MODELAGEM NUMÉRICA DE ELEMENTOS TRACIONADOS EM AÇO INOXIDÁVEL COM PARAFUSOS DEFASADOS

André Tenchini da Silva João de Jesus Santos andretsilva@gmail.com PGECIV – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UERJ Luciano Rodrigues Ornelas de Lima Pedro Colmar Gonçalves da Silva Vellasco Sebastião Arthur Lopes de Andrade paraduc@click21.com.br lucianolima@uerj.br vellasco@uerj.br vellasco@uerj.br Departamento de Estruturas e Fundações, Faculdade de Engenharia, UERJ José Guilherme Santos da Silva jgss@uerj.br Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia, UERJ

Resumo. Atualmente, a utilização do aço inoxidável em elementos estruturais é considerada uma solução extravagante para os problemas da engenharia estrutural. Todavia, mudanças de atitudes dentro da construção civil e uma transição global para um desenvolvimento sustentável e redução em impactos ambientais tem seguramente provocado um aumento na utilização do aço inoxidável. As normas de projeto de aço inoxidável são em grande parte baseadas em analogias assumidas com o comportamento de estruturas desenvolvidas com aço carbono. Todavia, o aço inoxidável apresenta quatro curvas não-lineares tensão versus deformação (tensão e compressão, paralela e perpendicular a laminação do material), sem patamar de escoamento e região de encruamento claramente definidos, modificando assim, o comportamento global das estruturas que o utilizam. Com o objetivo de se avaliar a resistência a tração de elementos estruturais aparafusados em aço inoxidável S304 com furação defasada, este trabalho apresenta um modelo numérico baseado no método dos elementos finitos através do programa Ansys (versão 11). A não-linearidade do material foi considerada através do critério de plastificação de Von Mises e curvas tensão versus deformação verdadeira e a não-linearidade geométrica foi introduzida no modelo através da Formulação de Lagrange Atualizado. O modelo numérico foi calibrado com resultados experimentais obtidos em ensaios de laboratório, a partir de ligações aparafusadas alternadas rígidas, onde não se ocorre nenhuma rotação entre os membros, transferindo nenhum momento fletor, apenas esforço normal e cisalhante.

Palavras-chave: Aço Inoxidável, Resistência a Tração, Análise Não-linear, Ligações Aparafusadas, Método dos Elementos Finitos

1 INTRODUÇÃO

Mudanças de atitudes dentro da construção civil e uma transição global para um desenvolvimento sustentável e redução em impactos ambientais tem seguramente provocado um aumento na utilização do aço inoxidável conforme pode ser observado na Figura 1. As normas de projeto de aço inoxidável atuais (Eurocode 3, part 1.4, 2003) são em grande parte baseadas em analogias assumidas com o comportamento de estruturas de aço carbono. Todavia, o aço inoxidável apresenta quatro curvas tensão *versus* deformação não-lineares (tração e compressão, paralela e perpendicular a direção de laminação) sem patamar de escoamento e região de encruamento claramente definidos, modificando assim, o comportamento global das estruturas que o utilizam.

Um passo importante para aumentar a compreensão e o uso do aço inoxidável em sistemas estruturas foi o desenvolvimento e posterior publicação das normas de projeto, inclusive regulamentos europeus. Entretanto, tendo em vista que estas normas representaram uma primeira consideração sobre a utilização do aço inoxidável em elementos estruturais, um fator importante no desenvolvimento das mesmas foi assegurar que um projetista familiarizado com estruturas em aço carbono pudesse fazer uma transição direta para o projeto estrutural com o aço inoxidável.

Em elementos estruturais submetidos a tensões normais de tração, a ruptura da seção líquida representa um dos estados limites últimos usualmente verificados. Com o objetivo de se avaliar a resistência a tração de elementos estruturais com furação defasada em aço inoxidável, este artigo apresenta um modelo numérico baseado no método dos elementos finitos através do programa Ansys (Ansys, version 11.0, 2007). Os resultados numéricos obtidos foram comparados com resultados experimentais em termos de curvas carga *versus* deformação e modos de ruína.



Figura 1 - Aeroporto Sá Ferreira, Porto, Portugal

2 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

Conforme citado anteriormente, este trabalho utiliza as normas européias para o dimensionamento de elementos constituídos de aço inoxidável (Eurocode 3, part 1.4, 2003).

Em uma chapa com presença de furo, o colapso é caracterizado quando ocorre o escoamento da área bruta ou ruptura da área líquida. Na Figura 2, apresenta-se o

comportamento de chapas com furo sujeita a um esforço de tração devido a uma carga axial crescente.



Figura 2 - Evolução de tensões normais - placa sujeita a carregamento axial

Com o furo, a área bruta diminui, provocando assim um escoamento precoce da seção da chapa, porém a carga que leva a estrutura a ruína será a mesma. Com a presença de mais furos na seção transversal, e estes com defasagem como mostra a Figura 3, dificulta-se a identificação da seção mais crítica da peça. A análise da ruptura das ligações em estruturas de aço foi primeiramente caracterizada por Crochrane (1922), que formulou uma expressão, eq. (1), que adiciona um termo a largura líquida original para se obter a área da seção líquida final. Esta equação ainda está presente nas normas mais modernas de dimensionamento de estruturas de aço para avaliação dos possíveis caminhos da ruptura que uma chapa com furos possui.

$$b_n = b - d_b + \frac{s^2}{4g} \tag{1}$$

onde b é a largura da placa, d_b é o diâmetro do furo, s é o espaçamento horizontal entre parafusos e g é o espaçamento vertical entre parafusos.

A norma européia Eurocode 3, part 1.4 (2003), estabelece as diretrizes para o dimensionamento de placas de aço submetidas a um esforço de tração constituídas de aço inoxidável. Para a ruína do elemento estrutural considera-se a menor força normal de tração obtida entre dois estados limites últimos: escoamento da seção bruta cuja resistência é dada pela eq. (2), ou a ruptura da seção líquida, cuja resistência é expressa pela eq. (3).

$$N_{pl,Rd} = \frac{A_g \times f_y}{\gamma_{M0}} \tag{2}$$

onde, $N_{pl,Rd}$ é o esforço normal resistente de tração, A_g é a área bruta da seção, f_y é a tensão de escoamento do material e γ_{M0} é o coeficiente de ponderação da resistência, igual a 1,00.

$$N_{u,rd} = \frac{k_r \times A_n \times f_u}{\gamma_{M2}} \tag{3}$$

onde A_n é a área líquida da seção, f_u é a tensão última do material e k_r é dado pela eq. (4) e γ_{M2} é o coeficiente de ponderação da resistência, igual a 1,25.

$$k_r = (1 + 3r(d_0 / u - 0, 3)) \tag{4}$$

onde r é a razão entre o número de parafusos na seção considerada e o número total de parafusos na ligação, d_0 representa o diâmetro do furo, $u = 2.e_2$ mas $u \le p_2$ onde e_2 representa a distância vertical da extremidade da placa até o centro do parafuso na direção perpendicular ao sentido de aplicação da carga, e p_2 representa o espaçamento, furo a furo, entre parafusos na direção perpendicular a direção de transferência de carga.

Para o dimensionamento de ligações submetidas a esforços de tração, consideram-se alguns critérios:

a) em ligações aparafusadas, a largura dos furos deve ser considerada 2,0 mm maior que a dimensão nominal desses furos, perpendicular à direção da força aplicada;

b) no caso de uma série de furos distribuídos transversalmente ao eixo da barra, em diagonal a esse eixo ou em ziguezague, a largura líquida dessa parte da barra deve ser calculada deduzindo-se da largura bruta a soma das larguras de todos os furos em cadeia, e somando-se para cada linha ligando dois furos, a quantidade $s^2/4g$;

c) a largura líquida crítica daquela parte da barra será obtida pela cadeia de furos que produza a menor das larguras líquidas, para as diferentes possibilidades de linhas de ruptura;

d) para cantoneiras, o gabarito g dos furos em abas opostas deve ser considerado igual à soma dos gabaritos, medidos a partir da aresta da cantoneira, subtraída de sua espessura;

e) na determinação da área líquida de seção que compreenda soldas de tampão ou soldas de filete em furos, a área do metal da solda deve ser desprezada;

f) não havendo furos $A_n = A_g$.

3 ENSAIOS EXPERIMENTAIS

Para efeitos de calibração do modelo numérico apresentado neste trabalho, este item apresenta os resultados experimentais de três ensaios realizados por Santos (2008) com placa cobrejunta constituída de aço inoxidável A304, possuindo duas placas intermediárias de aço carbono MR250. A ligação cobrejunta considerada tem duas chapas de aço inoxidável com 3 mm de espessura que servem para efetuar a ligação das placas em aço carbono, com 15 mm de espessura, espaçadas de 5 mm. Os ensaios reproduzidos são denominados de E5_INOX_S50, E7_INOX_S30 e E9_INOX_S23, com espaçamentos entre furos s de 50, 30 e 23 mm, respectivamente. Em ambos os casos, o espaçamento vertical g é igual a 55 mm (ver Figura 3). As deformações nas chapas de aço inoxidável foram mensuradas em posições predeterminadas, com uma nomenclatura caracterizada por duas letras e um número, SGX (sendo X correspondente a um número) como também pode ser visto na Figura 3.



Figura 3 – Detalhe da ligação ensaiada e região modelada em elementos finitos, Santos(2008)

As curvas obtidas em ensaios de corpos-de-prova a tração para ambos os materiais estão apresentadas na Figura 4, onde pode-se observar uma curva não-linear para o aço inoxidável, sendo bastante diferente do aço carbono. A obtenção da tensão de escoamento para o aço inoxidável é feita através da reta correspondente a uma deformação de 0,2%, paralela ao trecho inicial, trecho este que não apresenta uma reta bem definida. Com isso, para o aço inoxidável os valores obtidos de 350,6 MPa e 920,2 MPa para as tensões de escoamento e última, respectivamente. Para o aço carbono, obteve-se uma tensão de escoamento da ordem de 386,8MPa e tensão de última de 478,7 MPa. É importante ressaltar que a curva tensão versus deformação do aço inoxidável foi obtida através de corpos-de-prova, nos quais, a força aplicada era perpendicular ao sentido da laminação do material.

A Figura 4 apresenta também os resultados de uma curva tensão verdadeira versus deformação verdadeira obtidas pelas equações (5) e (6), respectivamente. Esta curva foi utilizada na caracterização do modelo em elementos finitos, devido às grandes deformações associadas ao problema investigado onde σ_t , ε_t , f_v and ε_n representam a tensão verdadeira, a deformação verdadeira, a tensão de escoamento nominal e a deformação nominal, respectivamente.

$$\sigma_t = f_y(1 + \varepsilon_n) \tag{5}$$



Aco Carbono – MR250 a) Aco Inoxidável - A304 Figura 4 - Curva tensão versus deformação nominal e verdadeira, Santos (2008)



a) máquina universal de ensaios Lousenhausen 600kN



b) sistema de aquisição de dados National Instruments PXI-1050 Figura 5 – Esquema experimental, Santos (2008)

Para a realização dos ensaios das ligações, utilizou-se uma máquina universal de ensaios Lousenhausen com capacidade de 600kN conforme pode ser observado na Figura 5(a). A aquisição de dados (deformações, deslocamentos e carga) foi feita através do sistema NI-PXI-1050 da *National Instruments*, conforme apresentado na Figura 5(b).

4 CARACTERIZAÇÃO DO MODELO NUMÉRICO

O modelo de elementos finitos (Bursi & Jaspar, 1997) utilizado neste artigo para avaliação de uma ligação cobrejunta aparafusada concebido no programa Ansys 11.0 (2007) foi constituído de elementos sólidos com oito nós (SOLID45 - Ansys Manual Reference) com três graus de liberdade por nó, nomeadamente, translações nas direções x, y e z. A malha utilizada foi escolhida de forma que os elementos tivessem uma proporção e tamanho de forma a evitar problemas numéricos (Kim & Kuwamura, 2007). A Figura 6(a) apresenta uma malha típica do modelo completo para caracterização do comportamento dessa ligação (Silva, 2009). Ressalta-se aqui que somente 1/8 (ver Figura 3 – Detalhe em vermelho) da ligação foi modelada conforme pode ser visualizado na Figura 6(a), pois este modelo é suficiente para a caracterização dos estados limites últimos da ligação, e representa um esforço computacional menor, visto que a quantidade de elementos é menor.

As propriedades do material utilizado para o aço carbono MR250 e para o aço inoxidável A304 foram: módulo de elasticidade E = 210 e 165 GPa, respectivamente e coeficiente de Poisson v = 0,3 para os dois materiais. Para ambos os materiais, foram utilizadas curvas tensão *versus* deformação verdadeiras para a análise numérica, como dito anteriormente.

Para as diversas geometrias utilizadas, efetuou-se uma análise não-linear completa considerando a não-linearidade geométrica e do material. A não-linearidade do material foi considerada através do critério de plastificação de Von Mises e a não-linearidade geométrica foi introduzida no modelo através da Formulação de Lagrange Atualizada. Este tipo de análise possibilita obter uma resposta global da ligação efetuando uma comparação coerente entre os resultados obtidos através do Eurocode 3, part 1.4 (2003) e os numéricos em termos de estados limites últimos da ligação. O carregamento foi aplicado na forma de deslocamentos na extremidade da placa de aço carbono, na direção X. Os parafusos foram restringidos, na direção Y e Z, em suas extremidades.

Com respeito ao fenômeno do contato entre a borda interna do furo e o corpo do parafuso e entre as placas de aço inoxidável e aço carbono, utilizou-se o elemento de contato presente na biblioteca do Ansys (CONTACT173 e TARGET170) entre as superfícies de forma a evitar a penetração de um corpo no outro. Geralmente, não é possível definir a priori as zonas que sofrem contato devido as diferenças de estágios de carga e correspondentes deformações. A introdução do elemento de contato desenvolveu-se através de aplicação de um coeficiente de atrito (μ) entre as áreas de contato.

A escolha do coeficiente de atrito baseou-se em trabalhos anteriores e pela experiência desses com os resultados obtidos. Desta forma, adotou-se o valor do coeficiente de atrito igual a 0,25 e 0,05, para as superfícies de contato entre o fuste do parafuso e as placas e entre placas, respectivamente . A Figura 6(b) representa a área de atuação do contato entre chapas, e a Figura 6(c) entre a chapa e o parafuso.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Resultados Experimentais

5.1.1 . Ensaio E5_INOX_50

A Figura 7 apresenta a curva carga *versus* deslocamento para o respectivo ensaio onde o deslocamento representa o afastamento entre as garras da máquina de ensaios e por este motivo, não serão efetuadas comparações em termos de curvas carga *versus* deslocamento entre os resultados numéricos e experimentais.





Nesta figura, pode-se observar que a carga máxima atingida foi de aproximadamente 480,0 kN. De acordo com o dimensionamento efetuado através das eq. (2) e (3), as resistências obtidas para os estados limites últimos da ligação no que diz respeito a plastificação da seção bruta ou ruptura da área líquida, passando por dois furos, foram respectivamente 302,9 kN e 494,6 kN com coeficientes de ponderação tomados iguais a 1,0. Estes valores foram obtidos usando os valores medidos das tensões de escoamento e ruptura, respectivamente.

Observa-se que o estado limite de ruptura da seção líquida (seção com dois furos mais próxima da emenda das placas de 15 mm) controlou a carga última da ligação conforme é mostrado na Figura 7. Desta forma, verifica-se que a carga última obtida no ensaio foi bastante superior a carga que preconiza o Eurocode 3 (part. 1.4 - 2003), que neste caso, o critério para a avaliação da ruína é o da plastificação da seção bruta.

5.1.2 . Ensaio E7_INOX_30

A Figura 8 apresenta a curva carga *versus* deslocamento para o ensaio E7_INOX_30. Nesta figura, pode-se observar que a carga máxima atingida foi de aproximadamente 459,0 kN. De acordo com o dimensionamento efetuado através das eq. (2) e (3), as resistências obtidas para os estados limites últimos da ligação no que diz respeito a plastificação da seção bruta ou ruptura da área líquida, passando por dois furos, foram respectivamente 302,9 kN e 469,8 kN com coeficientes de ponderação tomados iguais a 1,0. Estes valores foram obtidos usando os valores medidos das tensões de escoamento e ruptura, respectivamente.



Figura 7 - Curva carga versus deslocamento - ensaio experimental E5_INOX_S50



Figura 8 - Curva carga versus deslocamento - ensaio experimental E7_INOX_S30

Observa-se que o estado limite de ruptura da seção líquida (seção com dois furos mais próxima da emenda das placas de 15 mm) controlou a carga última da ligação conforme pode ser observado na Figura 8. Desta forma, verifica-se que a carga última obtida no ensaio foi bastante superior a carga em que preconiza o Eurocode 3 (part. 1.4 - 2003), que também para essa configuração, o critério para a avaliação da ruína é o da plastificação da seção bruta.

5.1.3 Ensaio E9_INOX_23

A Figura 9 apresenta a curva carga *versus* deslocamento para o respectivo ensaio onde também não haverá comparação entre a curva carga *versus* deslocamento do modelo numérico. Nesta figura, pode-se observar que a carga máxima atingida foi de aproximadamente 436,0 kN. De acordo com o dimensionamento efetuado através das eq. (2) e (3), as resistências obtidas para os estados limites últimos da ligação no que diz respeito a plastificação da seção bruta ou ruptura da área líquida, passando por três furos, foram respectivamente 302,9 kN e 455,5 kN com coeficientes de ponderação tomados iguais a 1,0. Estes valores foram obtidos usando os valores medidos das tensões de escoamento e ruptura, respectivamente.



Figura 9 – Curva carga versus deslocamento – ensaio experimental E9_INOX_S23

Observa-se que o estado limite de ruptura da seção líquida (seção com dois furos mais próxima da emenda das placas de 15 mm) controlou a carga última da ligação conforme pode ser observado na Figura 9. Desta forma, verifica-se que a carga última obtida no ensaio foi bastante superior a carga em que preconiza o Eurocode 3 (part. 1.4 - 2003), que neste caso seria a seção bruta.

5.2 Resultados Numéricos

Este item apresenta os resultados obtidos através do modelo numérico baseado nos ensaios experimentais apresentados anteriormente. Na Figura 10 são apresentadas as curvas carga *versus* deslocamento para a placa individualmente em cada ensaio, onde pode-se verificar que as cargas últimas encontradas nos ensaios E5_INOX_S50, E7_INOX_S30 e E9_INOX_S23 foram 389 kN, 389 kN e 385 kN, respectivamente.

Observa-se que em todos os modelos numéricos, a carga máxima encontrada está compreendida entre a carga preconizada pelo Eurocode 3 (part 1.4 2003) e a carga experimental.



Figura 10 - Curvas carga versus deslocamento - modelos numéricos

Verifica-se na Figura 11 a distribuição de tensões de Von Mises para os três modelos reproduzidos, nos quais, existem tensões elevadas entre a borda da placa e o furo para todos os modelos. No modelo correspondente ao ensaio E5_INOX_S50 há, pela distribuição de tensões, ruptura da seção líquida da chapa de aço inoxidável passando por dois furos. Este modo de ruína foi o mesmo ocorrido no ensaio experimental. No modelo numérico referente ao ensaio E7_INOX_S30, observa-se que não é claramente identificada a seção de ruptura da secção líquida, ou seja, ela poderá ocorrer passando por dois ou três furos. No caso do modelo E9_INOX_S23 a ruptura ocorre na seção líquida da chapa, passando por três furos, fato constatado também no ensaio experimental.

5.3 Comparação Experimental versus Numérico

Com o objetivo de validar o modelo numérico desenvolvido neste trabalho, são apresentadas nesta seção, as curvas carga *versus* deformação para alguns pontos medidos experimentalmente. A Figura 12 apresenta a comparação de deformações entre o modelo numérico e o ensaio E5_INOX_S50, nas seções entre parafusos mais próximos da linha de centro da ligação e no eixo de simetria. Observa-se que há um comportamento similar entre as curvas experimental e numérica, para os extensômetros 2(4) e 3(8). No entanto, o modelo numérico, apresentou uma rigidez no trecho inelástico menor para ambos os pontos em estudo.

Na Figura 13 encontram-se apresentadas as curvas carga *versus* deformação para o ensaio E7_INOX_S30. Observa-se que não houve uma boa concordância entre as curvas do modelo numérico e o ensaio experimental, visto que o resultado da modelagem apresentou uma rigidez menor e maiores deformações para todos os níveis de carga.

Para o ensaio E9_INOX_S23, ver Figura 14, as curvas apresentaram similaridade, entre o modelo numérico e o ensaio experimental.



Figura 12 – Carga versus deformação (Experimental versus Numérico) – E5_INOX_50



Figura 13 – Carga *versus* deformação (Experimental *versus* Numérico) – E7_INOX_30



Figura 14 – Carga versus deformação (Experimental versus Numérico) – E9_INOX_23

De modo a analisar o modo de ruína, no que diz respeito a ruptura da área líquida da seção, a Figura 15 mostra as curvas carga *versus* deformação para um ponto situado na seção com dois furos no eixo de simetria horizontal. Verifica-se que quanto maior for a distância horizontal entre furos, parâmetro s, menor é a solicitação no parafuso da seção adjacente. Por exemplo, para um nível de carga aplicada de 250 kN, tem-se a curva mais à esquerda com um nível de deformação inferior aos demais evidenciando a ruptura na seção com 3 furos. Por outro lado, para este nível de carga aplicada, o modelo do ensaio E5_INOX_S50, evidencia que a ruína ocorre na seção com 2 furos.



Figura 15 - Curva carga versus deformação - todos os modelos numérico

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a resistência a tração de elementos estruturais com furação defasada em aço inoxidável. A metodologia empregada consistiu, em uma primeira etapa, da revisão das normas de dimensionamento de elementos de aço inoxidável sob solicitação de tração onde se destacou o Eurocode 3, parte 1.4 (2003). Isto se seguiu com o desenvolvimento de um modelo numérico, baseado no método dos elementos finitos, através do programa Ansys 11.0 onde as não-linearidades do material e geométrica foram consideradas através do critério de plastificação de Von Mises e da formulação de Lagrange atualizada, respectivamente. A calibração destes modelos foi feita através de modelos reproduzidos do trabalho de Kim & Kuwamura (2007), em que a verificação era feita com base na estrutura da malha e o tamanho dos elementos a determinar, utilizando aço inoxidável SUS304, em ligações aparafusadas submetidas a tração (Silva, 2009).

A Tabela 1 abaixo apresenta uma comparação entre os resultados numéricos, experimentais e prescritos pelo Eurocode 3 (2003) para os ensaios a tração executados em chapas de inoxidável. Diferenças da ordem de 28% foram encontradas na comparação dos resultados fornecidos pelo Eurocode 3 (2003) e os modelos numéricos. Por outro lado, diferenças variando entre 12% e 19% foram encontradas na comparação dos resultados numéricos e experimentais. Estas diferenças devem-se em parte a modelagem do material adotada no modelo de elementos finitos e ao conservadorismo implícito presente no Eurocode 3, parte 1.4 (2003). Este conservadorismo deve-se em grande parte à pouca disponibilidade de ensaios experimentais em aço inoxidável.

,			•			
Ensaio	Tipo de ruptura (experimental)	Carga última – exp. (kN)	Tipo de ruptura (numérico)	Carga última – num. (kN)	Diferença (%) Num.–Exp.	Diferença (%) Num. – EC3.
E5_INOX_S50	2F	480,0	2F	389	19,0	28,8
E7_INOX_S30	2F	459,0	2F / 3F	389	15,2	28,8
E9 INOX S23	3F	436,0	3F	385	11,6	27,5

Tabela 1 – Comparação dos resultados numéricos, experimentais e Eurocode 3 para os ensaios a tração executados em chapas de aço inoxidável

Os valores de carga última para todos os modelos foram menores que os obtidos nos ensaios experimentais. Pode-se atribuir ao fato de que os modelos numéricos são uma forma idealizada de representar as ligações, sem imperfeições. Como dito anteriormente, também pelo fato de que a curva tensão *versus* deformação do aço inoxidável obtida, a partir de corpos-de-prova, teve seu comportamento modificado devido à direção da laminação. O corpo-de-prova foi extraído na direção perpendicular à aplicação da carga, mas no ensaio da ligação propriamente dito, a direção da carga era paralela a laminação da chapa.

Próximas etapas desta investigação irão considerar o desenvolvimento de mais testes em chapas aparafusadas em aço inoxidável submetidas à tração para ampliar o conjunto de dados experimentais que permitam a sua utilização em outras simulações numéricas. Com esses resultados em mãos, os autores prevêem a apresentação de algumas alterações ao actual código de aço inoxidável criando regras visando à obtenção de soluções mais econômicas e mais seguras.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem a UERJ, a CAPES, ao CNPq e a FAPERJ, pelo apoio financeiro. Agradecimentos também são devidos ao LABCIV - Laboratório de

Computação da Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da UERJ pelo suporte computacional e ao Laboratório de Engenharia Civil (LEC) coordenado pelo Eng. Antônio Rodrigues Inácio pela realização dos ensaios experimentais. Agradece-se também à USIMINAS e à ACESITA peça doação do material, aço carbono e aço inoxidável, respectivamente.

REFERÊNCIAS

Ansys, Inc. Theory Reference (version 11.0), 2007.

- Bursi, O. and Jaspart, J. P., 1997. Calibration of a Finite Element Model for Isolated Bolted End-Plate Steel Connections *Journal of Constructional Steel Researchers*, vol. 44, n° 3, pp. 225-262.
- Cochrane, V. H., 1922, Rules for Rivet Hole Deduction in Tension Members, Engineering News-Record, vol. 80, November 16.
- Eurocode 3, ENV 1993-1-4, 2003: Design of steel structures Part 1.4: General rules Supplementary rules for stainless steel, CEN - European Committee for Standardisation 1996
- Eurocode 3, prEN 1993-1.8, 2003. Design of steel structures Part 1.8: Design of joints ("final draft"), CEN European Committee for Standardisation, Brussels.
- Kim, T. S. and Kuwamura, H. 2007. Finite element modeling of bolted connections in thinwalled stainless steel plates under static shear, Thin-Walled Structures 45, 407–421, Japan
- Santos, J. de J. dos, 2008, Comportamento Estrutural de Elementos em Aço Inoxidável, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ.
- Silva, A. T. da, 2009, Comportamento de Peças Tracionadas em Esruturas de Aço-Carbono e Aço Inoxidável, Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Estruturas e Fundações, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ.