

ESTABILIDADE GLOBAL DE ESTRUTURAS DE CONCRETO: Não-linearidades e a influência da protensão em sistemas sem vigas**GLOBAL STABILITY OF CONCRETE STRUCTURES: Nonlinearities and the influence of prestressing in beamless systems****ESTABILIDAD GLOBAL DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN: No linealidades y la influencia de la pretensión en sistemas sin vigas****Charles Michel Lasta¹ e Francieli Tiecher Bonsembiante²**¹Mestrando em Arquitetura e Urbanismo, ATITUS Educação, Passo Fundo/RS, Brasil. charlesmichellasta@gmail.com²Docente do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Arquitetura e Urbanismo, ATITUS Educação, Passo Fundo/RS, Brasil. francieli.bonsembiante@atitus.edu.br

Resumo: A crescente verticalização das cidades brasileiras impõe desafios à estabilidade global das estruturas de concreto, exigindo análises mais rigorosas quanto aos efeitos de segunda ordem e à rigidez dos elementos estruturais. Nesse contexto, o uso de lajes protendidas sem vigas tem se mostrado vantajoso por eliminar discontinuidades e acelerar a execução, embora introduza particularidades no comportamento global das edificações. Este artigo apresenta uma revisão bibliográfica sobre os principais fatores que influenciam a estabilidade global de edifícios de concreto, com ênfase na influência da protensão. São discutidos os efeitos das não-linearidades física e geométrica, o coeficiente de estabilidade γ_z e o processo iterativo $P-\Delta$, conforme os critérios da NBR 6118 (ABNT, 2023). Observa-se que a não-linearidade física, associada à fissuração, fluência e imperfeições geométricas, reduz a rigidez efetiva dos elementos, sendo representada por coeficientes simplificados na norma brasileira. Contudo, em estruturas protendidas, a compressão prévia no concreto minimiza esses efeitos, mantendo maior rigidez e reduzindo deslocamentos. Apesar disso, a NBR 6118 não diferencia os critérios de rigidez entre concreto armado e protendido, o que pode conduzir a soluções superdimensionadas e menos eficientes. A análise da literatura reforça que a estabilidade global depende não apenas da rigidez dos pilares e do sistema de contraventamento, mas também da contribuição das lajes, especialmente em sistemas sem vigas. Conclui-se que há uma lacuna normativa quanto ao tratamento específico da protensão na avaliação da estabilidade global, sendo necessário o desenvolvimento de critérios que considerem suas particularidades para uma abordagem mais precisa e otimizada do comportamento estrutural.

Palavras chave: Estabilidade Global; Não-Linearidade Física; Protensão.

Abstract: The increasing verticalization of Brazilian cities poses significant challenges to the global stability of concrete structures, demanding more rigorous analyses of second-order effects and the stiffness of structural elements. In this context, the use of prestressed flat slabs without beams has proven advantageous by eliminating discontinuities and accelerating construction, although it introduces specific aspects to the global structural behavior. This paper presents a literature review of the main factors influencing the global stability of concrete buildings, with emphasis on the influence of prestressing. The study discusses the effects of physical and geometric nonlinearities, the γ_z stability coefficient, and the iterative $P-\Delta$ process, according to the criteria established in the Brazilian standard NBR 6118 (ABNT, 2023). It is observed that physical nonlinearity - associated with cracking, creep, and geometric imperfections - reduces the effective stiffness of the elements, being represented by simplified coefficients in the Brazilian code. However, in prestressed structures, the precompression in the concrete mitigates these effects, maintaining higher stiffness and reducing displacements. Despite this, NBR 6118 does not differentiate stiffness criteria between reinforced

and prestressed concrete, which may lead to oversized and less efficient designs. The literature analysis highlights that global stability depends not only on the stiffness of columns and the bracing system but also on the contribution of slabs, especially in beamless systems. It is concluded that there is a normative gap regarding the specific treatment of prestressing in the assessment of global stability, and that developing criteria considering its particularities is essential for a more accurate and optimized evaluation of structural behavior.

Keywords: Global Stability; Physical Nonlinearity; Prestressing.

Resumen: La creciente verticalización de las ciudades brasileñas plantea importantes desafíos para la estabilidad global de las estructuras de hormigón, exigiendo análisis más rigurosos de los efectos de segunda orden y de la rigidez de los elementos estructurales. En este contexto, el uso de losas pretensadas sin vigas se ha mostrado ventajoso al eliminar discontinuidades y acelerar la ejecución, aunque introduce particularidades en el comportamiento global de los edificios. Este artículo presenta una revisión bibliográfica sobre los principales factores que influyen en la estabilidad global de los edificios de hormigón, con énfasis en la influencia de la pretensión. Se discuten los efectos de las no linealidades física y geométrica, el coeficiente de estabilidad γ_z y el proceso iterativo $P-\Delta$, de acuerdo con los criterios establecidos en la norma brasileña NBR 6118 (ABNT, 2023). Se observa que la no linealidad física, asociada a la fisuración, la fluencia y las imperfecciones geométricas, reduce la rigidez efectiva de los elementos, representándose mediante coeficientes simplificados en la norma brasileña. Sin embargo, en las estructuras pretensadas, la compresión previa en el hormigón minimiza estos efectos, manteniendo una mayor rigidez y reduciendo los desplazamientos. A pesar de ello, la NBR 6118 no diferencia los criterios de rigidez entre el hormigón armado y el pretensado, lo que puede conducir a soluciones sobredimensionadas y menos eficientes. El análisis de la literatura destaca que la estabilidad global depende no solo de la rigidez de los pilares y del sistema de arriostramiento, sino también de la contribución de las losas, especialmente en sistemas sin vigas. Se concluye que existe una laguna normativa en el tratamiento específico de la pretensión en la evaluación de la estabilidad global, siendo necesario desarrollar criterios que consideren sus particularidades para una evaluación más precisa y optimizada del comportamiento estructural.

Palabras clave: Estabilidad Global; No Linealidad Física; Pretensión.

1. INTRODUÇÃO

A busca por soluções estruturais mais eficientes acompanha o avanço da verticalização nas cidades brasileiras, onde edifícios cada vez mais altos e esbeltos impõem desafios adicionais à estabilidade global das estruturas (Marques *et al.*, 2021; Reis *et al.*, 2018). Paralelamente, o processo de industrialização da construção civil favorece sistemas estruturais que eliminem discontinuidades nos pavimentos, como recortes e variações geométricas, promovendo maior racionalização e produtividade no canteiro de obras.

Nesse contexto, a utilização de lajes protendidas, sem vigas, tanto maciças quanto nervuradas, tem se mostrado uma solução eficaz, pois a supressão de vigas possibilita maior liberdade arquitetônica, redução de formas e menor tempo de execução (Feitosa; Alves, 2015; Passos *et al.*, 2016). No entanto, essas vantagens vêm acompanhadas de desafios importantes do ponto de vista do comportamento estrutural, especialmente no que tange à estabilidade global da edificação. A ausência de vigas limita a formação de pórticos rígidos entre as vigas e os pilares, dificultando o travamento da estrutura e

tornando a avaliação dos efeitos de segunda ordem ainda mais relevante (Feitosa; Alves, 2015; Paixão; Alves, 2016).

A análise da estabilidade global das estruturas de concreto deve considerar a não-linearidade física provocada por fenômenos como fissuração, fluência e imperfeições geométricas, que reduzem a rigidez efetiva dos elementos estruturais. Esse aspecto da estabilidade é abordado pela norma brasileira NBR 6118 (ABNT, 2023) por meio do parâmetro de estabilidade global γ_z (gama-z), sendo o método iterativo P- Δ (P-Delta) amplamente utilizado para a consideração das não-linearidades geométricas.

No caso de estruturas protendidas, o concreto tende a permanecer comprimido durante toda a vida útil, o que reduz a incidência de fissuras e, por consequência, os efeitos da não-linearidade física. Isso pode resultar em uma menor perda de rigidez, quando compara-se com sistemas convencionais de concreto armado (Ellwanger, 2019; Feitosa, 2016; Passos, 2016). Apesar disso, a NBR 6118 (ABNT, 2023) ainda não estabelece critérios específicos para tratar dessa diferença de comportamento, o que evidencia uma lacuna normativa em relação à estabilidade de estruturas protendidas.

Diante desse cenário, o presente artigo tem como objetivo discutir os principais fatores que influenciam a estabilidade global de edifícios de concreto, com ênfase na influência da protensão sobre o comportamento global das estruturas, a partir de uma revisão bibliográfica. O trabalho aborda as não-linearidades física e geométrica, o coeficiente γ_z , o processo P- Δ e a rigidez dos elementos estruturais, buscando compreender de que forma o tipo de laje pode interferir na resposta global das edificações e na avaliação dos efeitos de segunda ordem segundo os critérios da NBR 6118 (ABNT, 2023).

2. NÃO-LINEARIDADE FÍSICA

A não-linearidade física no concreto é caracterizada pela perda da proporcionalidade entre tensão e deformação sob carregamento. Esse comportamento é resultado da natureza heterogênea do concreto e da diferença entre suas resistências à compressão e tração, que gera fissuras em serviço e afeta a rigidez dos elementos (Lima, 2001; Passos *et al.*, 2016). A principal implicação é a variação do módulo de elasticidade (E_c) ao longo do carregamento e da deformação, diferentemente de materiais lineares (Moncayo, 2011). Além da fissuração, a fluência, a interação com as armaduras e a variabilidade das ações contribuem para essa não-linearidade, resultando em rigidezes distintas em diferentes trechos do mesmo elemento estrutural (Moncayo, 2011).

Como forma de simplificar a consideração desses efeitos nas análises estruturais, a NBR 6118 (ABNT, 2023) propõe a utilização de valores redutores de rigidez ($(EI)_{sec}$), para diferentes tipos de elementos. Para o cálculo da estabilidade global, são indicados os seguintes coeficientes:

- Lajes: $(EI)_{sec} = 0,3 E_c I_c$
- Vigas: $(EI)_{sec} = 0,4 E_c I_c$ (quando $A_s' \neq A_s$) ou $0,5 E_c I_c$ (quando $A_s' = A_s$)
- Pilares: $(EI)_{sec} = 0,8 E_c I_c$

Em que E_c representa o módulo de elasticidade do concreto, I_c é o momento de inércia da seção bruta, A_s é a área de aço da armadura de tração e A_s' da armadura de compressão. Esses valores são

aproximações médias e sua aplicação é restringida à análise da estabilidade global da estrutura, não sendo indicados para avaliações em nível local (Moncayo, 2011; ABNT, 2023).

A consideração da não-linearidade física para a estabilidade global da estrutura de concreto é proveniente de imperfeições impostas durante sua vida útil, em especial a fissuração, a fluência, e a variabilidade de posição da armadura e de cargas sobre a estrutura. Assim, ao levar em conta essa influência, admite-se que a estrutura sofrerá a interferência dessas imperfeições e, consequentemente, a perda de rigidez será considerada na análise.

No contexto das estruturas protendidas, especialmente aquelas com lajes planas, a presença constante de compressão no concreto contribui para um controle mais eficaz da fissuração. Isso reduz os efeitos da não-linearidade física e, por consequência, a perda de rigidez estrutural e, por isso, é plausível considerar valores menos conservadores para a rigidez desses elementos, ainda que a norma brasileira não forneça diretrizes específicas para estruturas protendidas (Feitosa; Alves, 2015; Lasta; Tiecher, 2024). A NBR 6118 (ABNT, 2023) não faz qualquer consideração quanto às mudanças decorrentes da minoração de rigidez em função da não-linearidade física em estruturas de concreto protendido, o que gera uma lacuna para a aplicação da norma em projetos de estruturas reais.

Para exemplificar, cita-se o ACI 318 (ACI, 2019), código que rege os projetos estruturais nos Estados Unidos, que adota abordagem mais flexível ao permitir uma faixa de valores para rigidez efetiva de 0,35 a 0,875, para pilares, e de 0,25 a 0,50, para vigas e lajes. A normatização norte-americana também fornece fórmulas específicas para o cálculo desses índices, considerando fatores como a taxa de armadura, o nível de carregamento e a presença de pré-esforço. Tal abordagem evidencia a importância de critérios mais refinados para a consideração da não-linearidade física, principalmente em elementos protendidos, cuja resposta estrutural pode divergir substancialmente dos elementos de concreto armado convencional.

A correta avaliação da rigidez dos elementos estruturais é essencial para a análise de estabilidade global, especialmente em sistemas sem vigas, nos quais o travamento horizontal é reduzido.

3. NÃO-LINEARIDADE GEOMÉTRICA

A não-linearidade geométrica está associada às mudanças na configuração espacial da estrutura ao longo do carregamento, especialmente quando há interação entre ações verticais e horizontais. Essas alterações influenciam o equilíbrio estrutural, pois os carregamentos passam a atuar em posições deformadas, gerando acréscimos de esforços internos, como o chamado efeito de segunda ordem (Pinto, 1997; Moncayo, 2011).

Esse efeito é mais relevante em estruturas esbeltas e flexíveis, denominadas estruturas de nós móveis, nas quais os deslocamentos laterais amplificam os momentos fletores. Em contrapartida, estruturas mais rígidas, ou de nós fixos, apresentam deslocamentos reduzidos e os efeitos de segunda ordem podem ser desprezados. A deformação de um elemento estrutural, como um pilar, pode ser dividida em dois componentes: a deformação de 1ª ordem, que é a deformação inicial causada pelas cargas aplicadas; e a deformação de 2ª ordem, que é o deslocamento adicional causado pela excentricidade das cargas verticais na geometria deformada (Moncayo, 2011).

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2023), uma estrutura pode ser considerada de nós fixos quando os efeitos de segunda ordem provocam acréscimos inferiores a 10% nas reações internas. Ainda assim, conforme Moncayo (2011), tal classificação é apenas relativa, afinal, todas as estruturas apresentam algum grau de deslocamento, sendo o critério normativo uma simplificação prática para distinguir situações em que a não-linearidade geométrica deve ser obrigatoriamente considerada. Em edifícios altos, a consideração precisa da não-linearidade geométrica é indispensável para a segurança estrutural.

4. COEFICIENTE GAMA Z (γ_z)

A consideração do coeficiente γ_z é uma maneira prática para estimar a sensibilidade das estruturas aos efeitos de segunda ordem. O γ_z tornou-se amplamente utilizado no Brasil, sendo incorporado às práticas de projeto e à NBR 6118 (ABNT, 2023) (Wordell, 2003; Bueno, 2009; Feitosa, 2016).

Sua formulação baseia-se na suposição de que os acréscimos de momento, causados pelas cargas verticais, seguem uma progressão geométrica, quando aplicadas em uma estrutura deformada. Parte-se de uma análise de primeira ordem para obtenção do momento inicial (M_1) e dos deslocamentos horizontais. A partir da nova configuração deformada, calculam-se iterativamente os momentos adicionais (ΔM), até a obtenção do momento total de segunda ordem (M_2).

Com base nessa ideia, a NBR 6118 (ABNT, 2023) define o coeficiente γ_z pela equação abaixo, que representa a relação entre o momento total e o momento de 1ª ordem:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}}$$

em que:

- $M_{tot,d}$ é a soma dos produtos entre as cargas verticais e os deslocamentos horizontais obtidos na análise de primeira ordem;
- $M_{1,tot,d}$ é o momento de tombamento, ou seja, o somatório dos momentos gerados pelas forças horizontais em relação à base da estrutura.

O coeficiente γ_z também pode ser entendido como a relação entre o momento total (M_{tot}) e o momento de 1ª ordem (M_1).

O valor de γ_z é sempre superior a 1,0. Segundo a norma, estruturas com $\gamma_z < 1,1$ são classificadas como de nós fixos, enquanto valores acima indicam estruturas mais suscetíveis à instabilidade. Quando γ_z ultrapassa 1,3, considera-se que a estrutura apresenta alto grau de instabilidade (Passos, 2016). A NBR 6118 (ABNT, 2023) estabelece as seguintes faixas para a aplicação do coeficiente:

- $\gamma_z < 1,10$: Os efeitos de 2ª ordem são considerados desprezíveis, e a análise de 1ª ordem é suficiente para o dimensionamento.
- $1,10 < \gamma_z < 1,30$: Os efeitos de 2ª ordem são relevantes e devem ser considerados. A norma permite o uso do método simplificado do coeficiente γ_z para o cálculo.

- $\gamma_z > 1,30$: A análise não-linear geométrica de 2ª ordem é obrigatória, não sendo permitido o uso de métodos simplificados.

O coeficiente γ_z deve ser aplicado em regime elástico, em edifícios regulares com quatro ou mais pavimentos, e com a consideração da não-linearidade física no cálculo da rigidez (Feitosa, 2016). A norma brasileira permite, ainda, a majoração dos carregamentos horizontais por $0,95 \gamma_z$ para estimativa aproximada dos esforços totais, desde que $\gamma_z < 1,3$. Contudo, estudos apontam que esse procedimento pode não apresentar resultados satisfatórios, sendo preferível a aplicação direta de γ_z aos esforços (Lima, 2001; Pinto, 1997).

5. PROCESSO P-DELTA (P- Δ)

O processo P- Δ é um método iterativo amplamente empregado na análise da estabilidade global, que considera simultaneamente os efeitos de primeira e de segunda ordem. Para tanto, o Método da Carga Lateral Fictícia é um destaque, pois aborda a conversão de deslocamentos horizontais de uma análise de primeira ordem em forças laterais equivalentes (Moncayo, 2011). O procedimento envolve análises sucessivas, onde as forças laterais fictícias são somadas às ações horizontais originais, repetindo-se até a convergência dos deslocamentos. A tolerância de convergência varia na literatura de 0,1% a 0,01% (Feitosa, 2016; Carmo, 1995; Moncayo, 2011).

Embora o P- Δ permita analisar estruturas com alta instabilidade, a flexibilidade excessiva é indesejável, podendo comprometer o desempenho e violar limites normativos (Bueno, 2009).

6. PRINCIPAIS FATORES QUE INFLUENCIAM A ESTABILIDADE GLOBAL

A estabilidade global das estruturas é influenciada principalmente pelas cargas verticais e pela rigidez dos elementos estruturais (Moncayo, 2011). A rigidez global depende do sistema de contraventamento (pórticos, pilares-parede ou núcleos rígidos), onde a maior rigidez implica em menores parâmetros de instabilidade (Feitosa, 2016; Passos, 2016). Embora a contribuição das lajes seja, por vezes, desconsiderada (Kimura, 2007), sua inclusão pode reduzir significativamente os deslocamentos horizontais, especialmente em estruturas sem vigas (Feitosa; Alves, 2015; Goulart, 2008). A análise desses fatores deve ser uma das etapas iniciais do projeto (Bueno, 2009).

Outros fatores que influenciam na estabilidade global de estruturas de concreto:

- Carregamentos horizontais e verticais: Os carregamentos horizontais, como o vento, são os agentes primários dos deslocamentos laterais. As cargas verticais influenciam diretamente nos resultados do processo P- Δ , e cargas elevadas aumentam os momentos de 2ª ordem após os deslocamentos horizontais (Moncayo, 2011). Em estruturas assimétricas, as cargas verticais podem provocar deslocamentos laterais, mesmo sem ação de vento (Wordell, 2003);
- Deformação axial dos pilares: O encurtamento dos pilares sob compressão, em edifícios de múltiplos pavimentos, pode acumular-se e contribuir para a instabilidade global, exigindo uma análise realista (Prado, 1995; Wordell, 2003);
- Vigas de transição: Vigas de transição podem comprometer a estabilidade devido ao acúmulo de tensões (Pilz *et al.*, 2009; Yao; Li; Peng, 2010);

- Deslocamentos rotacionais do edifício: Em edifícios com plantas irregulares, a excentricidade entre o centro de rigidez e o centro de massa leva à torção e deslocamentos rotacionais, influenciando o cálculo de γ_z (Wordell, 2003);
- Alvenaria: A presença de alvenaria, embora não estrutural, pode oferecer um enrijecimento aos painéis de pórtico e, conseqüentemente, uma diminuição nos resultados dos parâmetros de instabilidade (Sousa, 2014);
- Redistribuição de esforços: A redistribuição de esforços pode otimizar o uso de materiais e facilitar a execução, mas deve ser controlada, pois influencia diretamente a rigidez, os deslocamentos e a estabilidade global das estruturas, sendo limitada pelas normas conforme a capacidade de rotação plástica das seções (Moncayo, 2011; Berger; Haller, 2022).

7. PROTENSÃO

A protensão é uma técnica que melhora o desempenho estrutural ao introduzir esforços prévios de compressão no concreto, limitando fissuras e deslocamentos. Isso viabiliza elementos mais esbeltos e leves em comparação ao concreto armado (Van Damme, 2018; ABNT, 2023). A técnica utiliza elementos de aço de alta resistência (cabos ou cordoalhas) tracionados e fixados. A classificação inclui pré ou pós-tração e sistemas com ou sem aderência. Cordoalhas engraxadas, por exemplo, são comuns em sistemas pós-tracionados não aderentes (Emerick, 2002). A protensão aumenta a rigidez efetiva, permitindo o uso do momento de inércia bruto na verificação de deslocamentos (Loureiro, 2006). Contudo, é crucial considerar as perdas de protensão ao longo do tempo (Carvalho, 2017; ABNT, 2023). São pontos importantes de um projeto protendido:

- Ancoragens: Dispositivos essenciais para transferir a força do cabo para o concreto;
- Perdas de Protensão: Redução da força aplicada, classificadas em:
 - Perdas Imediatas: Causadas por atrito, escorregamento da ancoragem e deformação elástica do concreto;
 - Perdas Progressivas: Ocorrem ao longo da vida útil, devido à retração e fluência do concreto e relaxação do aço (Carvalho, 2017).

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da discussão teórica realizada neste trabalho foi possível verificar que há grande complexidade na avaliação da estabilidade, exigindo a consideração de não-linearidades físicas e geométricas. O trabalho evidenciou que os principais instrumentos normativos, no contexto brasileiro, para considerar a estabilidade no cálculo das estruturas são os coeficientes γ_z e o processo P- Δ .

A síntese da discussão revelou que a estabilidade global é um conceito dinâmico, centrado na correta determinação da rigidez efetiva dos elementos. A não-linearidade física, causada por fissuração, fluência e imperfeições, é o principal agente redutor dessa rigidez e a normalização brasileira aborda essa redução por meio de coeficientes simplificados (0,3 $E_c I_c$ para lajes e 0,8 $E_c I_c$ para pilares), que são aproximações conservadoras para o concreto armado.

Como evidenciou o texto, em relação a concretos protendidos não existem indicações normativas específicas, resultando em soluções superdimensionadas e que não refletem a otimização que a protensão proporciona, tendo em vista que a protensão, ao induzir compressão prévia, controla a fissuração e minimiza a perda de rigidez em comparação ao concreto armado.

A discussão apresentada mostrou a importância da precisão da modelagem ao se utilizar o coeficiente γ_z e o processo P- Δ . O γ_z indica a esbeltez e a sensibilidade aos efeitos de segunda ordem, enquanto o processo P- Δ oferece a ferramenta para a análise não-linear obrigatória em estruturas com alta instabilidade, embora a flexibilidade excessiva que ele permite calcular seja indesejável para o desempenho em serviço. Outros importantes fatores identificados incluem a influência das cargas verticais, a deformação axial dos pilares e os deslocamentos rotacionais em plantas assimétricas. A rigidez global é determinada pelo sistema de contraventamento, onde a contribuição das lajes pode ser significativa em sistemas sem vigas.

Por fim, o estudo evidencia que há necessidade de se refinar a análise da estabilidade global em edifícios que utilizam sistemas de lajes protendidas sem vigas, sendo que a escolha da tipologia de laje, protendida ou não, tem um impacto direto e quantificável na rigidez global e nos parâmetros de estabilidade. A falta de critérios normativos específicos para a protensão impede a otimização completa do projeto.

9. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2023. 252 p.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Building code *requirements for structural concrete (ACI 318-19)*. American Concrete Institute, Michigan: Farmington Hills, 2019.

BERGER, Johannes; HALLER, Daniel. Redistribution of internal forces from the span to the support. **Structural Concrete**, v. 24, n. 2, p. 2662-2673, 11 nov. 2022. Wiley.

BUENO, Mônica Maria Emerenciano. **Avaliação dos parâmetros de instabilidade global em estruturas de concreto armado**. 2009. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

CARMO, Regina Maria dos Santos. **Efeitos de segunda ordem em edifícios usuais de concreto armado**. 1995. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

CARVALHO, Roberto Chust. **Estruturas em concreto protendido**: cálculo e detalhamento. 2. ed. São Paulo: Pini, 2017.

ELLWANGER, R. J. Floors number influence on the instability parameter of reinforced concrete frame-braced buildings. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 12, n. 5, p. 1034-1057, 2019.

EMERICK, Alexandre Anozé. **PROJETO E EXECUÇÃO DE LAJES PROTENDIDAS**. Brasília: Interciência, 2002.

FEITOSA, Leonardo Almeida. **Estudo da estabilidade global de edifícios de múltiplos andares com lajes lisas**. 2016. 182 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGE, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Vitória, 2016.

FEITOSA, L. A.; ALVES, E. C. Study of global stability of tall buildings with prestressed slabs. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 8, n. 2, p. 196-224, 2015.

FEITOSA, Leonardo Almeida. **Estudo da estabilidade global de edifícios de múltiplos andares com lajes lisas**. 2016. 182 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGE, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Vitória, 2016.

GOULART, Mauricio dos Santos Sgarbi. **Contribuição da rigidez à flexão das lajes para a estabilidade global de edifícios**. 2008. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

KIMURA, Alio. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado**: cálculo de edifícios com o uso de sistemas computacionais. São Paulo: Pini, 2007.

LASTA, Charles Michel; TIECHER, Francieli. Influência da Protensão na Estabilidade Global de Estruturas: uma revisão bibliométrica e sistemática. **IV Seminário Sul Brasileiro de Pontes e Estruturas**, Porto Alegre, 2024.

LIMA, Juliana Soares. **Verificações da punção e da estabilidade global em edifícios de concreto**: desenvolvimento e aplicações de recomendações normativas. 2001. 249 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

LOUREIRO, Giordano José. Projeto de lajes protendidas com cordoalhas engraxadas. **Anais do VI Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto**, São Paulo, p. 1734-1755, abr. 2006.

MARQUES, Olivia Catelan; FEITOSA, Leonardo Almeida; BICALHO, Katia Vanessa; ALVES, Elcio Cassimiro. Analysis of constructive effect and soil-structure interaction in tall building projects with shallow foundations on sandy soils. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 14, n. 1, 2021.

MONCAYO, Winston Junior Zumaeta. **Análise de segunda ordem global em edifícios com estrutura de concreto armado**. 2011. 221 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

PAIXÃO, João Fernando Martins; ALVES, Elcio Cassimiro. Análise de estabilidade global em edifícios altos. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 13, n. 1, p. 48-63, 31 ago. 2016. Universidade Federal de Goiás.

PASSOS, V. M.; FEITOSA, L. A.; ALVES, E. C.; AZEVEDO, M. S.. Analysis of instability of tall buildings with prestressed and waffle slabs. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 9, n. 2, p. 244-262, 2016.

PASSOS, Vinicius de Melo. **Análise da estabilidade de edifícios altos com lajes lisas, nervuradas e nervuradas com vigas-faixa levando em consideração a interação solo-estrutura**. 2016. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGE, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Vitória, 2016.

PILZ, Sílvio E.; RIBEIRO, Rafael; PILZ, Daniel; PAVAN, Roberto Carlos; COSTELLA, Marcelo Fabiano. Global stability analysis in reinforced concrete buildings with transfer beams. **Proceedings Of The Institution Of Civil Engineers - Structures And Buildings**, v. 172, n. 9, p. 685-699, set. 2019. Emerald.

PINTO, Rivelli da Silva. **Não-linearidade física e geométrica no projeto de edifícios usuais de concreto armado**. 1997. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

PRADO, José Fernão Miranda de Almeida. **Estruturas de edifícios em concreto armado submetidas a ações verticais e horizontais**. 1995. 180 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

REIS, Daniel G.; SIQUEIRA, Gustavo H.; VIEIRA, Luiz C. M.; ZIEMIAN, Ronald D.. Simplified Approach Based on the Natural Period of Vibration for Considering Second-Order Effects on Reinforced Concrete Frames. **International Journal of Structural Stability and Dynamics**, v. 18, n. 5, 2018.

SOUSA, Paulo Victor Almeida de. **Efeito dos painéis de vedação nas características dinâmicas de edificações de concreto armado**. 2014. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

VAN DAMME, Henri. Concrete material science: past, present, and future innovations. **Cement And Concrete Research**, v. 112, p. 5-24, out. 2018.

WORDELL, Fernando. **Avaliação da instabilidade global de edifícios altos**. 2003. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

YAO, Ji; LI, Ze; PENG, Ming Jun. Analysis Research of Frame-Supported Transfer Beam with Opening Using Finite Element. **Advanced Materials Research**, v. 163-167, p. 1620-1625, dez. 2010. Trans Tech Publications, Ltd..

