_{2,2} - R_{1,2} R_{2,1}} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} R_{1,1} & R_{2,1} & R_{3,1} \\ R_{2,1} & R_{2,2} & R_{3,2} \\ R_{3,1} & R_{3,2} & R_{3,3} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ 0 \\ -F_1 \cdot y_{CE} \end{Bmatrix} \Rightarrow y_{CE} = \frac{R_{3,2} \cdot R_{2,1} - R_{2,2} R_{3,1}}{R_{1,1} \cdot R_{2,2} - R_{1,2} R_{2,1}}$$

Assim, para determinar a rigidez a rotação da ligação, deve-se resolver o sistema referenciado ao centro elástico, conforme indicado na Eq 4.

$$\begin{bmatrix} R_{1,1} & R_{2,1} & R_{3,1} \\ R_{2,1} & R_{2,2} & R_{3,2} \\ R_{3,1} & R_{3,2} & R_{3,3} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ M \end{Bmatrix} \Rightarrow K_{\Phi} = \frac{M}{d_3} \quad (4)$$

3 EXEMPLOS

Foi implementada uma planilha no programa Excel™ com as equações descritas em ALENCAR (2013), que calcula o valor da rigidez da ligação. Foram processadas três ligações ensaiadas em laboratório a fim de avaliar a qualidade dos resultados da planilha.

Foi ainda analisado um pórtico plano com ligações semirrígidas de rigidez obtida pela planilha, além das situações de ligação perfeitamente rotulada e perfeitamente rígida, a fim de avaliar o impacto da rigidez da ligação no comportamento estrutural do pórtico.

Ligação 1

A Ligação 1 foi ensaiada por Baldissera (2006). O *fck* utilizado em vigas e pilares foi de 35 MPa e nas lajes e capa 25MPa, foi utilizado aço CA-50 tanto nas armaduras quanto nos chumbadores. O detalhamento da ligação é mostrado na Figura 4. Os valores das rigidezes foram obtidos conforme as equações descritas em Alencar (2013).

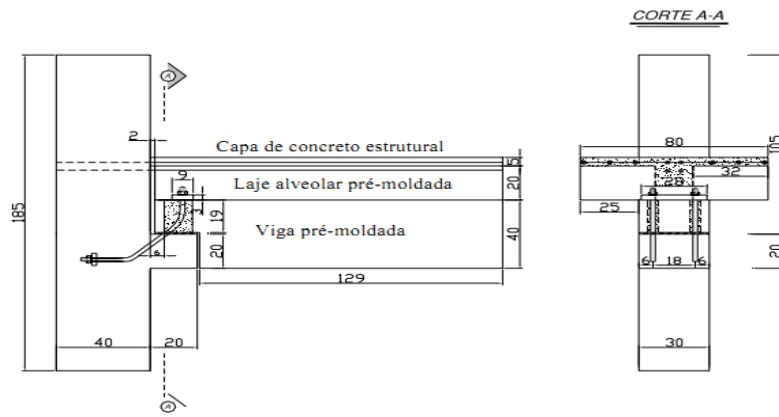


Figura 4 – Modelo ensaiado.

Na Figura 5 temos o modelo adotado para a Ligação 1 submetida a momentos positivos. A Tabela 1 mostra os valores da rigidez dos componentes assim como suas respectivas posições adotadas no modelo.

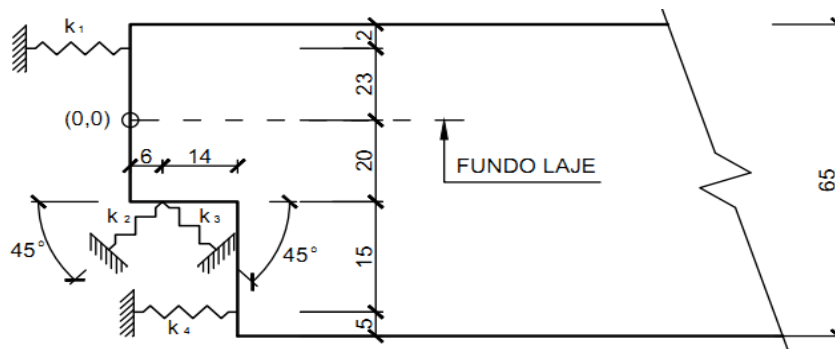


Figura 5 – Componentes ligação 1.

Tabela 1 – Propriedades dos componentes

Componente	Rigidez (kN/m)	x (m)	y (m)	α (graus)
Concreto	1.000E+10	0.20	-0.35	0
Chumbador (tração)	6.959E+05	0.06	-0.20	-45
Chumbador (corte)	7.671E+04	0.06	-0.20	45
Reforço	2.880E+05	0.00	0.20	0

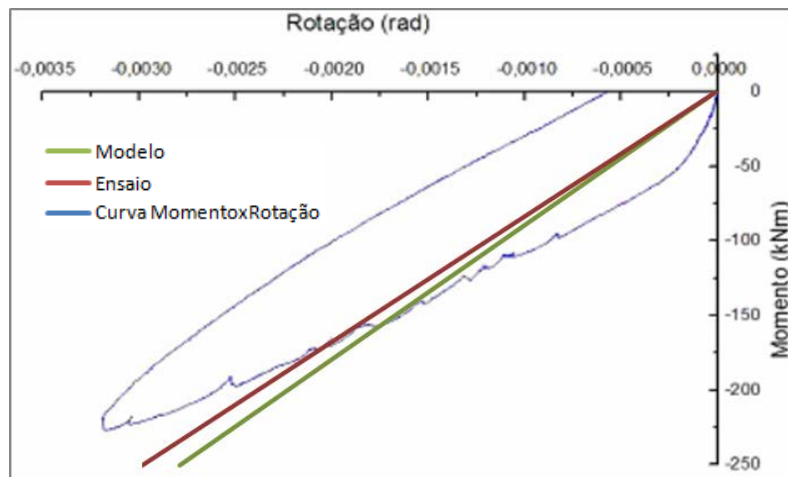


Figura 6 – Comparação dos resultados do modelo e do ensaio - Ligação 1.

Tabela 2 – Quadro comparativo entre ensaio e modelo – Ligação 1

	Ensaio	Modelo	Diferença (%)
K (kNm/rad)	84000	90218	6,9%
α_r	0,615	0,632	2,7%

Na Figura 6 temos o resultado experimental da Ligação 1 a momento negativo (em azul), a rigidez secante obtida pelo ensaio (em vermelho) e a reta que representa a rigidez obtida pelo programa (em verde). Na Tabela 2 temos um quadro comparativo entre os resultados do ensaio e do modelo.

Ligação 2

A segunda ligação analisada foi proposta por Kataoka (2007). O f_{ck} adotado foi de 25MPa e o aço CA-50 na armadura e nos chumbadores. O detalhamento da ligação é mostrado na Figura 7. O comparativo entre o resultado experimental e do modelo são expressos abaixo. Os valores das rigidezes foram obtidos pelas equações descritas em ALENCAR (2013).

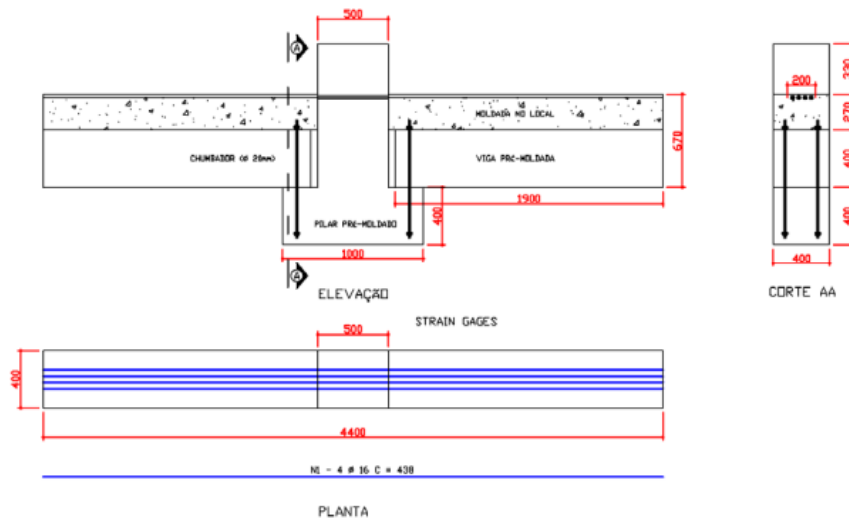


Figura 7 – Ligação 2.

Na Figura 7 temos o modelo da Ligação 2. A Tabela 3 mostra os valores da rigidez dos componentes assim como suas respectivas posições adotadas no modelo.

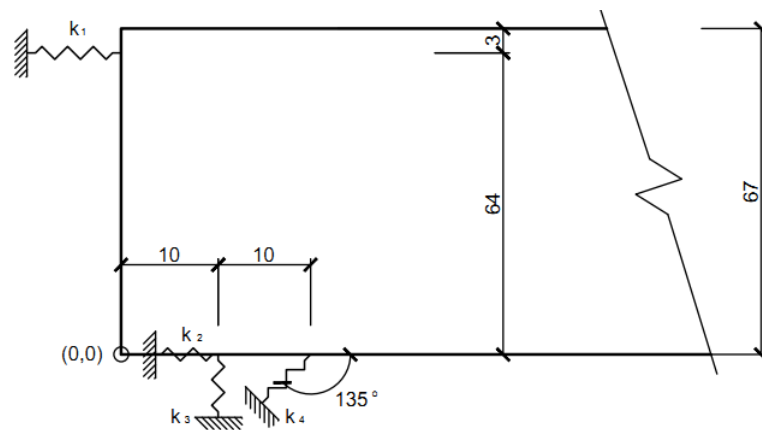


Figura 8 – Componentes Ligação 2.

Tabela 3 – Propriedades dos componentes

Componente	Rigidez (kN/m)	x (m)	y (m)	α (graus)
Concreto	1.000E+10	0.20	0.00	45.00
Chumbador (tração)	3.724E+05	0.10	0.00	90
Chumbador (corte)	5.350E+04	0.10	0.00	0
Reforço	5.630E+05	0.00	0.64	0

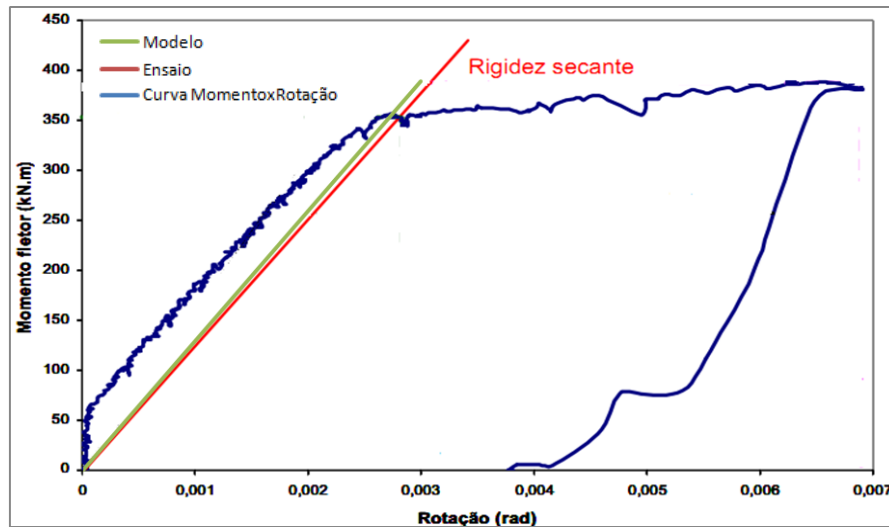


Figura 9 – Comparação dos resultados do modelo e do ensaio - Ligação 2.

Tabela 4 – Quadro comparativo entre ensaio e modelo – Ligação 2

	Ensaio	Modelo	Diferença (%)
K (kNm/rad)	120689	128771	6,3%
α_r	0,741	0,754	1,7%

Na Figura 9 temos em verde a reta equivalente à rigidez obtida pelo programa, em azul é mostrada a curva momento-rotação até a ruptura e em vermelho o valor da rigidez secante. Observa-se ainda que a rigidez secante encontra-se paralela a um longo trecho do gráfico, o que pode indicar a alta rigidez inicial, antes da plastificação (logo no início do carregamento), como também uma falha na leitura. Na Tabela 4 temos um quadro comparativo entre os resultados do ensaio e do modelo.

Comparando-se a Ligação 1 com a Ligação 2 vemos que a segunda obteve um fator de restrição 16% melhor com relação à primeira. Isto se deve, possivelmente, a maior altura da peça e ao fato de a segunda ser uma ligação com continuidade, enquanto a primeira ser de um pilar de extremidade, onde as barras não estão devidamente ancoradas.

Ligação 3

A Ligação 3 foi desenvolvida na University of Nebraska pelo professor Maher Tadros juntamente com o professor Augusto Teixeira de Albuquerque do DEECC/UFC (Albuquerque 2007, p.184). Na Figura 10 é mostrado o detalhe da armadura longitudinal da ligação.

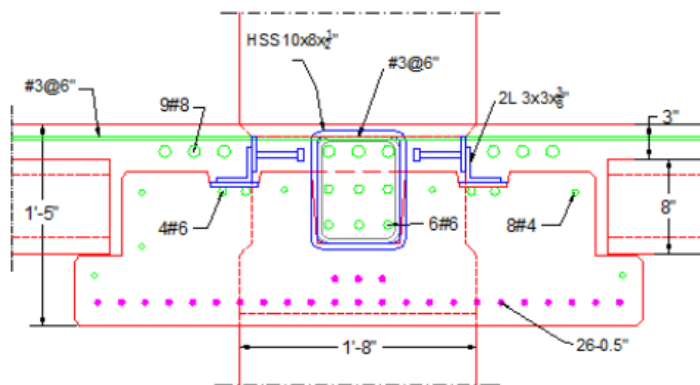


Figura 10 – Detalhe da armadura longitudinal.

Uma vez que não há ensaios específicos desta ligação para determinar sua curva momento-rotação não é possível comparar os resultados obtidos na planilha com resultados experimentais. O f_{ck} adotado foi 40 MPa e aço CA-50.

Na Figura 51 temos o modelo adotado. A Tabela 12 mostra os valores da rigidez dos componentes assim como suas respectivas posições adotadas no modelo.

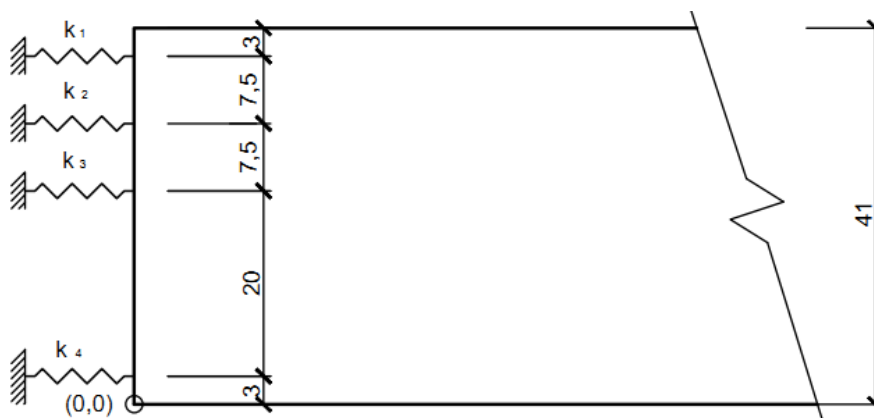


Figura 11 – Componentes ligação 3.

Tabela 5 – Propriedades dos componentes

Componente	Rigidez (kN/m)	x (m)	y (m)	α (graus)
Concreto	1.000E+10	0.00	0.03	0
Reforço 1	1.255E+06	0.00	0.38	0
Reforço 2	2.940E+05	0.00	0.30	0
Reforço 3	2.940E+05	0.00	0.23	0
Perfis Metálicos	1.000E+10	0.00	0.00	90

A rigidez obtida para esta ligação foi de 187MNm/rad.

O parâmetro de restrição α_r obtido da foi 0.834, uma rigidez alta, comparada, por exemplo, com os modelos dos exemplos anteriores. Isto se deve ao grande número de barras posicionadas na região superior, que aumenta muito a rigidez da ligação.

4 PÓRTICO

Para efeito didático, foi analisado o efeito da rigidez da ligação em um pórtico plano, quanto a deslocamento e esforços. O pórtico utilizado tem a mesma geometria de Meireles Neto(2012), adaptado para as dimensões das seções. A ligação escolhida foi a proposta por Albuquerque (2007), uma vez que esta apresentou uma rigidez significativa. O sistema escolhido apresenta ainda uma boa compatibilidade com o modelo de pórtico plano, uma vez que a montagem das vigas se dá unidirecionalmente.

O programa utilizado foi o Software FAST v 1.0 (Finite Element Analysis Tool) desenvolvido pelo LMCV (Laboratório de Mecânica Computacional e Visualização) da UFC.

Propriedades do pórtico

O pórtico possui 5 pavimentos e com pé direito de 3,24m, usual nos edifícios no Brasil, e vãos de 8 metros, comuns em prédios de escritórios, como mostrado na Figura 12.

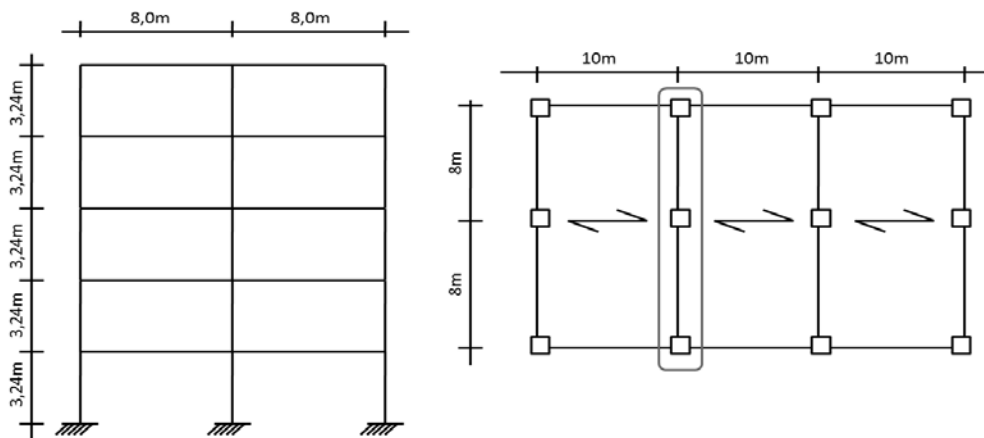


Figura 12 – Pórtico analisado.

Na Tabela 6 é apresentada a geometria dos elementos assim como seu carregamento, os valores estão em metros.

Tabela 6 – Propriedades geométricas dos elementos

	Base	Altura	Área	Inércia
Vigas	1,22	0,41	0,5002	7,01E-03
Pilares	0,508	0,508	0,2581	5,55E-03

O f_{ck} adotado tanto em vigas quanto pilares foi de 40 MPa, contudo, a NBR 6118:2003, no item 15.7, que pauta a análise de estruturas de nós móveis, pode-se considerar a não linearidade física de forma aproximada, a partir das equações (5) a (7). A NBR 6118: 2003 define estruturas de nós móveis como sendo aquelas em que os deslocamentos horizontais não são pequenos e, portanto, os esforços de segunda ordem são significativos. Uma vez que queremos analisar o efeito da ligação na estrutura, e esta deve deslocar-se a fim de gerar esforços, devemos considerar a estrutura como de nós móveis.

$$\text{Vigas: } (EI)_{\text{sec}} = 0,4E_{cl}I_c \quad (5)$$

$$\text{Pilares: } (EI)_{\text{sec}} = 0,8E_{ci}I_c \quad (6)$$

$$E_{ci} = 5600*(f_{ck})^{1/2} \quad (7)$$

Onde $(EI)_{\text{sec}}$ é a rigidez secante, considerando a não linearidade física, E_{ci} é o módulo e elasticidade inicial e I_c é a inércia da seção plena.

Carregamento

O carregamento permanente foi obtido conforme a Tabela 7.

Tabela 7 – Carregamentos Verticais

Peso próprio da laje pronta de 21cm de altura	31,40 kN/m
Pavimento e revestimento	20,00 kN/m
Paredes	20,00 kN/m
Capa de 5cm de concreto	12,50 kN/m
Peso próprio da viga	12,50 kN/m

Segundo a NBR 6120/1980 (p. 3) a carga vertical acidental a ser adotada em estruturas de escritórios é de 2kN/m², como a área de influencia da viga é de 10m por seu comprimento, a carga acidental na viga é de 20 kN/m. O resumo das cargas esta expresso na Tabela 8.

Tabela 8 – Resumo dos carregamentos verticais

Carregamentos permanentes	96,40 kN/m
Carregamento acidental	20,00 kN/m

Utilizando a combinação do estado limite último definida na NBR 6118/2003 e expressa na Eq. 8.

$$F_d = 1,3F_{gk} + 1,4F_{qk} \quad (8)$$

Onde F_{gk} é a carga permanente e a carga acidental, a carga de vento não foi levada em consideração uma vez que é horizontal e pode ser tratada separadamente.

Por fim temos a carga devida ao vento, calculada conforme a NBR6123/1988, para um edifício localizado na cidade de Fortaleza, Ceará, considerando ventos de baixa turbulência. Os resultados estão expressos na Tabela 9.

Tabela 9 – Carregamentos horizontais (vento)

Pavimento	F_{vk}	F_{vd}
5°	6,8 kN	5,7 kN
4°	13,1 kN	11,0 kN
3°	12,4 kN	10,4 kN
2°	11,6 kN	9,7 kN
1°	10,2 kN	8,6 kN

A carga vertical total aplicada na estrutura é de 153,32 kN/m. Na Figura 13 temos o esquema das cargas aplicadas no pórtico.

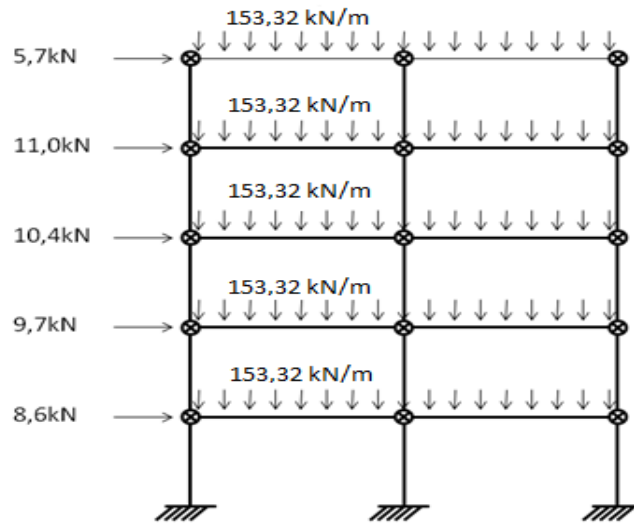


Figura 13 – Cargas aplicadas ao pórtico.

Resultados

O pórtico foi processado em três situações, para a mesma geometria e carga, onde foi alterada apenas a rigidez da mola em cada ligação, zero, para a situação rotulada, um valor alto (tendendo a infinito) para a situação de engastamento perfeito e 187MNm/rad para a condição semirrígida.

Foram tomados dois critérios de avaliação do comportamento da estrutura. O deslocamento do topo do pórtico e o momento gerado no pilar da extremidade esquerda. O modelo e resultados são mostrados nas Figura 14 – Momento na base do pilar P3 e Figura 15 – Deslocamento do topo do pórtico.

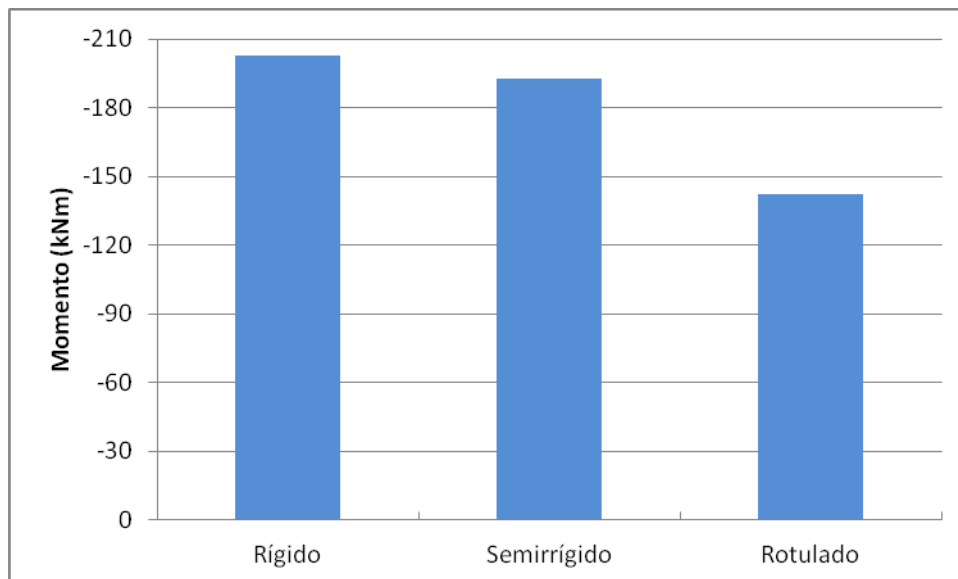


Figura 14 – Momento na base do pilar P3.

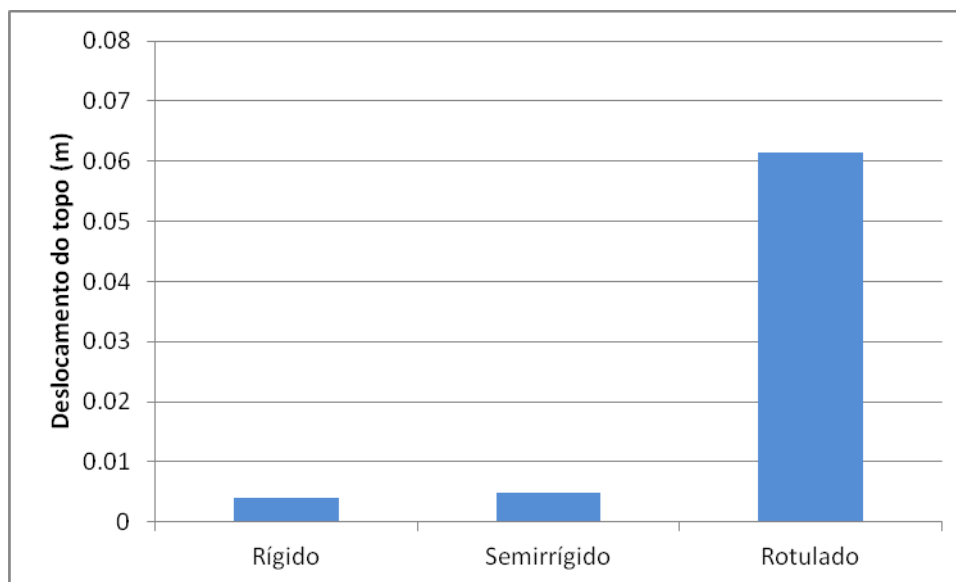


Figura 15 – Deslocamento de topo.

Podemos observar que a rigidez considerada na ligação tornou o funcionamento da estrutura muito próximo de uma situação perfeitamente rígida, validando a classificação proposta por Ferreira (2002), afinal, a ligação modelada possui um fator de restrição de 0.834 e segundo o mesmo, pode-se considerar a ligação como rígida para valores de ar a partir de 0.89.

5 CONCLUSÕES

Concluimos que o modelo adotado apresenta uma boa aproximação dos resultados obtidos em laboratório, o que torna o programa uma ferramenta eficiente para estimar a rigidez de ligações na ausência de um resultado experimental. Entretanto, uma vez que os resultados não são exatos, devem-se validar os resultados através de outras metodologias.

Tais resultados permitem que o programa seja utilizado na etapa de ante projeto a fim de estimar em etapa preliminar a rigidez da ligação, assim como inferir quanto à qualidade e eficiência da ligação assim como a necessidade de aumento ou redução da seção e reforços para atingir de forma econômica o resultado esperado.

Quanto à ligação desenvolvida em Albuquerque (2007, p.184), vemos que ela apresenta uma alta rigidez, resultado devido à grande quantidade de barras utilizadas no reforço ao momento negativo.

A partir dos resultados dos pórticos, podemos concluir que a rigidez das ligações confere um pequeno aumento de esforços de flexão nos pilares, entretanto, a redução dos deslocamentos da estrutura é grande, tanto maior quanto for a rigidez da ligação.

6 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A.T. **Otimização de pavimentos de edifícios com estruturas de concreto pré-moldado utilizando algoritmos genéticos**. 263p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

ALENCAR, P. H. L. **Determinação da rigidez à rotação de ligações pré-moldadas utilizando o método dos componentes**. 63p. Monografia – Universidade Federal do Ceará, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações. Rio de Janeiro, 1980. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988. 66 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de Estruturas de Concreto. Rio de Janeiro, 2003. 221 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062**: Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado. Rio de Janeiro, 2006. 42 p.

BALDISSERA, A. **Estudo experimental de uma ligações viga-pilar de concreto pré-moldado parcialmente resistente ao momento fletor**. 149p. Dissertação (Mestrado em Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

FERREIRA, A.M., EL DEBS, M.K., ELLIOTT, K.S., **Modelo Teórico para Projeto de Ligações Semi-Rígidas em Estruturas de Concreto Pré-Moldado**. Instituto Brasileiro de Concreto, 2002.

KATAOKA, M.N. **Estudo da continuidade em ligações laje-viga-pilar em estruturas pré-moldadas de concreto**. 133p. Dissertação (Mestrado em Sistemas Construtivos de Edificações) - Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, 2007.

MEIRELES NETO, M. **Estabilidade de edifícios de concreto pré-moldado com ligações semirrígidas**. 121p. Dissertação (Mestrado em Estruturas) - Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

MIOTTO A. M. **Ligações viga-pilar de estruturas de concreto pré-moldado: Análise com ênfase na deformabilidade ao momento fletor**. 234p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

MOTA, J. E. **Contribuição ao projeto de estruturas multi-piso reticuladas em concreto pré-moldado**. 245p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

TADROS, M., & MORCOUS, G. **Shallow hollow-core floor system (Final Report)**. Nebraska-Lincoln, 2001.