

ANALISE COMPARATIVA DE ROSCA EM AÇO LN 700 EM DOIS PROCESSOS DISTINTOS: FURAÇÃO COM BROCA E FURAÇÃO POR ESCOAMENTO A SECO

Adonis Pellin, 157405@upf.br¹

Charles Leonardo Israel, israel@upf.br

Herbert Tunnermnn, herbert@joscil.com.br¹

Luiz Alberto Roos, luisroos@hotmail.com

¹Universidade de Passo Fundo - UPF

Resumo: Tendo como objetivo a necessidade de uma rosca em chapa fina estrutural aliada a uma preocupação com a resistência mecânica, foi realizado uma análise comparativa entre dois processos de furação. A primeira análise refere-se a furação convencional com broca, a segunda refere-se a furação por escoamento com tecnologia flow drill, após as furações foram feitas roscas UNC ½” nas duas condições. Para este estudo foi utilizado aço estrutural de baixa liga USI-LN-700. O objetivo principal foi definir qual processo representa a melhor resistência mecânica. Para poder mensurar cada processo, foram realizados testes de resistência dos filetes da rosca por ensaio de tração, testes de fadiga objetivando identificar a maior vida útil de cada processo, ensaios de micrografia e micro dureza para análise de possíveis alterações na microestrutura do aço, principalmente devido ao processo de furação por escoamento gerar uma alta temperatura que poderia reduzir drasticamente a resistência do aço LN 700. A maior resistência a ruptura e escoamento dos filetes se obteve no processo de furação por escoamento devido a quantidade de filetes provenientes do processo que determina uma maior resistência pela distribuição das tensões em uma maior área. A mesma conclusão se apresentou nos testes de fadiga com aplicação de forças cíclicas a 70% do limite de escoamento. Os resultados apresentados nas micrografias demonstram a mudança de estrutura do material nas zonas termicamente afetadas, com a recristalização dos grãos no processo de furação por escoamento, enquanto no processo de furação convencional com broca a microestrutura manteve-se inalterada. Nos ensaios de micro dureza, mesmo com as características originais do material LN700 de encruamento, após a recristalização gerada não houve diferença significativa na média de dureza encontrada.

Palavras-chave: Recristalização, Fadiga, Microestrutura, Micro dureza, Ensaio de arranque, ARBL, Encruamento, Aço LN 700, flowdrill.

1 Introdução

Tendo como objetivo e a necessidade de uma rosca em chapa fina de aço estrutural USI-LN-700 e a preocupação com a sua resistência mecânica, optou-se por fazer uma análise em dois casos para uma melhor decisão técnica possível através da resistência mecânica obtida. A primeira análise refere-se a uma furação normal com broca, a segunda refere-se a uma furação por escoamento com tecnologia *flow drill* sendo que, após esta furação, nos dois casos são feitas roscas UNC ½" - 13 fios por polegada.

Na primeira análise, sem que se façam testes, observamos que a rosca direta em furo normal, tem suas limitações provenientes de quantidade de filetes gerados de acordo com a espessura do material, e a rosca por escoamento como alternativa a solda de porcas ou uso de porcas-rebite quando da necessidade de maior número de filetes de fixação. Porém quando se faz furo por escoamento altera-se a estrutura inicial da material base ocorrendo a recristalização de grãos, devido à sua alta temperatura causada por este processo.

Sabendo disto é necessário a definição de qual o processo é mais eficiente, o furo normal que, após a aplicação de rosca tem menos filetes mas mantém sua estrutura inicial com sua resistência mecânica elevada devido ao grande grau de encruamento do material na forma original do LN 700, ou o processo de furação por escoamento com a alteração da estrutura inicial do aço na região termicamente afetada, porém com o aumento da quantidade de filetes.

2 Revisão Bibliográfica

As roscas são usadas a milênios pela humanidade como forma de fixação de componentes de uso geral devido a sua praticidade, confiabilidade e eficiência. Seu uso na indústria é muito comum e cada vez mais criterioso devido aos rigorosos padrões de qualidade necessários.

O processo de furação por escoamento destina-se à obtenção de buchas escoadas em chapas finas ou peças de pequena espessura e, apesar de não ser uma tecnologia recente, já que a primeira tentativa de produzir furos por este processo ocorreu em 1923 conforme (FILHO, 1998), e ainda hoje está em desenvolvimento.

Um dos processos mais comuns são as roscas feitas em furações convencionais com o uso da broca. Outro processo é fazer a rosca em furos realizados por escoamento que, conforme (FILHO, 1998) é um processo pelo qual são geradas buchas escoadas em chapas e perfis em diversos materiais, possui como característica principal a obtenção de buchas sem a remoção de material. Segundo (FLOWDRILL, 2015), as buchas são produzidas através do emprego de uma ferramenta rotativa, normalmente de metal-duro, que pressionada contra o material da peça produz calor por atrito e deformação, conforme (FILHO, 1998) e (LOPES, 1994), provocando o amolecimento do material e seu escoamento durante a sua penetração conforme mostrado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, sendo também necessário posterior corte com o macho de rosqueamento.

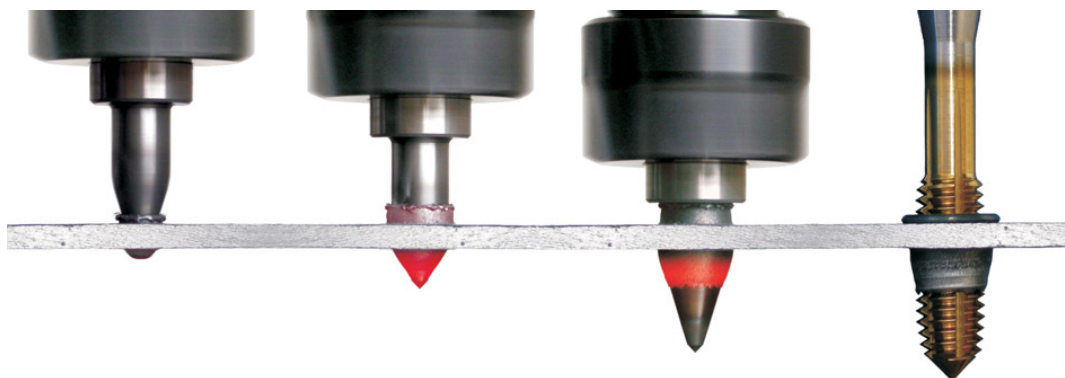


Figura 1 - Processo de furação por escoamento. Fonte: <http://www.flowdrill.com/pt/flowdrillprocess>.

Como apresentado por (ECKHARDT, 2003) as principais características dos aços de baixa liga submetidos a furos por escoamento, está relacionado entre a alteração da sua microestrutura e consequentemente suas propriedades mecânicas. Para podermos então comparar estas características é necessário fazer ensaios mecânicos e metalúrgicos. Um destes ensaios foi a aplicação de carga de tração em um parafuso roscado á bucha escoada até seu rompimento, e da mesma forma na rosca feita no furo por broca, permitindo uma avaliação comparativa da força necessária em cada um dos processos. Outro ensaio é o comparativo entre as análises de metalografia mencionados a seguir.

Independente da espessura do material e do teor de carbono em aços de baixa liga, o emprego das condições de trabalho mais severas durante a furação por escoamento, promoveram a obtenção de buchas com geometria e alterações micro estruturais, recristalização em materiais encruados por exemplo, enquanto o processo de furação com broca, com o uso de refrigeração, não se observa alterações tão significativas na microestrutura.

Conforme (DIETER, 1986) a recristalização é um processo efetuado por aquecimento, por meio do qual os grãos deformados são substituídos por um novo conjunto de grãos que formam núcleos e crescem até que os grãos

originais sejam totalmente consumidos. Segundo (DIETER, 1986) o encruamento de um metal pode ser definido como sendo o seu endurecimento por deformação plástica. Normalmente ocorre devido aos metais se deformam plasticamente pelos movimentos de discordâncias, interagindo entre si ou com outras imperfeições ou ainda com o campo de tensões internas provenientes de obstáculos e deformações. Estas levam a uma redução na mobilidade das discordâncias, acompanhada da necessidade de uma tensão maior para provocar a deformação plástica.

Composição química do LN 700, segundo NBR 6656: C0,15; Mn2,10; Si0,55; P0,030; S0,015; Al0,015; Nb0,12; V0,12; Ti0,20; Mo0,50; B0,005. Propriedade mecânicas limite de escoamento de 700 a 820 Mpa e Limite de Resistência à Tração de 780 a 920 Mpa, alongamento mínimo 12%.

3 Metodologia

Para efeitos de identificação rápida adotou-se o processo de furo por escoamento mais rosca como FE+R e a furação convencional com broca mais rosca como FB+R. Foram usados 05 (cinco) corpos de prova para ensaio de tração e fadiga e dois corpos de prova para ensaio metalográfico e micro dureza.

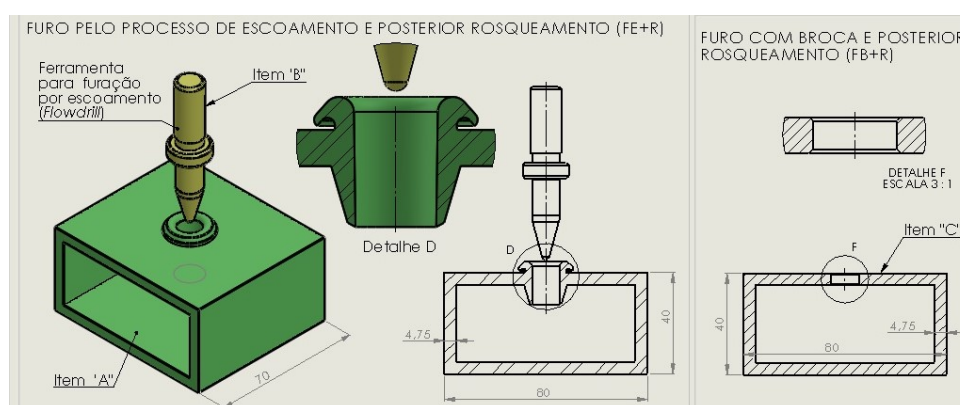


Figura 2 – Detalhe furo por Flowdrill e Broca Convencional. Fonte: autores.

3.1 Sequência de preparação das amostras:

- a- **Corte do material:** serra fita horizontal seguindo medidas de comprimento estipuladas no desenho
- b- **Furação com broca:** broca diâmetro de 11mm através do centro de usinagem vertical programado conforme medidas do desenho, observando a quantidade de peças para cada processo;
- c- **Furação com ferramenta flowdrill:** Na furação por escoamento uma das características apresentadas foi a deformação irregular do corpo da rosca e formação de rebarbas que foram mantidas por se tratarem de características encontradas normalmente pela indústria em seu processo produtivo usando esta tecnologia;
- d- **Rosqueamento:** feito em bancada com macho manual de rosca 1/2"x13 fios por polegada em todas as furações;

3.2 Ensaios:

- a- **Ensaio de tração:** tem como objetivo avaliar a resistência mecânica até que ocorra a ruptura dos filetes e o início de escoamento nos dois processos. Executado em máquina universal de ensaios Schenck UPM200 com capacidade de 200 kN, utilizando dispositivo especialmente confeccionado conforme figura 3 e parafuso Allen classe de resistência 12,9 para garantir que ocorra o escoamento ou ruptura do LN700 e não dos filetes do parafuso, sendo descartado a cada ensaio devido ao acúmulo de material cisalhado da rosca em seus filetes.

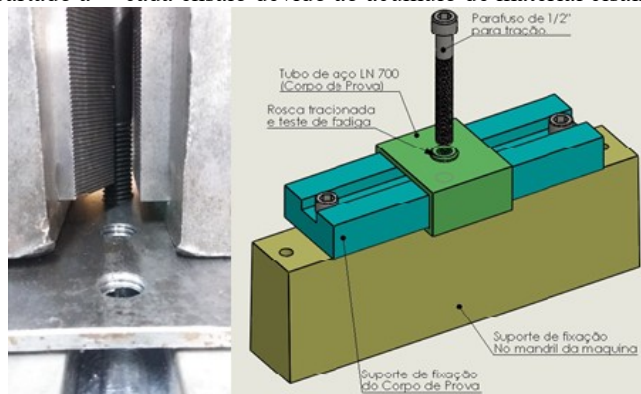


Figura 3 - Ensaio de Tração e Dispositivo. Fonte: autores.

- b- **Ensaio de fadiga:** efetuado para comparar a resistência entre os processos a ciclos repetitivos, realizado em máquina Shimadzu Servopulser EHF-RV101K1 de capacidade 100 kN sendo a fixação com pinça hidráulica, trabalhando com amplitude de 18,15 kN (média de 70% da força de início de escoamento do ensaio de tração FB+R), usando o dispositivo especialmente confeccionado e parafuso Allen classe de resistência 12,9 para garantir que ocorra primeiro a falha da rosca na amostra e não no parafuso, sendo descartado a cada ensaio devido ao acúmulo de material cisalhado da rosca em seus filetes.
- c- **Ensaio Metalográfico:** objetivando observar a microestrutura na área afetada pelo processo de furação e rosqueamento foi definida a ZAC (zona afetada pelo calor) e analisados pontos desde a área original da amostra até a ZAC, em equidistância até a proximidade dos filetes de rosca, em ambas as operações, usado os equipamentos Zeiss Trinocular com sistema de aquisição de imagem. Feito ataque químico de Nital a 3% nas amostras;
- d- **Ensaio de Micro Dureza:** feito em máquina de dureza Shimadzu modelo HMV-G 20ST, com carga de 3 N, unidade de medição da dureza em Vickers sendo esta medição em dois locais distintos, na região afetada pelo calor (ZAC) e na metal base para comparação.

4 Resultados

Serão demonstrados a seguir os resultados coletados e analisados, sendo compilados em gráficos e imagens ilustrativas com as devidas considerações.

4.1 Análise dos dados de tração até a ruptura dos filetes

A hipótese considerado para este teste é aplicação de uma força de tração no parafuso até que ocorra a ruptura nos filetes do corpo de prova. Conforme demonstrado no gráfico da força de arrancamento Figura 4 - **Gráfico da força de arrancamento**, observamos uma grande diferença entre a força de tração realizada até o rompimento dos filetes entre o processo FB+R e o processo FE+R. Na Tabela 1, o baixo coeficiente de variação e desvio padrão comprovam a confiabilidade dos dados estatisticamente nos dois processos. No processo FE+R a força aplicada foi de 52.136 N comparada a 34.111 N do processo FB+R, portanto houve ganho de 52,84% no arranque da rosca. Esta grande diferença também é demonstrada entre o coeficiente “t” calculado e o tabelado.

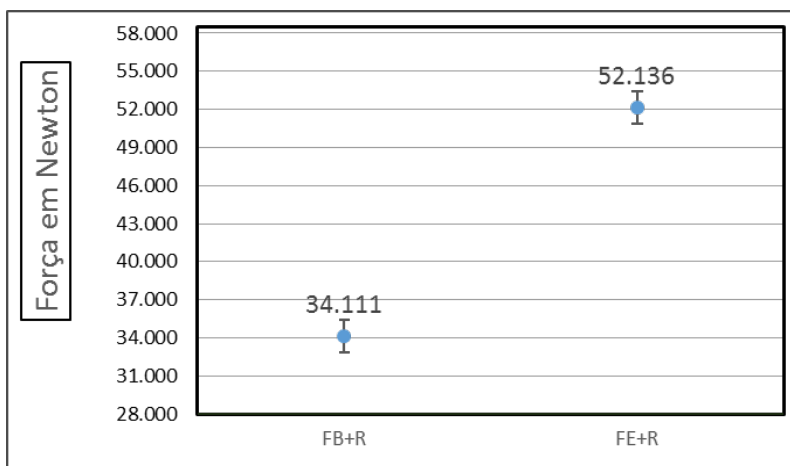


Figura 4 - Gráfico da força de arrancamento. Fonte: autores.

FORÇA DE TRAÇÃO DAS AMOSTRAS ATÉ A RUPTURA DA ROSCA		
Descrição do Item	FB+R	FE+R
Media das forças (N)	34.111	52.136
% de variação média	52,84%	
Coeficiente de Variação (%)	3,70	2,46
Coeficiente "t" calculado	12,67	
Coeficiente "t" tabelado	2,306	
Desvio Padrão	1.261,12	1.283,91

Tabela 1 - Força de tração arrancamento. Fonte: autores.

No gráfico da Figura 5 e Tabela 2 abaixo são demonstrados os comparativos entre os dois processos aplicando-se uma força até que ocorra o início de escoamento dos filetes. Observa-se que os dados demonstram um coeficiente de variação aceitável, não havendo grandes diferenças entre os corpos de prova submetidos aos testes de tração. Não evidenciada uma grande diferença entre os dois processos conforme coeficiente “t” calculado e tabelado. A diferença de forças aplicadas foi de 24,46% entre os processos, onde o FE+R demonstrou melhor resultado apresentando 32.270 N de resistência contra 25.938 N no processo FB+R.

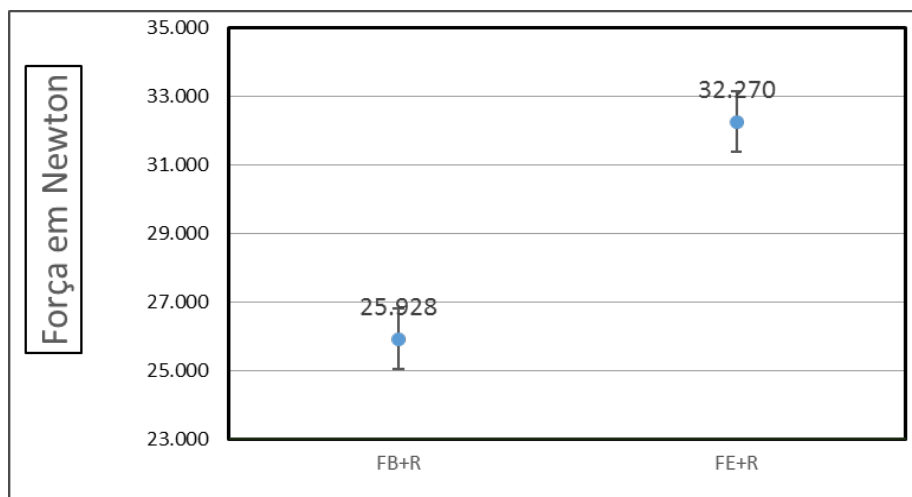


Figura 5 - Gráfico da força de início de escoamento. Fonte: autores.

FORÇA DE TRAÇÃO DAS AMOSTRAS ATÉ O INÍCIO DO ESCOAMENTO DA ROSCA		
Item	FB+R	FE+R
Media das forças (N)	25.928	32.270
% de variação média	24,46%	
Coeficiente de Variação (%)	6,09	6,16
Coeficiente "t" calculado	3,16	
Coeficiente "t" tabelado	2,306	
Desvio Padrão	1.578,12	1.989,29

Tabela 2 - Força de tração escoamento. Fonte: autores.

4.2 Fadiga

No gráfico da Figura 6 e Tabela 3 abaixo, mostram o comparativo entre os dois processos aplicando uma força de 18.150 N e uma frequência de 05 Hz até que ocorra a ruptura dos filetes. A hipótese considerado para este caso é executar o teste até trinca e inclusive o rompimento do material.

O processo FE+R teve um resultado melhor comparado ao FB+R em 48,2%, com 12.986 ciclos ante a 8.762 do processo com broca e posterior rosca. O coeficiente de variação do processo FE+R foi de 9,51%, alto comparado a 4,62% do processo FB+R, porém ainda dentro dos limites considerados estatisticamente como regulares na estabilidade das medições.

QUANTIDADE DE CICLOS DAS AMOSTRAS ATÉ A RUPTURA DA ROSCA

Item	FB+R	FE+R
Media dos ciclos (Qt.)	8.762	12.986
% de variação média	48,20%	
Coeficiente de Variação (%)	4,62	9,51
Coeficiente "t" calculado	4,11	
Coeficiente "t" tabelado	2,306	
Desvio Padrão	404,49	1.234,36

Tabela 3 - Quantidade de ciclos Fadiga. Fonte: autores.

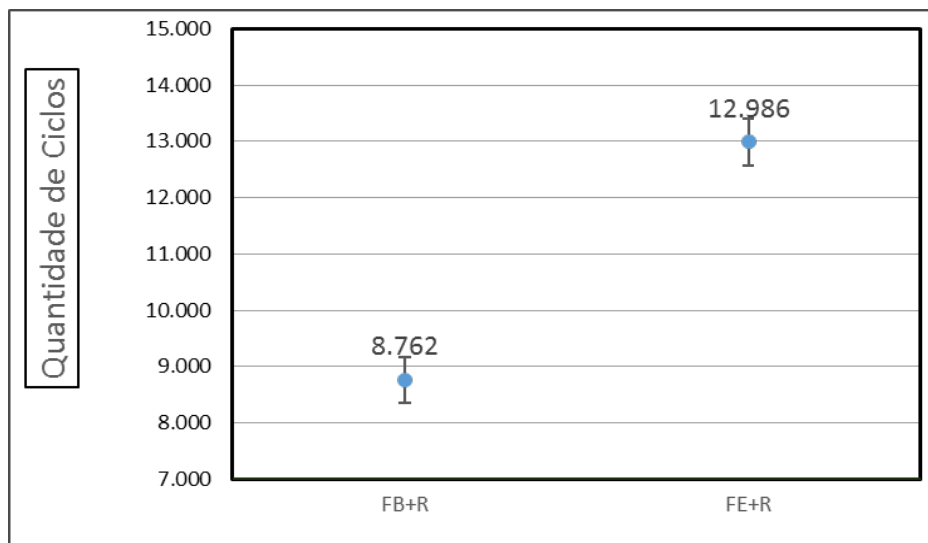


Figura 6 - Ciclos de Fadiga. Fonte: autores.

4.3 Micrografia

Foram estabelecidos os pontos de análise de micrografia do processo FE+R conforme ilustrado na macrografia da figura 7. As letras A, B, C e D serão analisadas conforme micrografia individual em cada um destes pontos interpretados nos resultados individuais. Não foi realizado micrografia do processo FB+R por não haver alteração significativa neste processo em relação a estrutura original do LN 700.

Percebe-se inicialmente na macrografia a definição clara da ZAC e suas transições de zonas entre B, C e D através dos gradientes de cores visualizados.

Na Figura 8 o metal base da zona A é exposto indicando os contornos de grãos alongados e o sentido das fibras do material em camadas horizontais. Nesta ilustração ocorre a transição entre a microestrutura do metal base e o início da ZAC da zona B, onde o contorno e tamanhos dos grãos muda de alongado para nódulos, afetado pela recristalização proveniente do processo de conformação plástica a quente executada no processo de furação por escoamento.

Outra alteração de microestrutura ocorre na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, que apresenta uma granulação diferente devido à proximidade dos filetes da rosca na zona C, sendo proveniente do ataque do Nital em porosidade do contorno da amostra no baquelite, pois a mesma faz fronteira com zona D da **Erro! Fonte de referência não encontrada.**1 que mostra o contorno perfeito paralelamente ao perfil da rosca.

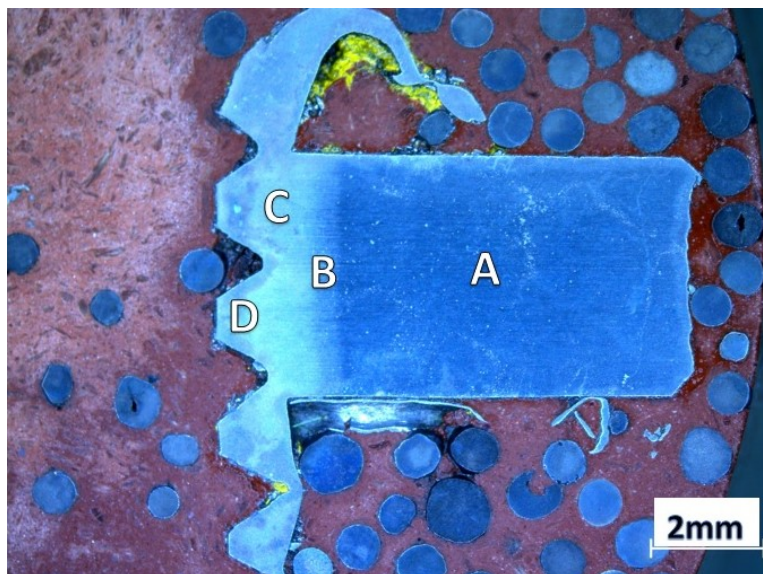


Figura 7 - Macrografia FE+R. Fonte: autores.



Figura 8 - Micrografia FE+R - Zona A – 200x. Fonte: autores.

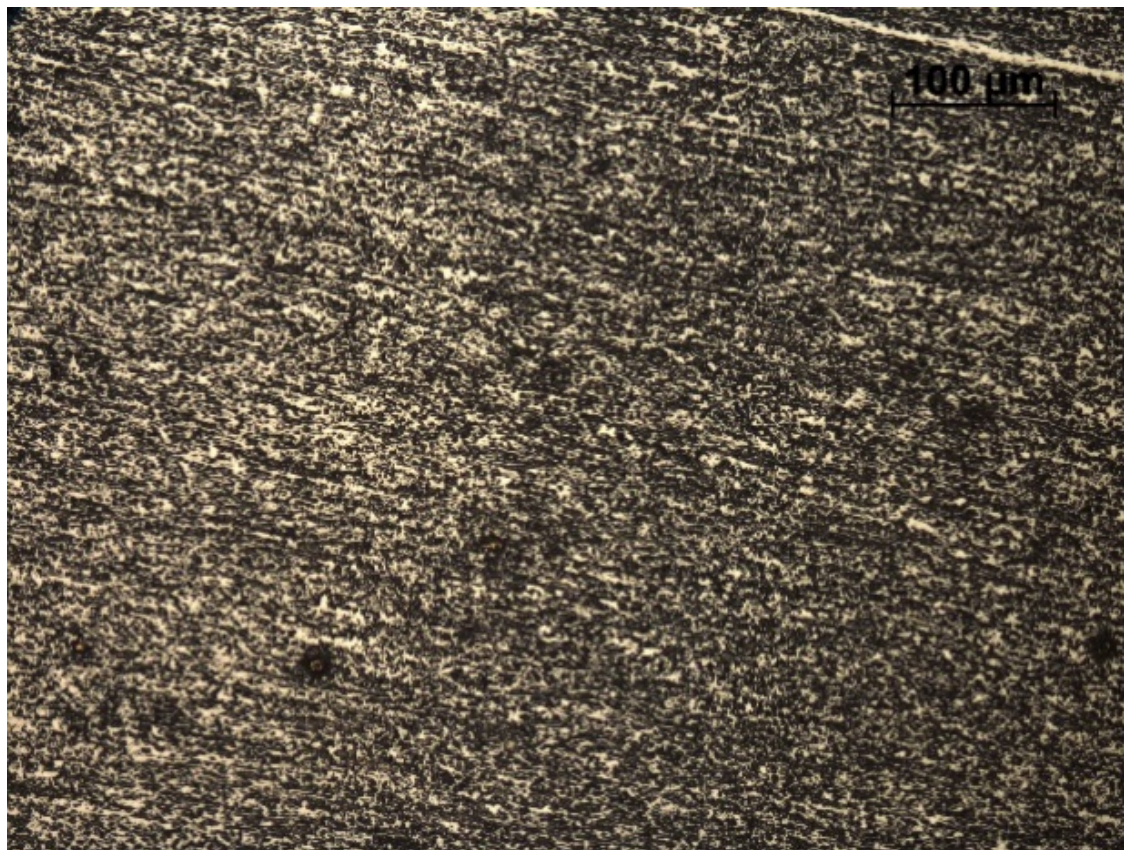


Figura 9 - Micrografia FE+R - Zona B – 200x. Fonte: os autores, 2015.

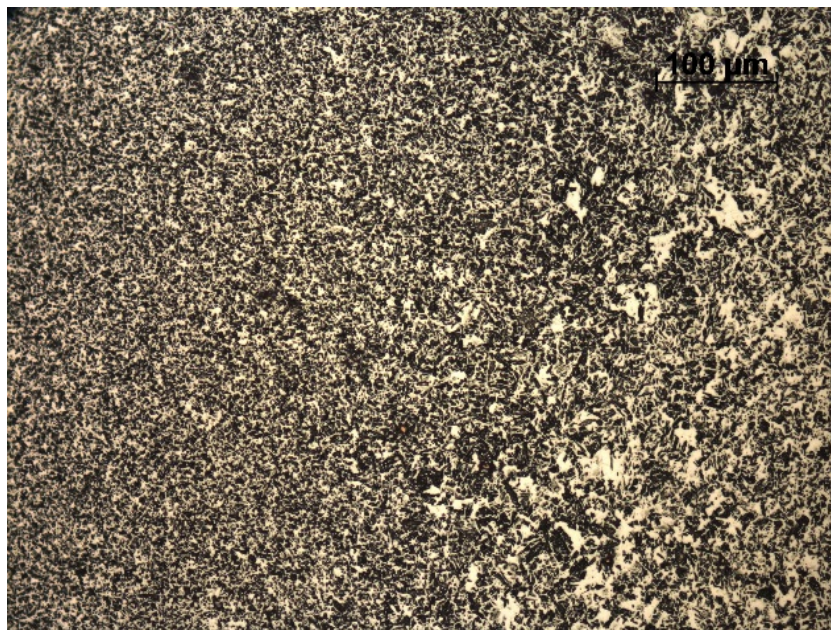


Figura 10 - Micrografia FE+R - Zona C – 200x. Fonte: autores.

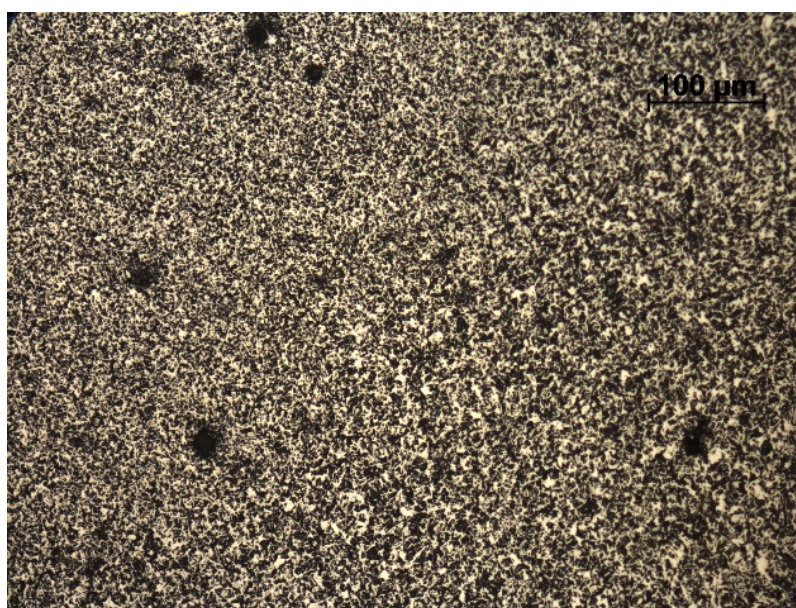


Figura 11 - Micrografia FE+R - Zona D – 200x. Fonte: autores.

No processo FB+R a macrografia da

Figura 12 apresenta uma estabilidade da estrutura, sem ZAC, sendo de mesma microestrutura original do aço produzido na indústria conforme zona A da amostra FE+R figura 7, por se tratar do mesmo material.

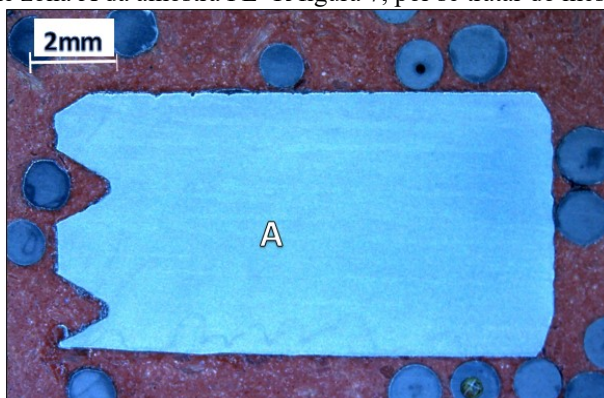


Figura 12 - Macrografia FB+R. Fonte: autores.

4.4 Microdureza

Mesmo a furação por escoamento ser um processo de conformação plástica e um gerador de encruamento do material não foi percebida variação significativa nos resultados medidos de micro dureza em toda a extensão do corpo de prova. Com a alta temperatura gerada pela furação por escoamento houve uma recristalização do material a partir da ZAC e mesmo assim a micro dureza se manteve estável e sem alteração comparada ao seu estado inicial de fabricação deste aço. Os dados podem ser vistos na Tabela 4 abaixo, sendo a média entre as zonas medidas de 181 a 185,33 HV.

Medição	Metal Base (Zona A)	ZTA (Zona B)	Rosca (Zona C=D)
1	189	183	187
2	183	182	186
3	184	178	179
Media	185,33	181,00	184,00

Tabela 4 - Medições de Micro dureza em Vickers. Fonte: autores.

5 Conclusões

A partir dos gráficos e tabelas pode-se comprovar a maior resistência a ruptura dos filetes no processo FE+R em 52,84% comparativamente ao processo FB+R, evidenciados também nos dados estatísticos levantados. Também comparando a força de início de escoamento pode-se averiguar conforme gráfico e tabela que o processo FE+R apresenta melhor resultado em 24,46% em relação ao FB+R, evidenciados estatisticamente. Com relação a força de tração conclui-se que a FE+R tem melhor desempenho nos dois ensaios estudados, sugerindo que a quantidade de filetes determina uma maior resistência pela distribuição das tensões em uma maior área.

Em testes de aplicação de forças cíclicas podemos afirmar que o processo FE+R apresentou uma performance melhor em 48,2% conforme ciclos médios medidos. Pelos dados apresentados o ganho de ciclos se dá por meio do aumento de filetes gerados no processo FE+R.

Os resultados apresentados nas micrografias demonstram a mudança de estrutura do material ao passar as zonas termicamente afetadas, formando a recristalização dos grãos no processo FE+R, enquanto no FB+R a estrutura manteve-se inalterada. Foi possível identificar claramente a ZAC nas imagens observando-se as linhas de divisão de cada etapa conforme o perfil de conformação do processo FE+R, considerado normal devido ao calor gerado de forma uniforme.

Mesmo com as características originais do material LN700 de encruamento, após a recristalização gerada no processo FE+R não houve diferença significativa na média de dureza encontrada.

6 Referências

ECKHARDT, M. Relação entre processo, microestrutura e propriedades mecânicas na furação por escoamento de aços de baixo carbono. **Universidade Federal de Santa Catarina**, Florianópolis, 2003.

DIETER, G. E. Mechanical Metallurgy. 3rd ed., Mc Graw-Hill Book Co., New York 1986. XXIII + 751 p., DM 138.50, ISBN 0-07-016893-8

FILHO, O. C. D. Estudo Microestrutural e de Capacidade de Carga na Furação por Escoamento com Condições de Trabalho Variáveis em Processo DUARTE FILHO, O. C. Estudo Microestrutural e de Capacidade de Carga na Furação por Escoamento com Condições de Trabalho Variáveis em. **Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica**, Florianópolis, v. UFSC, n. CPGEM/Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.

FLOWDRILL. **Flowdrill**, 2015. Disponível em: <<http://www.flowdrill.com/pt/flowdrillprocess>>. Acesso em: 17 nov. 2015.

LOPES, J. C. O. Furação por Escoamento e Rosqueamento por Conformação. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)**, Florianópolis, 1994.

ZECHA, G. PRACTICAL GUIDE, Königsbach-Stein, 2015. Disponível em: <http://www.seagullfittings.co.uk/Assets/Seagull/User/604-centerdrill_practical%20guide.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2015.