

IDENTIFICAÇÃO DAS ALTERAÇÕES NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS CAUSADAS POR DEFORMAÇÃO PLÁSTICA EM FIOS-MÁQUINA¹

Jardel de Souza Belo²
Lorena Sampaio Holanda²
Hiury Cavalcante Martins³
Ênio Pontes de Deus⁴
Marcelo José Gomes da Silva⁴
Hamilton Ferreira Gomes Abreu⁴

Resumo

O presente trabalho tem por objetivo avaliar o comportamento microestrutural, mecânico e como se dará a fratura em cada redução feita, desde o fio-máquina de um aço SAE 1018 com diâmetro de 5.5 mm até o produto final, o vergalhão CA-60 com diâmetros de 4,2 mm e 3,8 mm. Para isso foram utilizadas técnicas de caracterização microestrutural através de microscopia ótica para avaliar sua microestrutura e microscopia eletrônica de varredura para avaliar o aspecto das fraturas. Também foram realizados ensaios de tração e dureza com a finalidade de avaliar suas propriedades mecânicas. Observou-se um aumento nos limites de escoamento e de resistência após cada passe de trefilação, bem como um alongamento significativo dos grãos na direção de trefilação em relação a microestrutura inicial de fio máquina e a manutenção do aspecto da fratura como do tipo fratura dúctil.

Palavras-chave: Trefilação; Fio máquina; CA-60; Propriedades mecânicas.

IDENTIFICATION OF MECHANICAL CHANGES CAUSED BY PLASTIC DEFORMATION ON WIRE RODS

Abstract

The present work aims to evaluate both the mechanical behavior and evolution of the microstructure of a wire rod made from a SAE 1018 steel as it is drawn from a starting diameter of 5.5 mm down to the final products, the CA-60 rods, with diameters of 4.2 mm and 3.8 mm. After each drawing step, samples from the rods were tested in tension, in order to evaluate the mechanical properties. Hardness of the samples were assessed by Vickers microhardness testing. Microstructure and physical aspects of the fractured samples were characterized by means of optical microscopy and SEM. An increase in hardness and tensile strength after each drawing step was observed. The grains were significantly elongated in the drawing direction when compared to the starting microstructure, and the fracture mode remained ductile throughout the process.

Key words: Drawing; Wire rod; CA-60; Mechanical properties.

¹ Contribuição técnica ao 67^o Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Graduando em Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal do Ceará, Brasil.

³ Coordenador de qualidade, Aço Cearense Industrial Ltda, Caucaia, CE, Brasil.

⁴ Prof. Dr., Depto. de Eng. Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Algumas das formas comuns para a produção de uma peça de aço com seção especial são: a extrusão a quente, a laminação com forma definida e a trefilação. Destas três formas, a trefilação pode ser considerada como a mais utilizada.⁽¹⁾

A trefilação consiste em tracionar um material pro meio de uma matriz com dimensões conhecidas e controladas.⁽²⁾ Este processo também é caracterizado por ser um trabalho multi-passes a frio em metais, sendo um processo amplamente utilizado pela indústria metal-mecânica para reduzir a seção de um fio máquina para a produção de CA-60.

O Fio-Máquina é colocado numa máquina, onde é realizado o processo de trefilação. A máquina possui uma sequência de redução conhecida como passes de trefilação. Cada passe corresponde a uma redução ao qual o material será submetido, até que no ultimo passe a bitola final seja alcançada.⁽³⁾

Durante o processo de trefilação, o material terá suas propriedades mecânicas alteradas, isso porque, devido à deformação plástica imposta no processo, o material sofrerá encruamento, levando ao aumento dos limites de resistência e escoamento. No entanto, a capacidade do material alongar antes de romper é reduzida.⁽⁴⁾

Os Fios-Máquina trefilados, que são usadas como produtos na construção civil, devem cumprir requisitos tais como: tolerâncias dimensionais, boa rugosidade superficial além de boas propriedades mecânicas (dureza, tração, alongamento e escoamento).⁽⁵⁾

O presente trabalho tem por objetivo avaliar o comportamento microestrutural, mecânico e como se dará a fratura em cada redução realizada, desde o fio-máquina de um aço SAE 1015 com diâmetro de 5,5 mm até o produto final, o vergalhão CA-60 com diâmetros de 4,2 mm e 3,8 mm.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A matéria prima, fio máquina com diâmetro de 5,5 mm foi submetida a reduções diferentes até atingir a o valor final de diâmetro de 4,2 mm e 3,8 mm. A Tabela 1 exibe os diâmetros finais e os seguintes passes até tais reduções e Tabela 2 exibe a composição química do material.

Tabela 1. Relação entre fio-máquina, passes e produto final

Fio Máquina	5,5 mm	
Passe 1	4,6 mm	4,9 mm
Passe 2	3,8 mm	4,2 mm
CA 60	3,8 mm	4,2 mm

Tabela 2. Composição química do fio-máquina

	Carbono	Silício	Manganês	Fósforo	Enxofre
Teor (%p)	0,17	0,16	0,57	0,17	0,04

Em seguida cinco amostras da matéria-prima, de cada passe e produto final foram recolhidas para que fossem submetidos a ensaios de tração para serem verificados os limites de escoamento e resistência. Os ensaios foram realizados conforme a norma NBR 7480.⁽⁶⁾

Amostras também foram selecionadas para que suas microestruturas fossem analisadas através de microscopia óptica. Para isto todo o material foi submetido a

ensaios metalográficos convencionais, ou seja, foi lixado, polido e atacado com Nital 3% (97 ml de álcool e 3 ml de ácido nítrico).⁽⁷⁾

Realizou-se por fim ensaios de microdureza Vickers, utilizando-se carga de 4,905 N com um tempo de penetração de 10 segundos, além da utilização de Microscopia Eletrônica de Varredura para avaliar a condição das fraturas.

3 RESULTADOS

Nas Tabelas 3 e 4 são apresentados os resultados dos ensaios de tração no fio máquina e em todos os passes durante a trefilação.

Tabela 3. Propriedades mecânicas do fio máquina de 5,5 mm até redução para 3,8 mm

Diâmetro	Limite de Escoamento (MPa)	Limite de Resistência (MPa)	Alongamento (%)
5,5 mm	339	471	32,70
4,6 mm	736	769	11,23
3,8 mm	839	878	12,61
CA 60 3,8 mm	862	903	11,82

Tabela 4. Propriedades mecânicas do fio máquina de 5,5 mm até redução para 4,2 mm

Diâmetro	Limite de Escoamento (MPa)	Limite de Resistência (MPa)	Alongamento (%)
5,5 mm	339	471	32,70
4,9 mm	611	645	13,32
4,2 mm	688	794	13,49
CA 60 4,2 mm	780	825	11,35

A Figura 1 exibe a microestrutura do fio máquina obtida através de microscopia óptica na secção longitudinal.

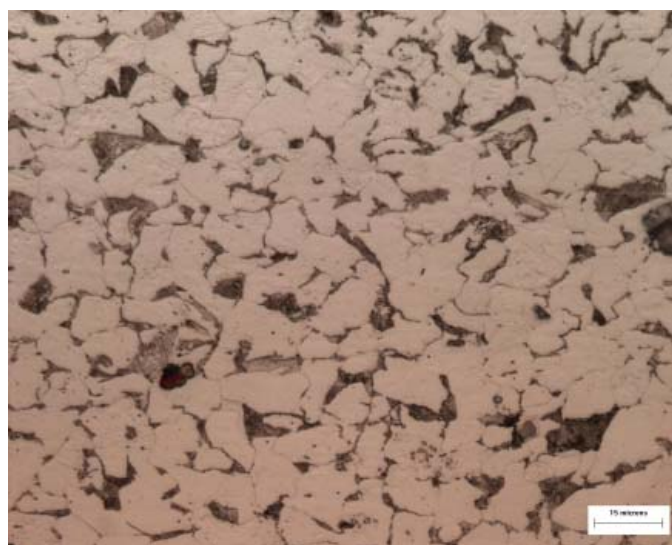


Figura 1. Microscopia óptica com aumento de 1.000x da microestrutura do fio-máquina na secção longitudinal.

A Figura 2 exibe a microestrutura do fio máquina obtida através de microscopia óptica na secção transversal.

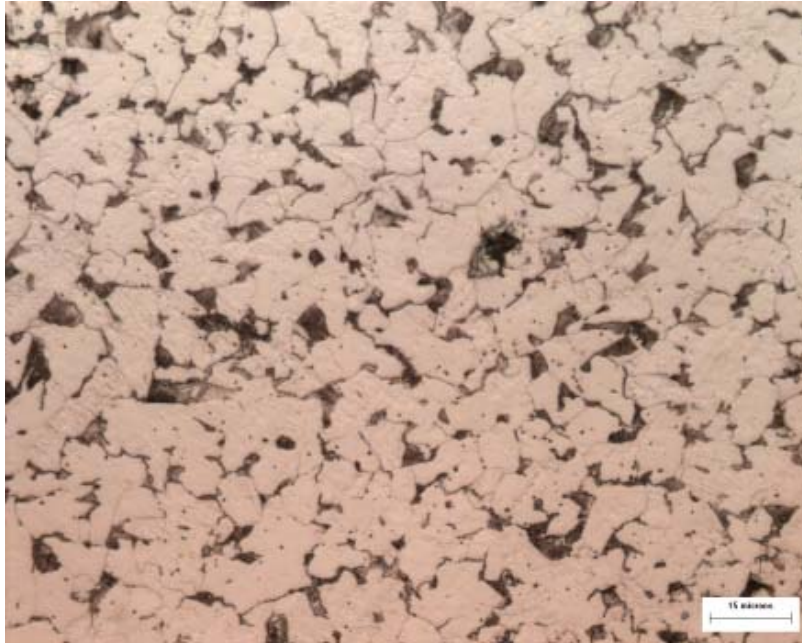


Figura 2. Microscopia óptica com aumento de 1.000x da microestrutura do fio-máquina na secção transversal.

A Figura 3 exibe a fractografia do fio-máquina por Microscopia Eletrônica.

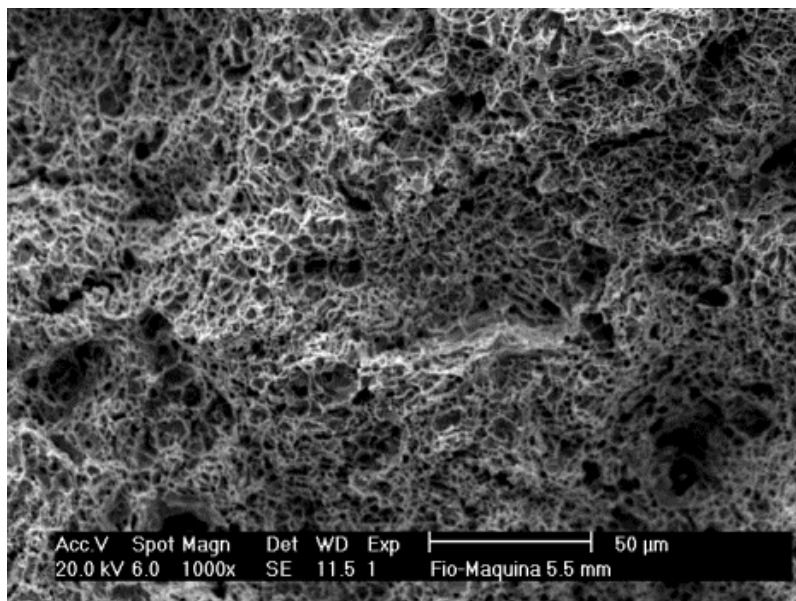


Figura 3. Fractografia com aumento de 1.000x obtida por meio de microscopia eletrônica de varredura para o fio-máquina de 5,5 mm.

A Figura 4 exibe a microestrutura durante cada passe da redução do fio-máquina até o vergalhão CA 60 de 3,8 mm. As reduções são 4,6 mm, 3,8 mm antes e após passar pelo recartilhador nas secções longitudinal (Figuras 4a a 4c) e transversal (Figuras 4d a 4f), respectivamente.

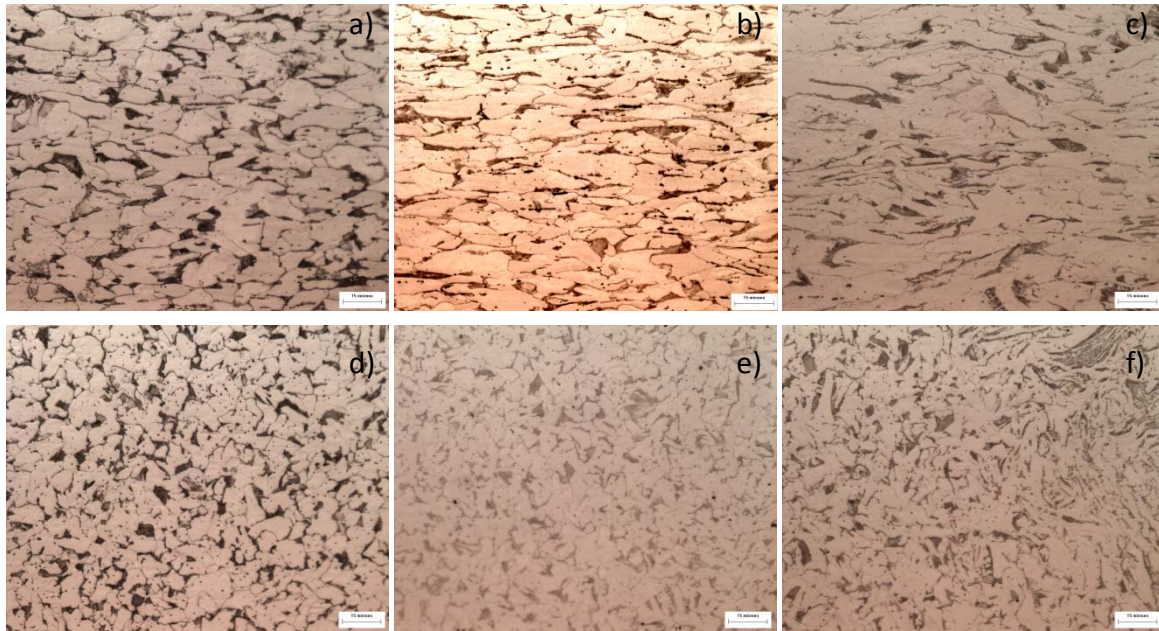


Figura 4. Microscopia óptica com aumento de 1.000x das microestruturas das reduções na longitudinal (a) 4,6 mm; (b) 3,8 mm; e (c) 3,8 mm após o recartilhador; e na transversal (d) 4,6 mm; (e) 3,8 mm; e (f) 3,8 mm após o recartilhador.

A Figura 5 exibe as fractografias de cada passe da redução do fio-máquina até o vergalhão CA 60 de 3,8 mm. As reduções são 4,6 mm, 3,8 mm antes e após passar pelo recartilhador.

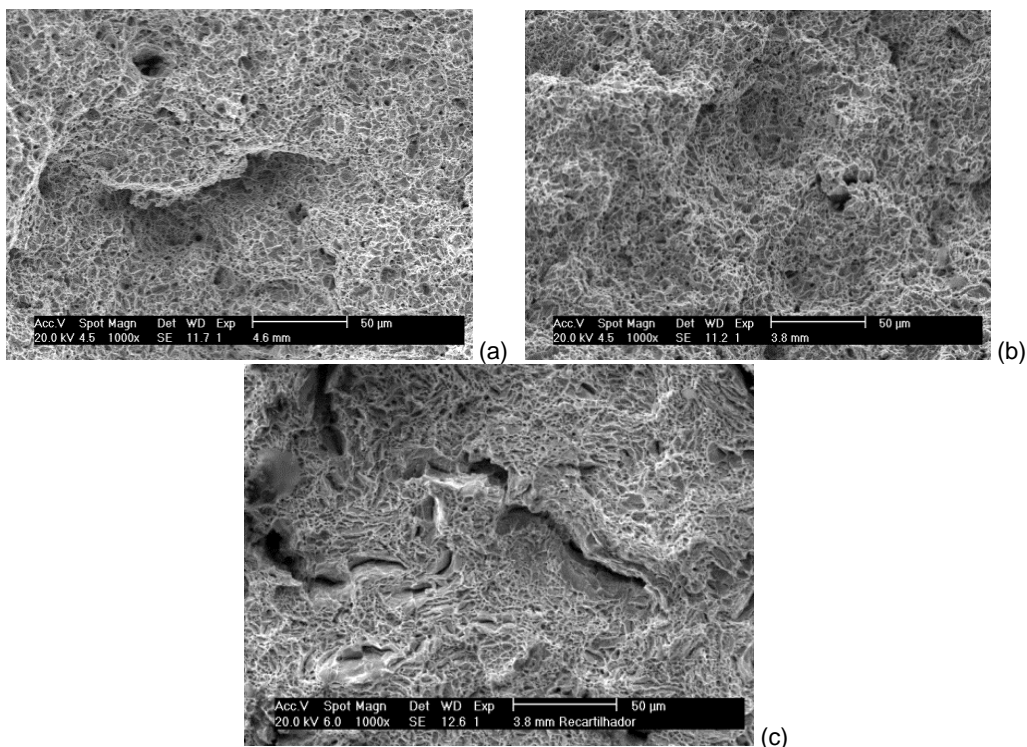


Figura 5. Fractografia com aumento de 1.000x obtida por meio de microscopia eletrônica de varredura para as reduções de (a) 4,6 mm; (b) 3,8 mm; e (c) 3,8 mm após o recartilhador.

A Figura 6 exibe o gráfico da relação entre a média das microdurezas da matéria-prima (fio-máquina) com diâmetro de 5,5 mm, as médias das microdurezas nos passes de 4,6 mm, 3,8 mm antes e após os recartilhadores.

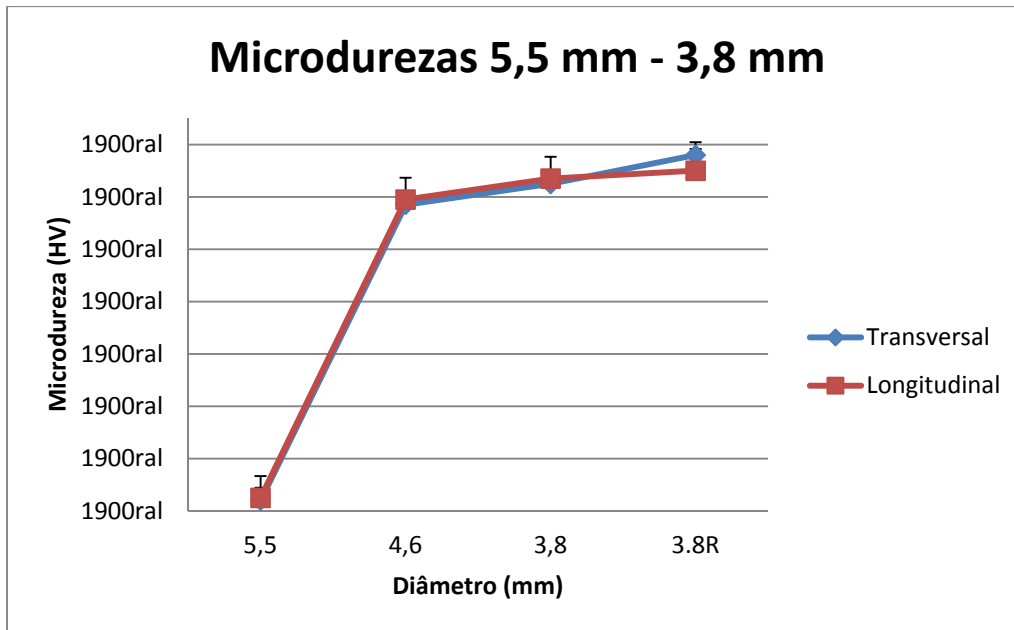


Figura 6. Gráfico representando a relação entre microdureza e diâmetro do passe para a produção de CA 60 com diâmetro de 3,8 mm.

A Figura 7 exibe a microestrutura durante cada passe da redução do fio-máquina até o vergalhão CA 60 de 4,2 mm. As reduções são 4,9 mm, 4,2 mm antes e após passar pelos recartilhadores nas secções longitudinal (Figuras 7a a 7c) e transversal (Figuras 7d a 7f), respectivamente.

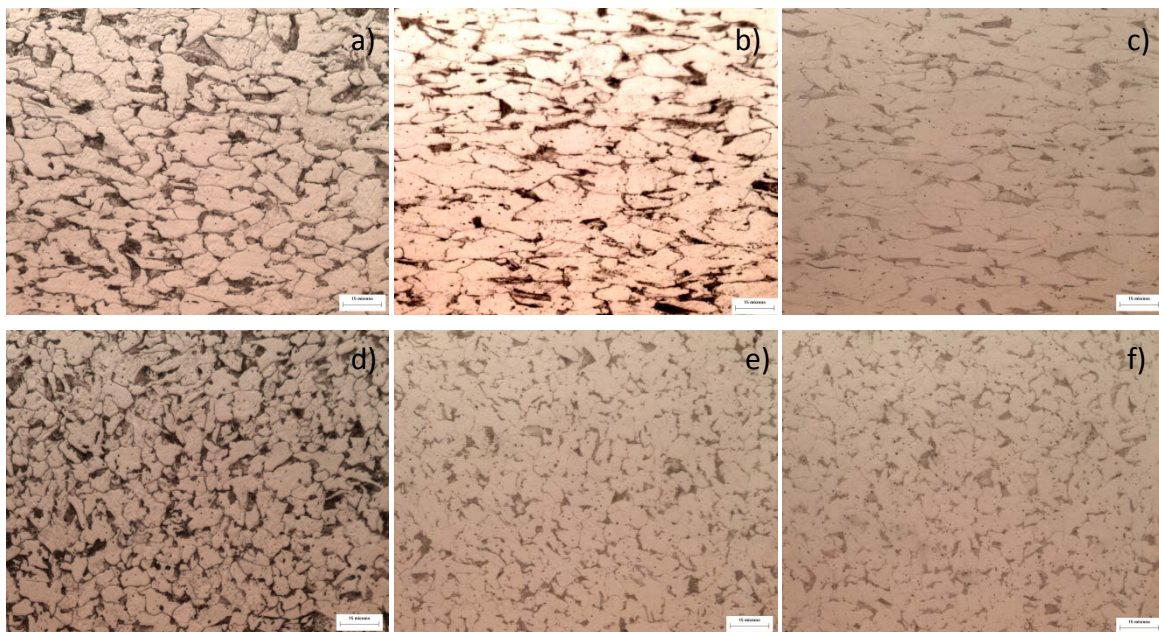


Figura 7. Microscopia Óptica com aumento de 1.000x das microestruturas das reduções na longitudinal (a) 4,9 mm; (b) 4,2 mm; e (c) 4,2 mm após os recartilhadores e na transversal (d) 4,9 mm; (e) 4,2 mm; e (f) 4,2 mm após os recartilhadores.

A Figura 8 exibe as fractografias de cada passe da redução do fio-máquina até o vergalhão CA 60 de 4,2 mm. As reduções são 4,9 mm, 4,2 mm antes e após passar pelos recartilhadores.

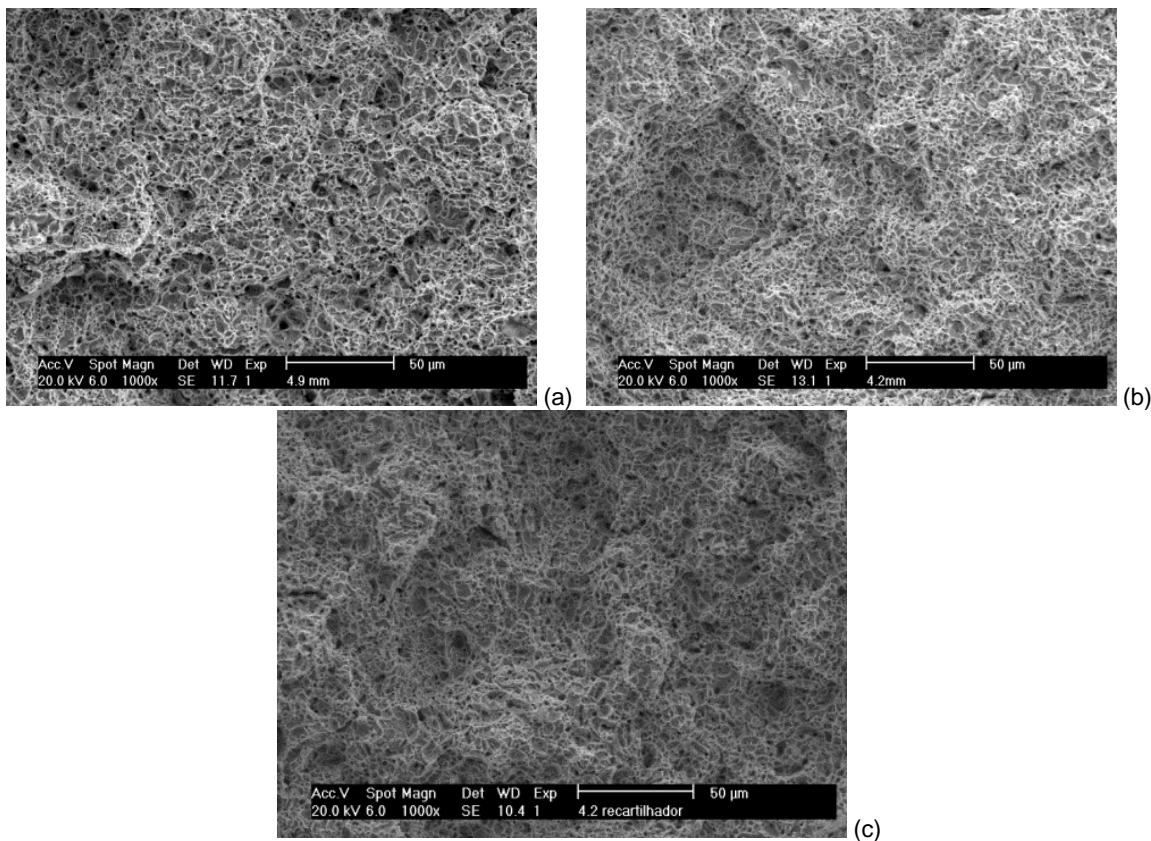


Figura 8. Fractografia com aumento de 1.000x obtida por meio de microscopia eletrônica de varredura para as reduções de (a) 4,6 mm; (b) 3,8 mm; e (c) 3,8 mm após os recartilhadores.

A Figura 9 exibe o gráfico da relação entre a média das microdurezas da matéria-prima (fio-máquina) com diâmetro de 5,5 mm, as médias das microdurezas nos passes de 4,9 mm, 4,2 mm antes e após os recartilhadores.

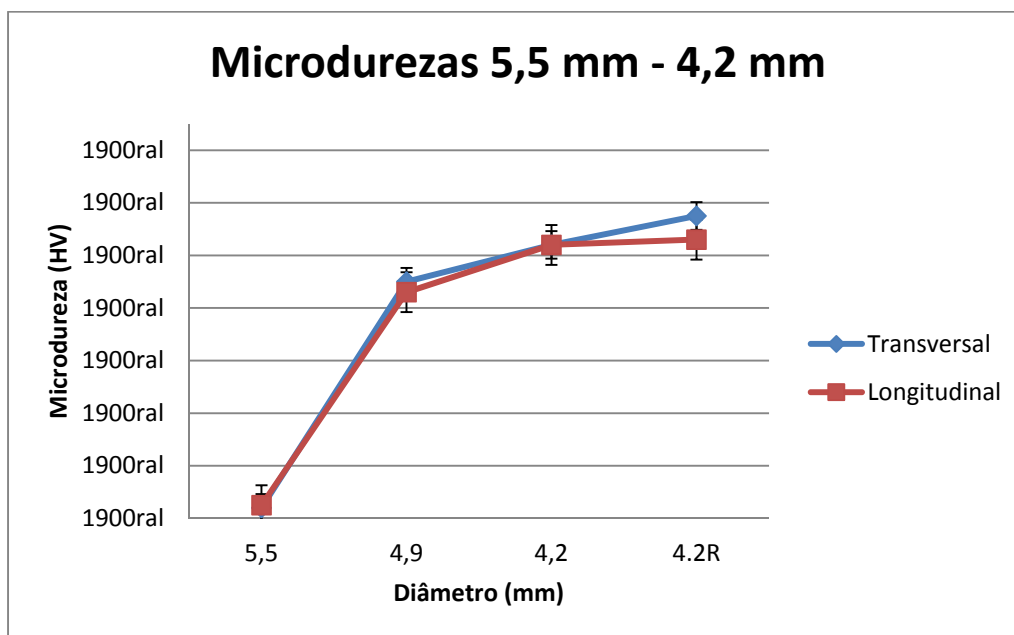


Figura 9. Gráfico representando a relação entre microdureza e diâmetro do passe para a produção de CA 60 com diâmetro de 4,2 mm.

4 DISCUSSÃO

Os ensaios de tração mostram o aumento nos limites de resistência e escoamento, porém redução no alongamento total do material, assim como Santos et AL.⁽⁵⁾ afirmam. No primeiro passe é possível evidenciar que o material já atende a um quesito da norma para que o material possa ser considerado um CA-60, que é possuir um limite de escoamento de no mínimo 600 Mpa,⁽⁶⁾ no entanto a razão entre o limite de resistência e o limite de escoamento não é maior que 1,05 assim como exige a norma.⁽⁶⁾ Tal exigência é atendida após o segundo passe, no entanto o produto trefilado ainda não possui as nervuras, estas são obtidas após passar pelos recartilhadores.

A caracterização microestrutural na secção longitudinal mostra o alongamento dos grãos no sentido do processo de trefilação, enquanto que na secção transversal é possível evidenciar uma redução qualitativa no tamanho dos grãos. Quando observadas as imagens em que exibem o material depois de passar pelos recartilhadores, é possível observar que há uma deformação nos grãos ainda maior. As análises de fractografia mostram que o processo de trefilação mesmo ocasionando alterações microestruturais e drásticas elevações nas propriedades mecânicas de resistência e escoamento, não influenciou em significativas alterações no aspecto da fratura, que permaneceu do tipo dúctil.

As análises de microdureza comprovam que há um aumento acentuado na dureza do material quando comparadas a dureza do fio-máquina e com o passe seguinte. Foi possível observar que para os dois diâmetros finais, a microdureza do material permanece praticamente a mesma. As microdurezas apresentaram uma breve redução para o passe de 4,2 mm antes dos recartilhadores.

5 CONCLUSÃO

A partir das análises realizadas, foi possível concluir que:

- assim como afirma a literatura, a trefilação aumenta as propriedades mecânicas de limite de resistência e escoamento do material, sendo de extrema importância para a indústria metal-mecânica para a produção do vergalhão CA-60;
- a deformação plástica nos grãos gera o encruamento necessário para que as propriedades mecânicas exigidas para a aplicação do material sejam melhoradas;
- o aspecto da fratura permanece do tipo dúctil mesmo após o processo de trefilação; e
- durante o processo ocorre o aumento da dureza do material, tanto na secção transversal quanto na secção longitudinal.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Laboratório de Caracterização de Materiais da Universidade Federal do Ceará e a Aço Cearense Industrial Ltda pela realização dos experimentos, a Aço Cearense Industrial Ltda pelo material cedido, ao CNPq e a Fundação ASTEF pelo suporte financeiro.

REFRÊNCIAS

- 1 MACKENZIE, B. A. Drawn Sections Approach Net Shape. **American Machinist**, p.109 – p.110, 1980.
- 2 BUTTON, S. T. Trefilação: Programa de educação continuada. São Paulo: ABM, 2001.
- 3 WRIGHT, R. Tips from Wiredrawing 101SM. **Wire and Cable Technology International**, p. 128 Março de 2002.
- 4 EDER, A. E. “Influência do teor de nitrogênio na trefilação de aço equivalente ao ABNT 1013.” Dissertação de mestrado, UFRGS, 2006.
- 5 SANTOS, C.; METZ, M.; AZEVEDO, J. A.; ROCHA, A., Influência dos Parâmetros do Processo de Trefilação no Empenamento de Barras do Aço SAE 9254. Cusco, 2007.
- 6 NORMA BRASILEIRA REGULAMENTADORA – **Aços destinados a armaduras de concreto armado**. 7480, Brasil, 2008.
- 7 RAMIREZ, M. G., GORNI, A. A., LANDGRAF, F., OGATA, P. H., GOLDENSTEIN, H. Caracterização Microestrutural de um Aço API 5L-X80 Através de Microdureza e Microscopia Ótica e Eletrônica. Vitória, 2007.