

Received:
February 18, 2025

Accepted:
April 29, 2025

Published:
April 30, 2025

Evaluation of Approximate Methodologies for Dimensioning Reinforced Concrete Columns According to NBR 6118

Rafael Pereira Malheiros¹ , Thiago Fonseca Diniz¹ , Antônio Ribeiro de Oliveira Neto¹ , Thiago Bomjardim Porto¹ 

¹ Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Curvelo, Brazil.

Email address

rafaelpereira874@gmail.com (Rafael P. Malheiros) – Corresponding author
thiagojmde@yahoo.com.br (Thiago F. Diniz)
antonioribeiro@cefetmg.br (Antônio R. Oliveira Neto)
thiago.porto@cefetmg.br (Thiago B. Porto)

Abstract

A comparative analysis was carried out between two semi-empirical methods for calculating double-supported columns established by ABNT NBR 6118 de 2023, “Concrete Structures Design – Procedure”, with emphasis on columns classified as moderately slender, with a slenderness index between 35 and 90. A comparison was made of steel consumption and the moment requesting calculation for 18 different columns (geometry and loading), considering the calculation methods (I) of the standard column with approximate curvature and, (II) of the standard column with approximate “κ” stiffness. The main differences obtained refer to the methodology for calculating second-order geometric effects for evaluating the structural deformability of bars after being requested by design loads. The analyzes carried out considered the three classifications of pillars provided for in the Brazilian Regulations: corner, end and center. Finally, it was concluded that methodology (II) standard column method with approximate “κ” stiffness proved to be more economical, with an indication of a reduction in the reinforcement rate of reinforced concrete columns varying in the order of 50% (± 34%) depending on the conditioning variables of each element analyzed.

Keywords: Reinforced Concrete Structures, Reinforced Concrete Columns, Buckling, Dimensioning, 2nd Order Effects.

1. Introdução

A construção civil existe desde os primórdios da existência humana, de modo que, a necessidade de abrigo e de moradia fez com que a humanidade buscasse desenvolver cada vez mais suas técnicas construtivas, sobretudo de maneira empírica, baseado em tentativas e erros, especialmente nos componentes estruturais, em aspectos tais como velocidade de construção, qualidade dos materiais, eficiência nos gastos de obra prima e segurança nas construções. Haja vista o aprimoramento das técnicas construtivas em obras de grande porte, como as edificações da idade média no século XV, aprimoradas pelos construtores góticos e medievais, com o uso concreto baseado em cal e pedregulhos em suas fundações (Kaefer, 1998).

Consequentemente, já foram utilizados e aprimorados diversos materiais nos componentes estruturais, como rochas nas primeiras construções; e posteriormente madeira, ferro e aço, que são utilizados até nos período atuais. Em 1849, foi elaborada por Joseph Aspdin, a invenção do cimento Portland, que por sua vez foi utilizado por Joseph-Louis Lambot em 1855 para desenvolver a concepção inicial do concreto armado, cuja primeira proposta foi a construção de um barco utilizando o cimento Portland com areia e fios de arame. A partir disso, o uso do concreto armado foi se consolidando e aprimorando até os tempos contemporâneos, onde o mesmo se tornou o material mais utilizado em elementos estruturais. (Silva, 2018)

Um dos elementos estruturais fundamentais são os pilares, que são elementos verticais que

servem como suporte para uma construção, recebendo as cargas oriundas das lajes ou vigas e transmitindo-as para os elementos inferiores, as fundações, garantindo a estabilidade geral da estrutura. Além do aprimoramento executivo das estruturas de concreto armado, o estudo comportamental sobre o dimensionamento estrutural de pilares tem evoluído bastante nos últimos anos, com destaque aos trabalhos de Qiang et al. (2015), Seo, Choi and Lee. (2015), Kos, Dmitrović and Klimenko (2017), Rodrigues and Araújo (2018), Virgens et al. (2019), Fei-Yu et al (2020), Fernandes et al (2020), Caribeno et al. (2022), Lourenção et al. (2022), Agüero et al. (2022), Prado, Miranda and Caldas (2022), Barbosa, Filho and Real (2024), Koyama (2024), Guerra and Carrazedo (2024) e Pes, Rocha and Lazzari (2024).

Os efeitos globais de segunda ordem, refletem no impacto dos esforços gerados a partir dos deslocamentos horizontais que podem ocorrer em uma estrutura. Esses deslocamentos horizontais, denominados de flambagem, são gerados pelas forças axiais aplicadas nos pilares e têm maior chance de ocorrer em peças com alto índice de esbeltez, que é uma propriedade geométrica criada para mensurar a tendência de ocorrer o fenômeno de flambagem em um pilar, relacionado a área transversal e o comprimento da peça analisada. (Porto and Fernandes, 2015)

Desse modo, pelas particularidades de deformação dos pilares supracitados, os mesmos possuem extrema complexidade em seus cálculos e análises, e consequentemente, os mesmos passaram por diversas evoluções em seus processos de cálculo, assim como possuem diversos procedimentos de dimensionamento. (Scadelai, 2004)

Decorrente disso, a NBR 6118 (ABNT, 2023), estabelece diferentes métodos de cálculo para o dimensionamento de pilares de concreto armado, de modo que, o presente artigo objetivou analisar os métodos (I) do pilar-padrão com curvatura aproximada e, (II) do pilar-padrão com rigidez “ κ ” aproximada, de forma analítica, a fim de se obter conclusões sobre qual é o melhor método em aspectos de economia e eficiência.

2. Metodologia

A presente pesquisa teve como objetivo comparar os métodos aproximados (I) do pilar-

padrão com curvatura aproximada e, (II) do pilar-padrão com rigidez “ κ ” aproximada para o dimensionamento de pilares. Logo inicialmente foi necessário definir as características dos materiais de teste, como geometria, condições de contorno, posicionamento em planta e carregamentos; para em sequência serem feitos os dimensionamentos e análises. Apresenta-se na Figura (1), o fluxograma metodológico da pesquisa.

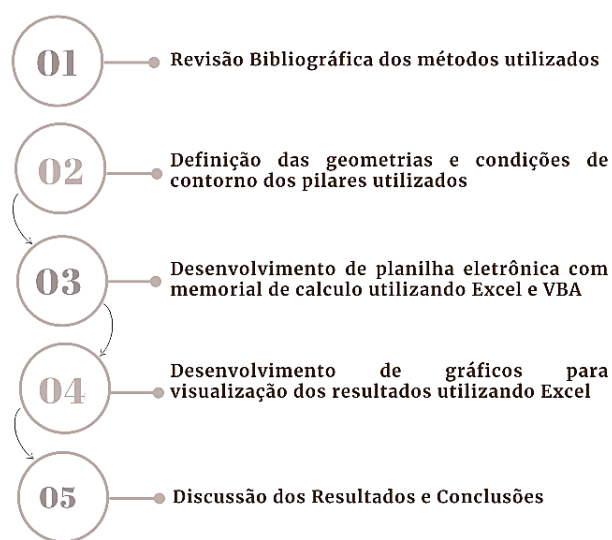


Figura 1 - Fluxograma metodológico da pesquisa.

2.1. Definição dos pilares analisados

Uma das classificações de pilares é de acordo com seu índice de esbeltez (λ) que é definido pela relação entre o comprimento de flambagem do pilar e o raio de giração de sua seção transversal, possuindo objetivo de quantificar a tendência de ocorrer o fenômeno de flambagem na peça analisada. (Porto and Fernandes, 2015)

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2023), os pilares devem possuir um valor de índice de esbeltez de até no máximo 200, a fim de se dimensionar um pilar seguro no que diz respeito às suas tendências de flambagem. Além disso, os pilares podem ser classificados em relação ao seu índice de esbeltez de acordo com a Tabela (1), de modo que, quanto maior o índice de esbeltez, maior a tendência de ocorrer flambagem no pilar analisado.

Os métodos de cálculos analisados podem ser empregados apenas no cálculo de pilares com $\lambda \leq 90$. Logo, foram definidas geometrias que classifiquem os pilares como medianamente esbeltos, e que necessitassem de uma análise dos efeitos de segunda ordem.

Tabela 1 - Classificação de pilares quanto seu índice de esbeltez (Porto and Fernandes, 2015)

Índice de esbeltez (λ)	Tipo de Pilar
$\lambda \leq 35$	Pilares curtos
$35 < \lambda \leq 90$	Pilares medianamente esbeltos
$90 < \lambda \leq 140$	Pilares esbeltos
$140 < \lambda \leq 200$	Pilares muito esbeltos

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2023), os pilares também podem ser classificados quanto sua posição, sendo divididos em pilares internos, pilares de borda ou pilares de canto. E essa classificação possui suma importância na análise estrutural dos pilares, pois influência nos esforços exercidos sob as peças analisadas.

Os pilares internos, são estruturas que sustentam duas ou mais vigas contínuas, e devido a isso, os momentos gerados pelas duas divisões da viga se anulam, desse modo, o único esforço considerado nesses elementos é o de compressão normal. Já os pilares de borda, possuem apenas uma viga contínua, de modo que, apenas essa viga tem seus momentos anulados, e consequentemente, o pilar sofre os esforços da compressão normal e de apenas um momento fletor. Enquanto os pilares de canto, não possuem nenhuma viga contínua, logo recebendo os esforços da compressão normal e de dois momentos fletores, um em cada eixo. (Porto and Fernandes, 2015). Para as análises realizadas, foram utilizados os três posicionamentos em planta para se obter maior diversificação nos resultados.

Em relação aos esforços, foram determinados valores de força normal de compressão de acordo com a seção definida, utilizando uma relação de 40% em relação ao esforço resistente. Em termos de esforços de momento, nos pilares de borda foi adicionado um momento de 25 kNm no eixo de maior inercia no topo do pilar; e nos pilares de canto, além do momento acrescido nos pilares de borda, foi adicionado também um momento de 15 kNm no eixo de menor inercia no topo do pilar.

E a partir das classificações mencionadas, foram definidos os 18 pilares vistos na Tabela (2). De modo que, em termos de posicionamento de pilar, foram adotados os seguintes casos: Pilar de centro (P1 ao P6), Pilar de borda (P7 ao P12) e Pilar de canto (P13 ao P16), e foram utilizadas as condições de apoio articulado fixo em ambas as extremidades das estruturas.

Tabela 2 - Seção e solicitação dos pilares analisados.

Pilar	Seção (m)			Esforços		
	x	y	h	Nsd (kN)	M _{A,X} (kN.m)	M _{A,Y} (kN.m)
P1	0,15	0,25	3,00	267,86	0	0
P2	0,15	0,30	3,00	321,43	0	0
P3	0,20	0,20	4,50	285,71	0	0
P4	0,20	0,25	4,50	357,14	0	0
P5	0,25	0,25	5,00	446,43	0	0
P6	0,25	0,30	5,00	535,71	0	0
P7	0,15	0,25	3,00	267,86	25	0
P8	0,15	0,30	3,00	321,43	25	0
P9	0,20	0,20	4,50	285,71	25	0
P10	0,20	0,25	4,50	357,14	25	0
P11	0,25	0,25	5,00	446,43	25	0
P12	0,25	0,30	5,00	535,71	25	0
P13	0,15	0,25	3,00	267,86	25	15
P14	0,15	0,30	3,00	321,43	25	15
P15	0,20	0,20	4,50	285,71	25	15
P16	0,20	0,25	4,50	357,14	25	15
P17	0,25	0,25	5,00	446,43	25	15
P18	0,25	0,30	5,00	535,71	25	15

2.2. Desenvolvimento dos cálculos

Após a seleção dos pilares a serem analisados, foi desenvolvida uma planilha eletrônica no Excel, com a implementação de macros em *Visual Basic for Applications* (VBA). Essa ferramenta permitiu a automatização dos cálculos e a geração de um memorial de cálculo completo, otimizando o tempo e a precisão dos resultados. Foram desenvolvidos os procedimentos de cálculo para os dois métodos utilizados, (I) do pilar-padrão com curvatura aproximada e, (II) do pilar-padrão com rigidez “κ” aproximada. A planilha foi desenvolvida conforme os procedimentos estipulados pela NBR 6118 (ABNT, 2023), PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO – PROCEDIMENTO, de modo que, foram respeitados os processos de cada metodologia de cálculo, assim como os parâmetros das condições

de contorno e posicionamentos de pilares utilizados. Para a obtenção das áreas de aço, foram utilizados os ábacos de Venturini and Rodrigues (1987) (Flexão composta) e Pinheiro, Baraldi and Porem (2009) (Flexão oblíqua).

A planilha desenvolvida tem os seguintes parâmetros de entrada e saída, vistos no fluxograma da Figura (2).

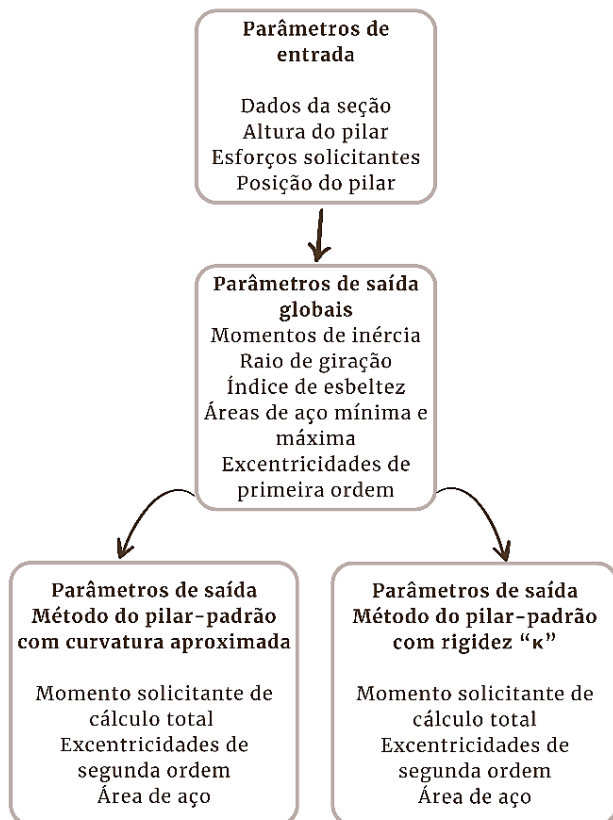


Figura 2 - Fluxograma de parâmetros da planilha eletrônica.

Com base nos cálculos realizados na planilha eletrônica desenvolvida, foram gerados gráficos comparativos para a análise dos resultados obtidos utilizando o Power Bi. A utilização dos gráficos permitiu a visualização clara e objetiva das diferenças entre os métodos, facilitando a interpretação dos dados e possibilitando a identificação de padrões.

4. Resultados e Discussões

A partir da análise comparativa dos dois métodos aproximados estabelecidos pela NBR 6118 (2023), pode ser realizada uma avaliação detalhada das diferenças entre os métodos aproximados adotados. Para isso, foram gerados gráficos comparativos que ilustram o comportamento dos esforços internos e das áreas de aço dimensionadas em cada metodologia.

Nas Figuras (3) e (4), podem ser observados os gráficos gerados para avaliar a distribuição dos momentos máximos solicitantes nos eixos X e Y. Esses momentos são fundamentais na avaliação dos efeitos de segunda ordem nos pilares, influenciando diretamente no dimensionamento das armaduras. Os gráficos fornecem uma visão clara da variação dos momentos solicitantes para cada um dos 18 pilares analisados, permitindo a comparação direta entre os métodos.

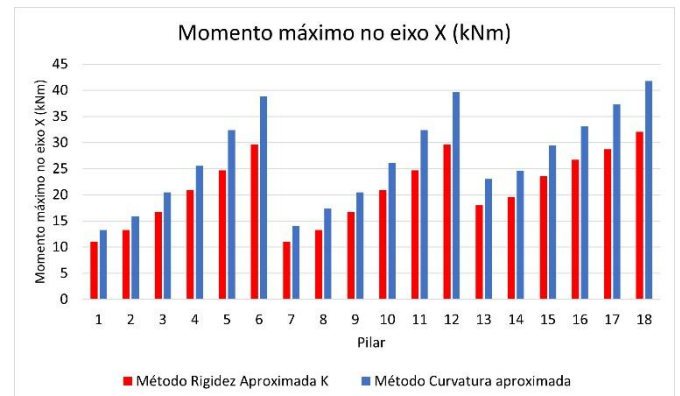


Figura 3 - Comparativo Momento Máximo no eixo X.

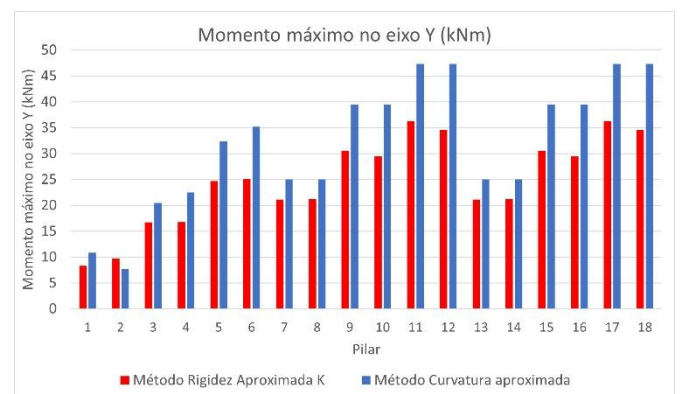


Figura 4 - Comparativo Momento Máximo no eixo Y.

Os valores obtidos para os momentos solicitantes tanto no eixo X quanto no eixo Y apresentam variações entre os métodos, sendo observada uma tendência geral de valores menores para o método da rigidez "κ" aproximada em comparação com o método da curvatura aproximada.

Na Figura (5), podem ser observadas as áreas de aço para os dois métodos analisados, e os resultados apresentados no gráfico mostram que o método da rigidez "κ" aproximada resultou em áreas de aço menores na maioria dos pilares analisados. Essa redução indica um dimensionamento mais econômico, com menor consumo de aço, sem comprometer a segurança da estrutura.

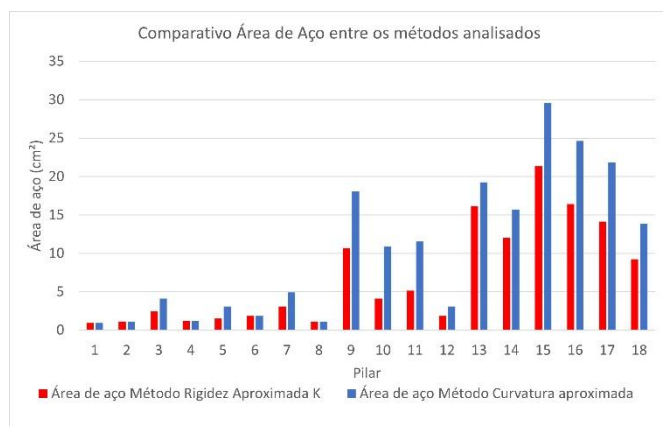


Figura 5 - Comparativo entre áreas de aço para os dois métodos analisados.

Para quantificar o impacto da escolha do método de cálculo, foi elaborado um gráfico que exibe a diferença percentual da área de aço entre os dois métodos, vista na Figura (6). O eixo vertical representa a porcentagem de aumento da área de aço do método da curvatura aproximada em relação ao método da rigidez " κ " aproximada.

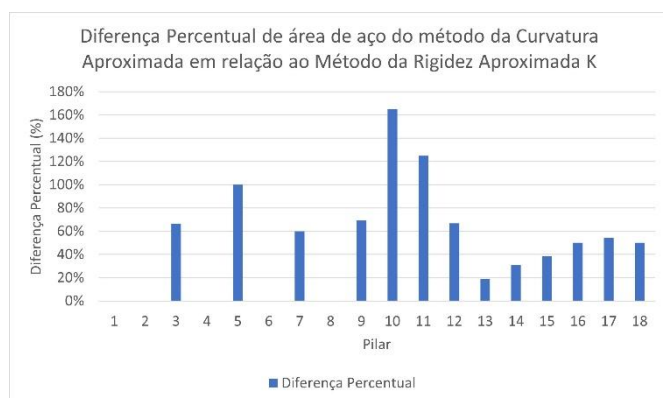


Figura 6 - Desvio percentual entre áreas de aço dos dois métodos analisados.

Os resultados indicam que a redução da taxa de armadura varia significativamente entre os pilares analisados, com valores podem variar de 20% à até 150% em alguns casos. Essa variação está diretamente relacionada às condições geométricas e dos esforços solicitantes de cada pilar, evidenciando que o método da rigidez " κ " aproximada apresenta uma maior eficiência no dimensionamento das seções de concreto armado, apresentando uma taxa de redução média de armadura de 50% ($\pm 34\%$) para os 18 pilares analisados.

5. Conclusão

Este estudo realizou uma análise comparativa entre dois métodos semiempíricos para o cálculo de pilares biapoiados conforme a NBR

6118 (2023), com foco em pilares medianamente esbeltos, cujo índice de esbeltez varia entre 35 e 90. A pesquisa envolveu a comparação do consumo de aço e dos momentos solicitantes em 18 pilares distintos, considerando os métodos do pilar-padrão com curvatura aproximada e do pilar-padrão com rigidez " κ " aproximada.

A análise dos momentos máximos solicitantes revelou que o método da rigidez " κ " aproximada resultou, em geral, em valores menores do que aqueles obtidos pelo método da curvatura aproximada, refletindo diferenças na consideração dos efeitos de segunda ordem. Consequentemente, os resultados obtidos demonstraram que o método da rigidez " κ " aproximada apresentou um desempenho mais econômico, com uma redução média de 50% ($\pm 34\%$) na taxa de armadura em comparação ao método da curvatura aproximada.

Essa redução pode representar uma economia significativa no consumo de aço, contribuindo para a otimização do consumo de material sem comprometer a segurança da estrutura. Em alguns casos, a diferença entre as áreas de aço obtidas pelos dois métodos foi bastante acentuada, podendo chegar à taxas de redução de até 150%, reforçando a tendência de superdimensionamento do método da curvatura aproximada quando comparado ao método da rigidez " κ " aproximada.

Conclui-se, portanto, que o método da rigidez " κ " aproximada representa uma alternativa viável e mais econômica para o dimensionamento de pilares biapoiados, reduzindo significativamente a taxa de armadura e, consequentemente, os custos de material, sem comprometer a segurança estrutural da edificação.

Referências

- Aguero, R.R., Yopez Aguirre, J.R., Schmitz, M. and Viegas, C.H.H., 2022. Structural retrofitting method for evaluating RC Jacketing in columns with amplification of moments under seismic loads. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 15(5), e15510. <https://doi.org/10.1590/S1983-41952022000500010>
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2023. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro.
- Barbosa, P.R.O., Filho, A.C. and Real, M.V., 2023. Non-linear numerical simulation of reinforced concrete columns through ANSYS. *REEC - Revista*

- Eletrônica de engenharia Civil, 19(2), pp. 65–79. <https://doi.org/10.5216/reec.v20i1.59343>
- Carobeno, C.L., Pereira, E.M.V., Andrade, R.B., Rodrigues, I.D., Vieira Junior, L.C.M. and Siqueira, G.H., 2022. Strong Column - Weak Beam: impacto do uso de relações de momento resistente pilar-viga na localização e formação de rótulas plásticas em estruturas de concreto armado. In: Anais Jubileu de Ouro. Congresso Brasileiro de Concreto, 63. IBRACON.
- Diniz, T.F., 2019. Análise crítica das metodologias de cálculo de pilares de concreto armado medianamente esbeltos recomendadas pela NBR 6118/2014. Monografia de graduação. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais Unidade Curvelo, Curvelo.
- Fei-Yu, J., Chun-Hui, H., Jing-Jing, Z. and Ji-Huan, H., 2020. A fractal Boussinesq equation for nonlinear transverse vibration of a nanofiber-reinforced concrete pillar. *Applied Mathematical Modelling*, 82, pp. 437–448. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2020.01.027>
- Fernandes, T.C.F., Barros, R., Neto, J.A.N. and Silva Filho, J.N., 2020. Generation of abacuses for design of reinforced concrete column of circular section. *Revista Brasileira de Engenharia Civil*, 1(1), pp. 79–97.
- Guerra, N.L.D. and Carrazedo, R., 2024. Impact of design parameters and stress-strain diagrams on the ultimate limit state of instability in reinforced concrete columns. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 17(2), p. e17216. <https://doi.org/10.1590/S1983-41952024000200016>
- Kaefer, L.F., 1998. A evolução do concreto armado. PEF 5707 – Conceção, Projeto e Realização das estruturas: aspectos históricos. Universidade Estadual Paulista. São Paulo.
- Kos, Z., Dmitrović, L.G. and Klimenko, E., 2017. Developing a model of a strain (deformation) of a damaged reinforced concrete pillar in relation to a linear load capacity. *Tehnički glasnik*, 11(4), pp. 135–144.
- Koyama, D.Y.B., Romanini, A., Muller, H.M.B. and Silva, J.M.V.B., 2024. Analysis of reinforced concrete pillars pre-dimensioning methods for 5, 10 and 15 floor buildings (geometric proportion plan 1:2). *REEC - Revista Eletrônica de engenharia Civil*, 20(1), pp. 47–64. <https://doi.org/10.5216/reec.v20i1.57142>
- Lourenção, J.S., Arpini, P.A.T., Erlacher, G. and Alves, Ê.C., 2022. Optimized design of concrete-filled steel columns. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 15(1), p. e15102. <https://doi.org/10.1590/S1983-41952022000100002>
- Pes, F.P., Rocha, M.M. and Lazzari, P.M., 2024. Investigation of an alternative system for monitoring strains in reinforced concrete structures. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 17(3), p. e17308. <https://doi.org/10.1590/S1983-41952024000300008>
- Pinheiro, L.M., Baraldi, L.T. and Porem, M.E., 2009. Estruturas de concreto: Ábacos para flexão oblíqua. Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Porto, T.B. and Fernandes, D.S.G., 2015. Curso básico de concreto armado: conforme NBR 6118/2014. São Paulo: Oficina dos Textos.
- Prado, L.F.P., Miranda, L.G.J. and Caldas, R.B., 2022. Crestbond shear connector for load transfer on concrete filled composite columns in fire. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 15(3), p. e15310. <https://doi.org/10.1590/S1983-41952022000300010>
- Qiang, S., Jixiong, Z., Feng, J., Linyue, L. and Xu, Z., 2015. Research and application of schemes for constructing concrete pillars in large section finishing cut in backfill coal mining. *International Journal of Mining Science and Technology*, 25(6), pp. 915–920. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2015.09.006>
- Rodrigues, P.C. and Araújo, D.L., 2018. Analysis of the efficiency of strengthening design models for reinforced concrete columns. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 11(6), pp. 1418–1452. <https://doi.org/10.1590/S1983-41952018000600013>

Scadelai, M.A., 2004. Dimensionamento de pilares de acordo com a NBR 6118:2003. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

Seo, H.J., Choi, H. and Lee, I.M., 2016. Numerical and experimental investigation of pillar reinforcement with pressurized grouting and pre-stress. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 54, pp. 135-144.
<https://doi.org/10.1016/j.tust.2015.10.018>

Silva, B.N.S., 2017. Estruturas em concreto armado: Cálculo manual x Software de dimensionamento. Monografia de graduação. Curso de Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe Campus Aracaju, Aracaju.

Venturini, W.S. and Rodrigues, R.O., 1987. Dimensionamento de peças retangulares de concreto armado solicitadas à flexão reta. Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Virgens, J.P., Gomes, R.B., Trautwein, L.M., Guimarães, G.N. and Vaz, A.P.R., 2018. Experimental analysis of eccentrically loaded reinforced concrete columns with an added jacket of self-compacting concrete. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 12(2), pp. 329–336.
<https://doi.org/10.1590/S1983-41952019000200007>