

Influência das Imperfeições Iniciais e Tensões Residuais Em um Elemento Comprimido na Análise de Segunda Ordem Inelástica

Andréia Balz ^{a,*}, Gediel da Silva ^b, Rafael Aésio de Oliveira Zaltron ^c

^a Graduanda do curso de Engenharia Civil – UNIJUI.

^b Graduando do curso de Engenharia Civil - UNIJUI.

^c Professor do curso de Engenharia Civil - UNIJUI.

e-mails: bzandrea@yahoo.com.br, gediel@outlook.com, rafael.zaltron@unijui.edu.br

Resumo

Constatada a influência das imperfeições iniciais e tensões residuais em um elemento comprimido e a importância de uma análise de segunda ordem inelástica buscou analisar a influência, na carga limite de um elemento comprimido. No software MASTAN simulou-se um barra comprimida e realizou-se incrementos para simulação computacional. Deste modo concluiu-se que as imperfeições iniciais e as tensões residuais diminuem significativamente a resistência de estruturas e para obter um resultado mais próximo do real ambas devem ser consideradas.

Palavras - chave – Barra comprimida; Simulação computacional; elementos finitos.

1. Introdução

Em projetos estruturais é usual considerar somente os esforços solicitantes, realizar uma análise elástica de primeira ordem, e utilizar critérios das normativas técnica para o dimensionamento de perfis metálicos. O grande impasse é que, assim trata-se de cada barra isoladamente sem considerar toda a estrutura, por isso as análise de segunda ordem vem ganhando espaço nos projetos, considerando os efeitos não-lineares, salientando os efeitos quanto à mudança geométrica da estrutura e o comportamento inelástico. Deste modo torna-se possível considerar as imperfeições geométricas iniciais, as tensões residuais, entres outras, também se prevê com mais precisão as cargas e modo de colapso da estrutura [1].

Uma análise inelástica é qualquer método de análise que considere os efeitos do escoamento do material. Na análise inelástica de 2ª Ordem leva-se em conta que o equilíbrio da estrutura é na sua posição deslocada (não-linearidade geométrica) e também considera a não-linearidade física do material. Pode-se tratar como uma análise não-linear física e geométrica, deste modo a carga limite obtida é a que mais se aproxima da resistência real [1].

As tensões residuais surgem no processo de fabricação do aço, e se nenhuma técnica de redução for aplicada, permaneceram. São de extrema importância no dimensionamento de pilares em aço, pois, é a principal causa da não linearidade do diagrama tensão x deformação na região inelástica, assim afetando significativamente a resistência à compressão [2].

Tanto a grandeza quanto a distribuição das tensões residuais afetam significativamente à resistência das colunas. A principal causa da não linearidade dos diagramas tensões x deformações das colunas são as tensões residuais. Para as colunas de aço a presença das tensões residuais nas seções transversais das barras comprimidas provoca o aparecimento do escoamento precoce, causando à não linearidade. [5].

Esta tensão residual causa redução da tensão máxima referente ao trecho linear do diagrama, assim o regime elástico sofre transição gradual para o escoamento, deste modo as tensões acima da tensão de proporcionalidade, o regime elástico passa para o elasto-plástico (inelástico) [4].

As imperfeições iniciais também são provenientes do processo de fabricação ou então da excentricidade da carga. É a diferença geométrica entre uma barra perfeita e uma real, consiste de ondulações presentes nos elementos e ao longo do seu comprimento. Os métodos para a determinação destas são formas e magnitudes adotadas ou mediante ensaio experimentais. À equação aproximada clássica foi proposta por Young em 1807, à qual, admite à imperfeição máxima como localizada a meio comprimento da barra na forma de uma senóide, para imperfeições global [3].

As imperfeições iniciais devem ser incluídas em uma análise realista da resistência última de uma coluna. As imperfeições iniciais, em colunas sujeitas à força axial de compressão, possuem flexão desde o início do carregamento, transformando um problema de bifurcação do equilíbrio conforme à teoria clássica (flambagem) em um problema de resistência última (força x deslocamento). Estes podem ser elevados gerando esforços de segunda-ordem, lembrando também que levando em conta os efeitos da mudança de geometria as características de carga x deslocamento são não-lineares. Para análise teórica à curva de deslocamento pode ser aproximada pela forma senoidal. Assim normalmente o valor da imperfeição inicial é expresso com uma fração do comprimento da barra e deve ter seus valores máximos limitados. Como é o caso de perfis I ou H que podem ter um amplitude máxima de $L/1000$ [5].

Sob este contexto buscou analisar a influência, na carga limite de um elemento comprimido, das imperfeições iniciais e das tensões residuais, por meio de uma análise de segunda ordem inelástica.

2. Metodologia

Este estudo é uma pesquisa experimental o qual explora a influência de duas variáveis presentes em uma estrutura. Para realizar a análise da influência das imperfeições iniciais e das tensões residuais, optou-se por estudar uma barra comprimida e realizar as possíveis combinações. Em um software por elementos finitos, MASTAN, modelou-se a barra e realizou incrementos para considerar as imperfeições iniciais e as tensões residuais.

O MASTAN é um software desenvolvido para a área de engenharia que possibilita a análise de vários tipos de estruturas, com formatos diferentes e materiais variados. O programa utiliza do processo incremental, o qual, consiste em carregar a estrutura de forma gradual até que atinja à carga crítica. Assim são usados incrementos de cargas, que são somados a configuração original, à

medida que incrementa-se as cargas são obtidas respostas da estrutura, estas usadas para atualizar a configuração e a partir daí ser aplicado o próximo passo de carga [6].

Os dados iniciais entrados no software foram: um elemento de barra de comprimento igual à 172.8” sendo isto aproximadamente 4,39m; a seção do perfil de aço escolhido foi W14x53 e o material definido tem um módulo de elasticidade de $E=29000$ Ksi (aproximadamente 20000 MPa), coeficiente de poisson de $\nu=0,3$ e uma carga de $F_y=50$ Kip equivalente à 222.41 KN.

Primeiramente dividiu-se à barra em 8 elementos, após rotacionou-se os elementos em 90° , pois por padrão o Mastan adota o eixo Y local ao plano X-Y global, reorientando consegue-se averiguar o eixo menor inercia do perfil. Como condição de apoio na extremidade inferior optou-se por um apoio simples de segundo gênero e na superior um apoio de primeiro gênero horizontal, ainda na superior aplicou-se uma carga de compressão na vertical de -100 Kip (-444.82 KN). Para a análise utilizou-se da análise de segunda ordem inelástica, sendo no plano X-Y, com o número máximo de 10000 incrementos e de tamanho de 0.01 com ação de carregamento máxima de 100, assim rodando a análise obtém o resultado sem considerar a tensão e residual e as imperfeições iniciais. Na Figura 1, apresenta-se à barra comprimida em estudo.

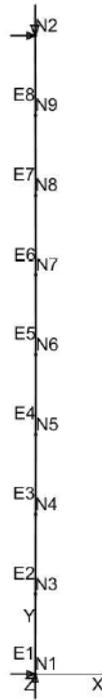


Fig. 1: Barra comprimida.

Para considerar a tensão residual mudou-se o módulo de elasticidade de E (sem tensão residual) para E_{tm} (módulo que considera a tensão residual), e rodou-se a análise novamente. A fim de incluir as imperfeições iniciais utilizou-se a opção de pós-processamento do MASTAN, atualizando à geometria baseada na deflexões e incluindo no nó central uma dobra permanente de $172.8/1000$ ($L/1000$). Após esses processos é possível obter todas as combinações possíveis para o estudo da influência das tensões residuais e das imperfeições iniciais em uma barra comprimida.

3. Resultados

Após todos os incrementos realizados, e rodado as devidas análises, obteve-se à carga limite para a segunda ordem inelástica da barra comprimida. Primeiramente sem considerar as imperfeições iniciais e tensões residuais, após uma considerando as imperfeições iniciais e outra com as tensões residuais e posteriormente uma barra contemplando ambos.

Para a barra sem imperfeições iniciais e sem as tensões residuais (Figura 2), a carga obtida foi de 5.54 kip que equivale à 24.64 KN, o deslocamento em $L/2$ é zero. E a carga crítica elástica para esta barra é de 5.531 kip (24.603 KN), já a inelástica é de 5.0507 kip (22.4666 KN). Na Figura 3 tem-se à carga Crítica elástica e inelástica da barra.

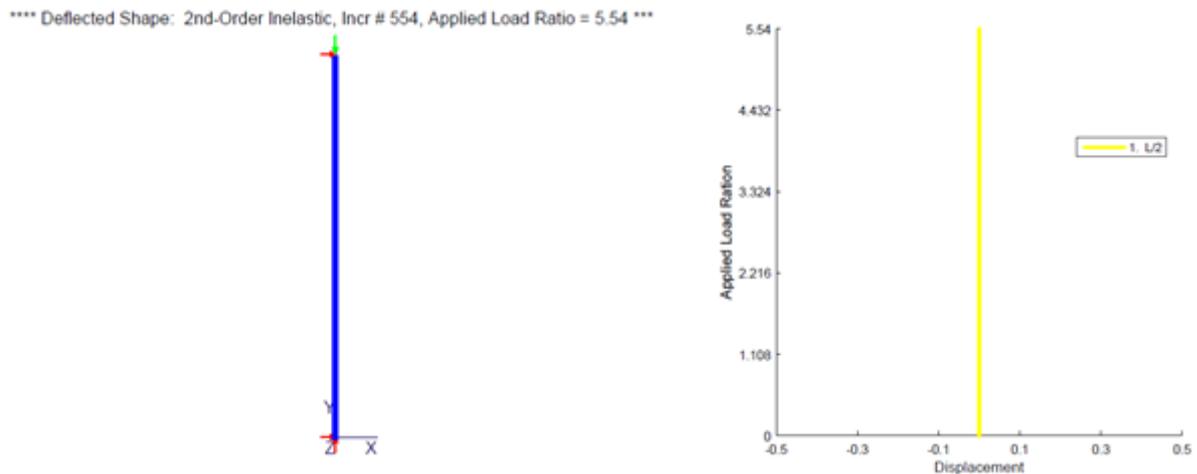


Fig. 2: Barra sem imperfeições iniciais e sem as tensões residuais.

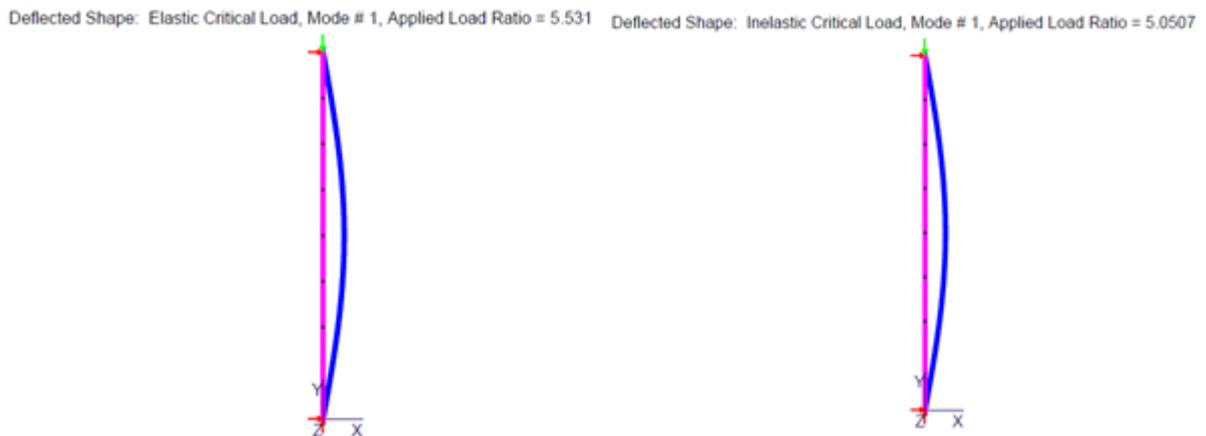


Fig. 3: Carga Crítica Elástica e Inelástica.

Para a barra considerando as imperfeições iniciais, mas desprezando as tensões residuais a carga encontrada foi de 5.0226 kip (22.34 KN) e o deslocamento de 16.1378 in equivalente a 0.41 m, isto apresenta-se na Figura 4.

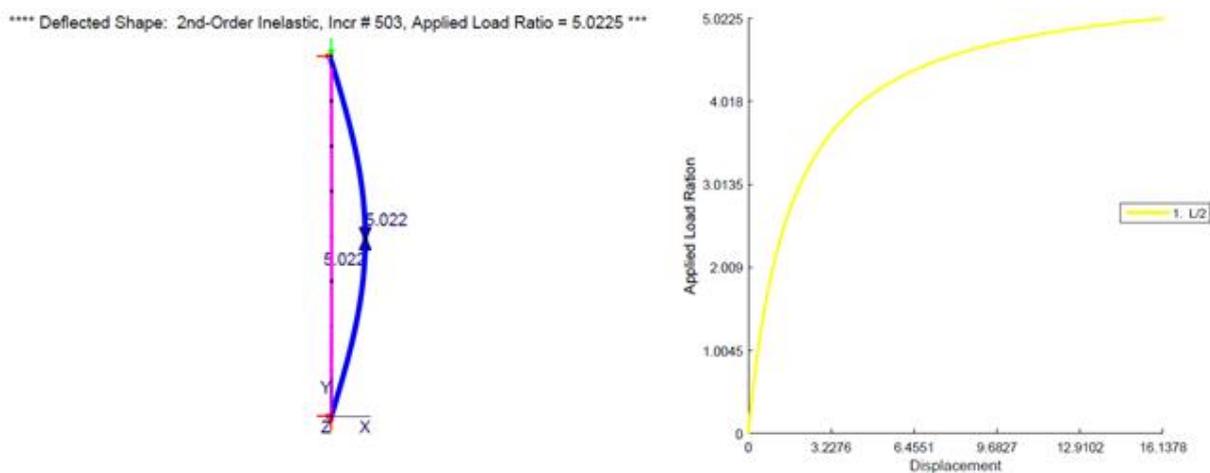


Fig. 4: Barra considerando as Imperfeições Iniciais.

A barra que desprezava as imperfeições iniciais e considerava as tensões residuais chegou a uma carga de 4.78 kip sendo isso 21,261 KN e seu deslocamento foi igual à zero, observa-se esta na Figura 5.

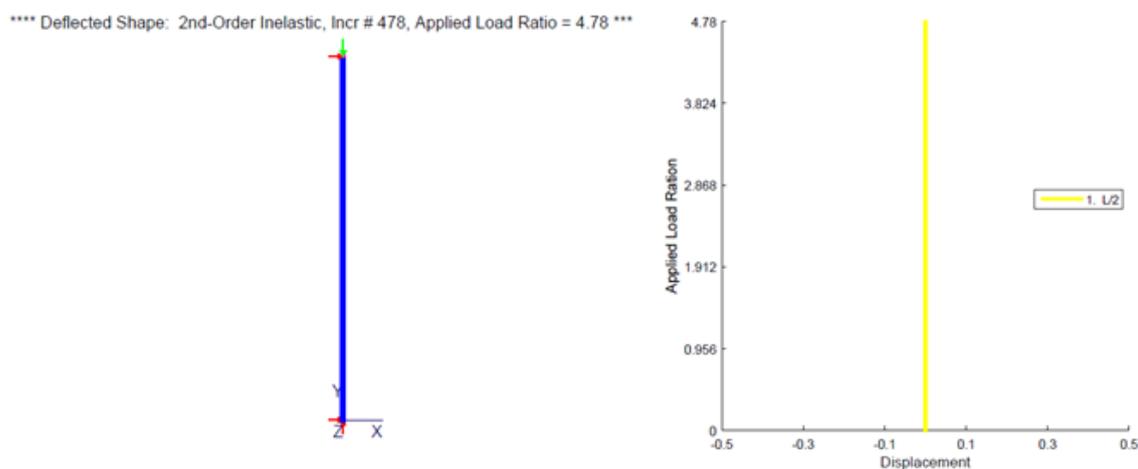


Fig. 5: Barra considerando as Tensões Residuais.

A barra que considerava tanto à imperfeição inicial e a tensões residual teve uma carga de 3.84 kip (17,08 KN) e um deslocamento de 7,00 in equivalente a 0,18m. Verifica-se isto na Figura 6.

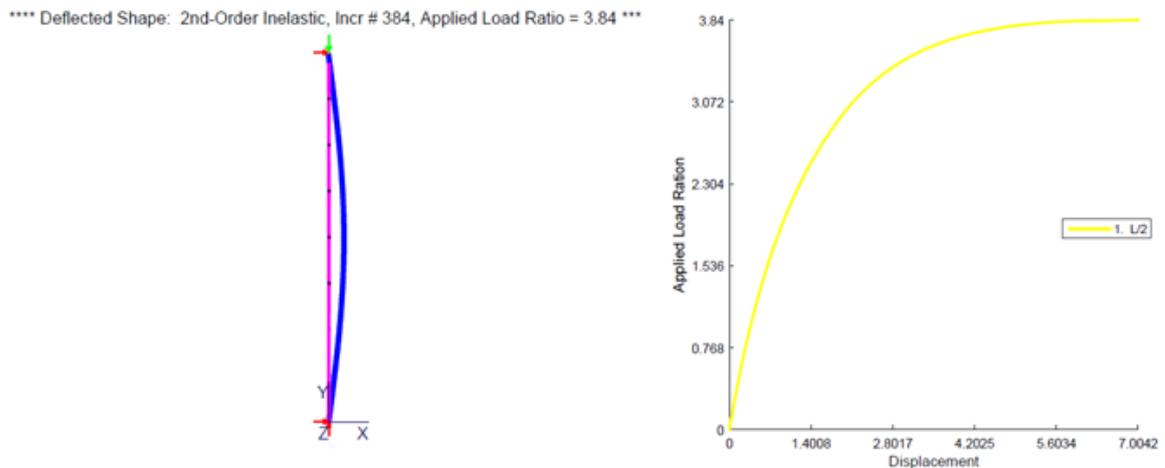


Fig. 6: Barra com Imperfeições Iniciais e Tensões Residuais.

Constata-se que à consideração das imperfeições iniciais e das tensões residuais reduziu significativamente a carga limite na análise de segunda ordem inelástica. Rodando apenas a barra sem os incrementos, a carga obtida é de 5.54 kip (24.64 KN), no momento em que se implementa as imperfeições iniciais ela decai para 5.0226 kip (22.34 KN) e deslocamento de 0.41m. Incrementando à tensão residual a carga vai para 3.84 kip (17.08 KN) e o deslocamento também diminui para 0.18m.

Quando apenas se considera à tensão residual chega-se a uma carga de 4.78 kip (21.261 KN), sendo 0.2426 kip (1.0791 KN) a diferença para quando se considera apenas as imperfeições residuais. Nota-se que incluindo as imperfeições iniciais a carga passa a ser 90.66% da carga da barra sem incrementos; quando adiciona-se apenas as tensões residuais a carga cai para 86.28% da barra inicial; Introduzindo ambos à carga resulta em 69.31% da carga da barra sem incrementos. Portanto pode-se dizer que é de deveras importância à consideração das tensões residuais e as imperfeições iniciais no cálculo estrutural.

4. Conclusão

O desenvolvimento do presente artigo possibilitou o estudo sobre a análise de segunda ordem inelástica. Também o conhecimento sobre as imperfeições iniciais e tensões residuais em uma barra e sua influência. A modelagem no software MASTAN proporcionou à revisão de concepções estruturais básicas e discernimento entre diferentes tipos de análise.

Com as realizações das análises notou-se que há variação da carga limite para a segunda ordem inelástica, conforme à consideração das imperfeições iniciais e tensões residuais. Quando ambas foram consideradas à carga decaiu para 69.31% da carga da barra sem os incrementos, apenas as tensões residuais fizeram à carga ir para 86.28% da carga da barra, sendo mais significativa que as imperfeições iniciais, entretanto as imperfeições iniciais geraram um deslocamento de 0.41m, e quando uniu ambos os incrementos este deslocamento diminui para 0.18m.

Averiguando então que as imperfeições iniciais e as tensões residuais diminuí significativamente à resistência de estruturas. Deste modo conclui-se que deve-se considerar ambas, para obter um resultado mais próximo do real.

5. Referências

[1] ALMEIDA, Andréia Cristina Barroso. Análise Inelástica De Pórticos Planos Considerando A Plasticidade Distribuída E O Efeito Das Tensões Residuais Nos Perfis Estruturais De Aço. Dissertação de Mestrado (Engenharia de Estruturas), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2006.

[2] ALMEIDA, Andréia Cristina Barroso; LAVALL, Armando Cesar Campos. Influência das Tensões Residuais na Resistência de Pilares de Aço Considerando a Análise Avançada com Plasticidade Distribuída. REM - R. Esc. Minas, Ouro Preto, abr. jun. 2007.

[3] ALMEIDA, Saulo José de Castro. Análise Numérica de Perfis de Aço Formados à Frio Comprimidos Considerando Imperfeições Geométricas Iniciais. Dissertação de Mestrado (Engenharia de Estruturas), USP. São Carlos, 2007.

[4] CHODRAUI, Gustavo Monteiro de Barros. Análise Teórica e Experimental de Perfis de Aço Formados à Frio Submetidos À Compressão. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2006.

[5] LAVALL, Armando Cesar Campos. Uma Formulação Consistente para Análise Não-Linear de Pórticos Planos de Aço Considerando Imperfeições Iniciais e Tensões Residuais. Tese de Doutorado (Escola de Engenharia de São Carlos). São Carlos, 1996.

[6] PAULIN, Michelle Magalhães. Estabilidade em Estruturas de Aço. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil), Universidade Federal de São Paulo. São Carlos, 2007.