



# FLAMBAGEM DE PLACAS COM EFEITO DA DEFORMAÇÃO POR CORTANTE APLICÁVEL ÀS VIGAS METÁLICAS

**Palavras-Chave:** ESTRUTURAS METÁLICAS, FLAMBAGEM DE PLACAS, DEFORMAÇÃO POR CORTANTE, CARGAS TRANSVERSAIS, CARGAS LINEARES.

**Autores:**

**ALEXANDRE MACIEL DE MORAIS SILVA, FECFAU – UNICAMP**

**Prof.º Dr. LEANDRO PALERMO JÚNIOR (Orientador), FECFAU – UNICAMP**

**Dr. ROMILDO APARECIDO SOARES JUNIOR (Coorientado), FECFAU – UNICAMP**

---

## INTRODUÇÃO:

Os elementos planos das peças metálicas, usadas na construção civil, são verificados à flambagem local no dimensionamento das peças à compressão, flexão e flexo-compressão. Os parâmetros usados pelas normas técnicas na verificação de flambagem têm por base o modelo clássico para flexão de placas. A inclusão do efeito da deformação por cortante no modelo de flexão permite melhor quantificação da variação da espessura na carga crítica de flambagem. Este trabalho complementa a pesquisa anterior [1] sobre placas que eram uniformemente comprimidas e pretende estudar os casos de flambagem sob tensão de cisalhamento e tensão de compressão linearmente distribuída. Os dois casos estão relacionados às verificações de flambagem de alma das vigas, seções C ou H, para os esforços cortante (tensões de cisalhamento) e momentos fletores, em que parte da alma está submetida à compressão e a outra à tração. As análises serão feitas por código computacional, com base no método dos elementos de contorno, desenvolvido pelo grupo do orientador. Este trabalho, portanto, visa a continuidade ao estudo de placas, principalmente aos perfis empregados em vigas, de modo a estudar a influência das solicitações tangenciais e lineares sobre os elementos de placa.

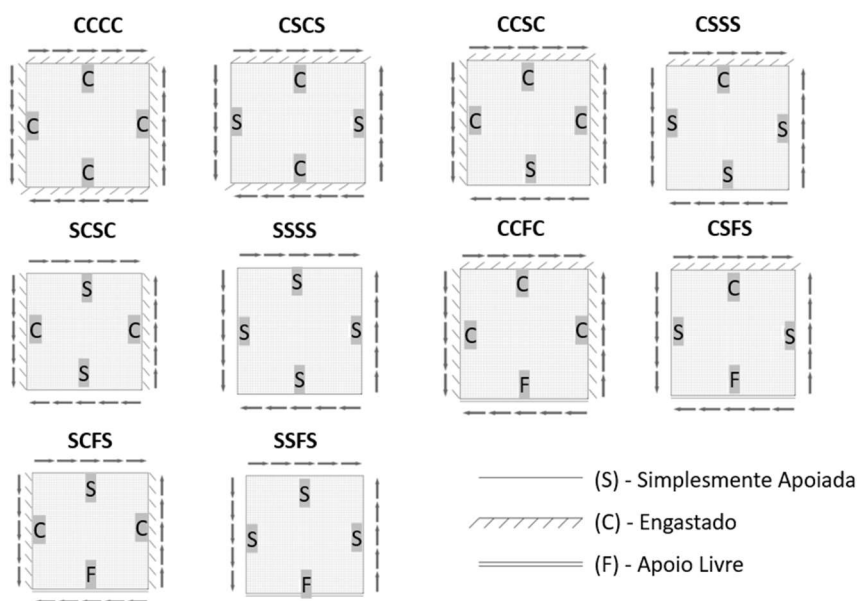
## METODOLOGIA:

Realizou-se uma revisão bibliográfica dos conceitos estudados para os estudos da primeira Iniciação Científica [1], de modo a complementar a compreensão das formulações que consideram o efeito de deformação por cisalhamento no modelo de flexão utilizando para análise de flambagem, bem como o efeito das cargas linearmente variáveis sobre esta análise. Deste modo em [5] estudou-se as formulações que consideram o efeito da deformação por cisalhamento no parâmetro de flambagem a partir do Método dos Elementos de Contorno (MEC). Em seguida iniciou-se a obtenção dos dados para os casos de tensão de cisalhamento com o emprego do aplicativo computacional PlateBEM, Plate Buckling Using Boundary Element Method [6], cuja verificação/validação dos dados obtidos ocorreu a partir da comparação dos valores obtidos com os valores apresentados em [5], conforme apresentado na Tabela 01.

**Tabela 01 – Parâmetro de flambagem (k) da primeira carga crítica de placas retangulares sob carregamento tangencial.**

a/b	h/a	[7]				[5]				[Autor]				Dif %			
		[7]	[5]	[Autor]	Dif %	[7]	[5]	[Autor]	Dif %	[7]	[5]	[Autor]	Dif %	[7]	[5]	[Autor]	Dif %
1	0,001	9,34	9,46	9,42605	0,36%	14,71	14,8702	14,8702	0,00%	12,28	12,736	12,736	0,00%				
	0,05		8,9979	8,99793	0,00%		13,5493	13,5493	0,00%		11,7916	11,7916	0,00%				
	0,1		7,92	7,92008	0,00%		10,8453	10,8453	0,00%		9,734	9,734	0,00%				
	0,15		6,559	6,59632	0,57%		8,227	8,22701	0,00%		7,6082	7,6082	0,00%				
1,5	0,001	7,1	7,1254	7,11707	0,12%	11,5	11,5923	11,7141	1,05%	11,12	10,9085	10,9085	0,00%				
	0,05		6,8879	6,87954	0,12%		10,9795	11,0343	0,50%		10,1715	10,1715	0,00%				
	0,1		6,2612	6,25304	0,13%		9,1297	9,1075	0,24%		8,5249	8,5249	0,00%				
	0,15		5,4326	5,42595	0,12%		7,1367	7,11783	0,26%		6,778	6,778	0,00%				
2	0,001	6,6	6,6162	6,62247	0,09%	10,34	10,3581	10,3581	0,00%	10,21	10,1129	10,1129	0,00%				
	0,05		6,4089	6,40888	0,00%		9,6753	9,67526	0,00%		9,4649	9,4649	0,00%				
	0,1		5,8428	5,84282	0,00%		8,1421	8,14205	0,00%		8,0000	8,0000	0,00%				
	0,15		5,0902	5,09022	0,00%		6,5061	6,5061	0,00%		6,4202	6,4202	0,00%				

Verificado a validade dos dados obtidos a partir de [6], iniciou-se a obtenção das cargas críticas de flambagem para as vinculações de placa apresentados em [4], conforme apresentado na Figura 01, cujo caso de carga uniformemente distribuída já foram estudados em [1].



**Figura 1 – Configurações de carregamento e vinculação das placas retangulares.**

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Conforme os tipos de vinculação apresentados na Figura 1, obteve-se no software PlateBEM [6] os valores do coeficiente de flambagem (K), onde K é uma constante dependendo do tipo de tensão, condições de suporte de borda e relação comprimento / largura da placa, E o módulo de elasticidade ( $2.1E+11$ ), coeficiente de Poisson de  $\mu$  (0.3) e  $b / t$  relação largura / espessura [9]. Os resultados obtidos são apresentados nas Figuras 2,3,4,5 e 6.

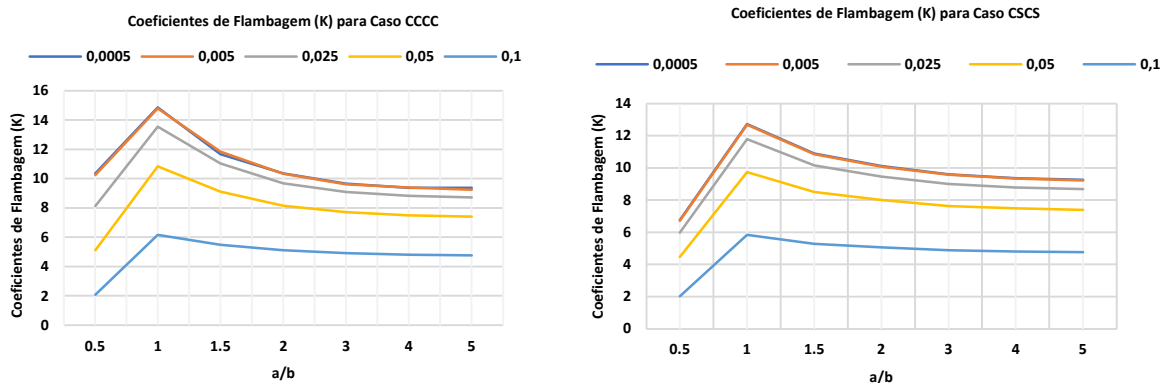


Figura 2 – Coeficiente de Flambagem (k) para: (A) Para vinculação de borda CCCC; (B) Para vinculação de borda CSCS. Fonte: De autoria própria.

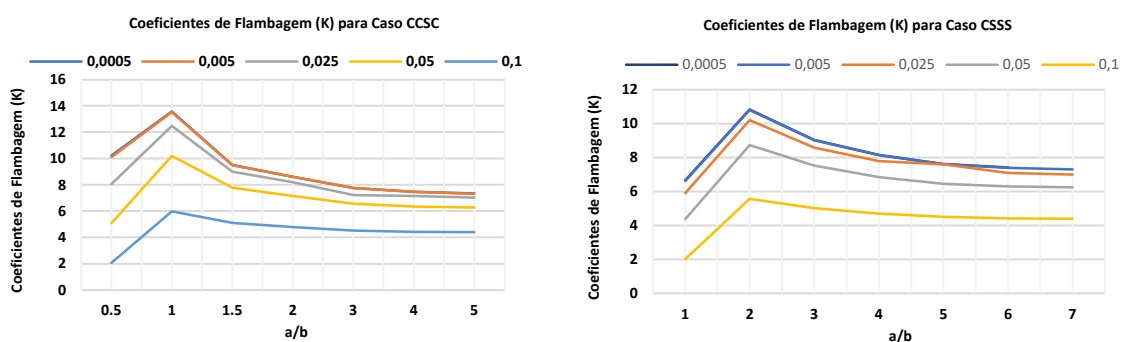


Figura 3 – Coeficiente de Flambagem (k) para: (A) Para vinculação de borda CCSC; (B) Para vinculação de borda CSSS. Fonte: De autoria própria.

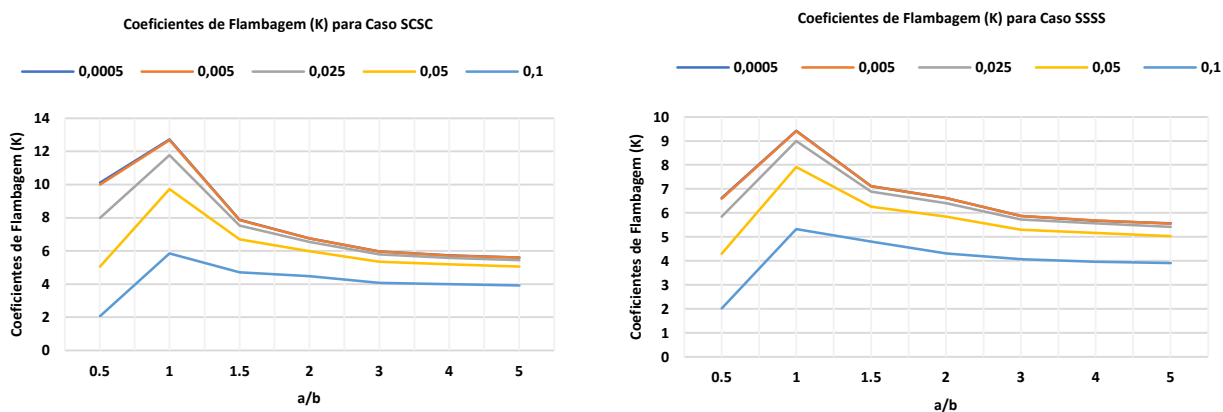


Figura 4 – Coeficiente de Flambagem (k) para: (A) Para vinculação de borda SCSC; (B) Para vinculação de borda SSSS. Fonte: De autoria própria.

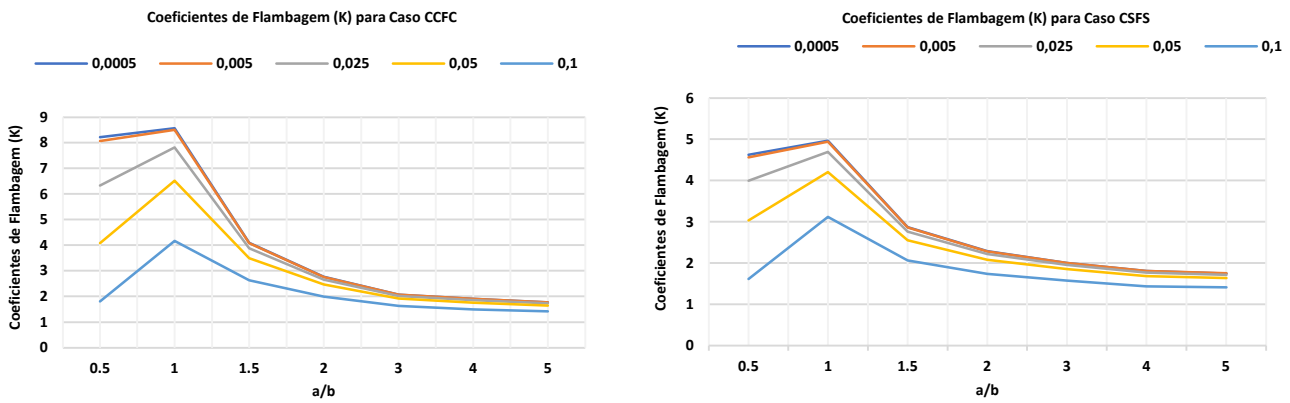


Figura 5 – Coeficiente de Flambagem (k) para: (A) Para vinculação de borda CCFS; (B) Para vinculação de borda CSFS. Fonte: De autoria própria.

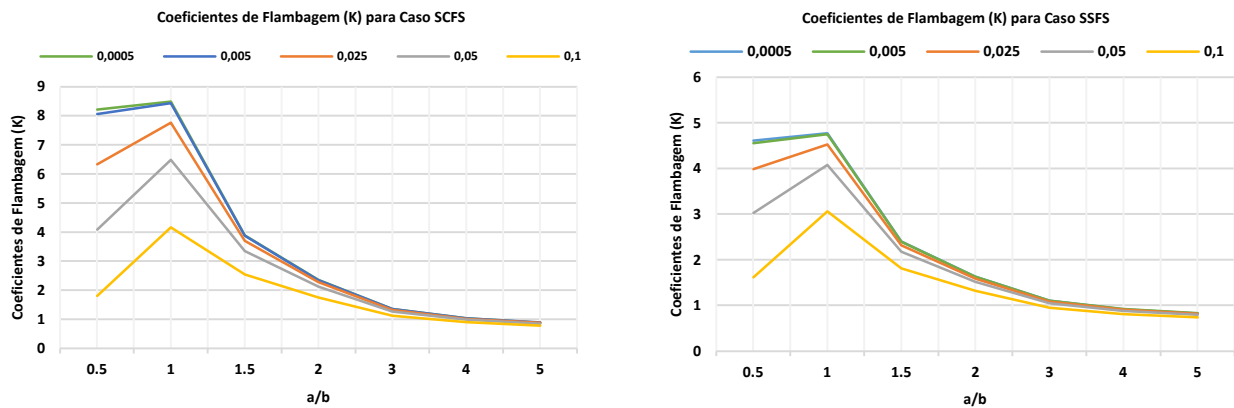


Figura 6– Coeficiente de Flambagem (k) para: (A) Para vinculação de borda SCFS; (B) Para vinculação de borda SSFS. Fonte: De autoria própria.

## CONCLUSÕES:

A partir dos resultados obtidos em função do tipo de vinculação de bordas e para as diferentes espessuras de placas estudadas, será feito um estudo comparativo com os valores apresentados em SALMON CG [9]. Permitindo assim validar os resultados obtidos e verificar, portanto, a influência do esforço cortante na flambagem de placas para aplicação em perfis metálicos empregados na construção.

## BIBLIOGRAFIA:

- [1] Silva AMM, Palermo Jr L, Soares Jr RA, O Efeito da Deformação por Cortante na Flambagem dos Elementos Planos Usados em Estruturas Metálicas, Iniciação Científica em desenvolvimento com apoio CNPq-Unicamp, FEC - Unicamp, 2021.
- [2] Gerard G, Becker H, Handbook of Structural Stability, part I – Buckling of Flat Plates, Technical Note 3871, National Advisory Committee for Aeronautics, Washington, DC, July 1957.
- [3] Soares Jr., RA., Aplicação do Método dos Elementos de Contorno na Análise de Instabilidade de Placas Perfuradas, (Dissertação de Mestrado com apoio CAPES), FEC - Unicamp, 2015, 218p.
- [4] Salmon CG; Johnson JE; Malhas FA. Steel Structures: Design and Behavior. 5th edition. Pearson Prentice-Hall, 2009.

- [5] Soares Jr RA, Palermo Jr L, Effect of shear deformation on the buckling parameter of perforated and non-perforated plates studied using the boundary element method. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, v. 85, p. 57-69, 2017.
- [6] SOARES, Jr. R. A; PALERMO, L. Jr. PlateBEM (Plate Buckling Using Boundary Element Method. [S. l.]: Soares Jr. R. A, Palermo Jr. L., 2015. Disponível em: Universidade Estadual de Campinas.
- [7] Timoshenko SP, Gere JM. *Theory of elastic stability*. Second ed. Ney York: Dover Publication:1961.
- [8] LONG, S.Y., BREBBIA, C.A., TELLES, J.C.F. Boundary element bending analysis of moderately thick plates. *Comp. Mech. Publications*, v.5, n.8, p.64-74, June, 1988.