

# **AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO REVENIDO E DA TENACIDADE DO AÇO FERRAMENTA H13**

Laura Rodrigues de Novaes <sup>1</sup>; Susana M. Giampietri Lebrão<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Aluna de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

<sup>2</sup> Professora da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

**Resumo.** As amostras do aço AISI H13 foram tratadas termicamente a 550°C , temperatura usual de trabalho de moldes de extrusão de alumínio, por tempos de 5, 10, 25, 50 e 100 horas. Posteriormente, foram caracterizadas metalograficamente e ensaiadas ao impacto e à dureza, analisando então suas propriedades pós-revenimento.

## **Introdução**

As ferramentas de conformação a quente são empregadas em diversos ramos industriais, basicamente como ferramentas de forjamento a quente ou a morno, moldes e matrizes para fundição de ligas não ferrosas e matrizes de extrusão de ligas não ferrosas. Nestas condições , durante sua utilização, estão expostas a altas temperaturas havendo, portanto, necessidade de utilizar-se um aço que mantenha o máximo possível suas propriedades mecânicas nestas condições severas (MEI, 2006).

Os aços ferramenta para trabalho a quente apresentam em sua microestrutura carbonetos finamente dispersos que auxiliam na manutenção da dureza e resistência mecânica mesmo em condições de utilização severas, a altas temperatura.

No entanto, com tempos longos de exposição a altas temperaturas, tipicamente acima de 550°C – condições facilmente obtidas nas regiões de trabalho desse tipo de ferramenta, estes carbonetos tendem a coalescer, diminuindo a dureza e gerando desgaste ou deformação plástica e causando a falha da ferramenta.

Este trabalho tem por objetivo estudar a variação das propriedades mecânicas do aço ferramenta H13, basicamente quanto sua dureza e resistência ao impacto, quando exposto a temperaturas da ordem das de utilização em tempos longos de uso. (GABARDO, 2008)

## **Revisão Bibliográfica**

Os aços ferramenta vêm sendo muito estudados desde a revolução industrial, por serem fundamentais na produção em grande escala dentro de indústrias, devendo cada vez suportar um tempo maior de trabalho sob condições mais severas. Uma análise rápida permite afirmar que os aços ferramenta são utilizados na fabricação de instrumentos, conhecidos como ferramentas. Contudo, essa não é a única aplicação desses aços, que abrangem desde instrumentos pequenos, até peças aeronáuticas devido à sua grande resistência. Esses aços estão entre os aços sujeitos às condições mais rigorosas. Algumas características gerais, dos aços ferramentas de trabalho a quente: Resistência à deformação na temperatura de uso (no caso do estudo a temperatura fica compreendida entre 500 e 550°C); Resistência ao impacto; Resistência à erosão; Resistência à deformação no tratamento térmico; Usinabilidade; Resistência a trincas a quente.

Os aços ferramenta são divididos em 6 grupos. Nesse projeto o objeto de estudo será da família H, caracterizada para trabalho a quente (*hot working*), em específico, o H13. Esse aço ferramenta pode ser empregado, por exemplo, para: moldes para fundição sob pressão de materiais não-ferrosos (Al, Zn, Mg); Matrizes e punções para trabalho a quente (forjamento, extrusão a quente); facas para corte a quente; moldes para plásticos; peças estruturais de ultra-resistência. Uma característica muito importante desse aço ferramenta específico é a tenacidade. (MEI, 2006).

Fatores determinantes da qualidade do aço ferramenta são : homogeneidade de composição química e microestrutura que são características devido ao meio de produção do aço e a utilização da metalurgia do pó garante a extinção da heterogeneidade da liga o que é benéfico na hora da produção das peças; limpeza interna que pode influenciar a ductilidade, tenacidade e resistência à fadiga bem como o acabamento superficial; e tratamento térmico que é responsabilidade do usuário e se não tiver a atenção adequada, acaba por resultar na falha precoce da ferramenta. (MEI, 2006).

Aços como o aço ferramenta, de alta temperabilidade, são normalmente revenidos duas vezes após a têmpera. O primeiro revenimento acarreta o alívio de tensões, revenimento da martensita e precipitação dos carbonetos na austenita retida. O segundo revenimento tem a função de revenir esta nova martensita e formar novos carbonetos (GABARDO, 2008).

Segundo WEI (2011) devido à altas temperaturas aplicadas no tratamento de revenimento, o módulo de elasticidade, limite de resistência à tração e limite de escoamento têm seus valores diminuídos e a ductilidade aumenta. Esses efeitos são devidos às alterações na microestrutura da liga, onde após o primeiro revenimento é composta por austenita retida, martensita e poucos carbonetos. Quando realiza-se o segundo revenimento, esses micronstituintes transformam-se em martensita, martensita revenida, e aumenta a quantidade de carbonetos da estrutura.

O constante processo de aquecimento seguido por um resfriamento, faz com que se forme uma malha de trinca fina, que acaba por gerar, em certo prazo, trincas que afetam o componente, devido à fadiga térmica. Deve-se notar que quanto maior a dureza superficial, menor a tendência à esse fenômeno. (MESQUITA & HADDAD, 2009)

## Materiais e Métodos

A tabela 1 apresenta a composição nominal do aço AISI H13 utilizado no trabalho.

**Tabela 1:** Composição nominal do aço AISI H13

%C	%Mn	%P máx.	%S máx.	%Si	%Cr	%Mo	%V
0,32-0,45	0,20-0,50	0,030	0,030	0,80-1,20	4,75-5,50	1,10-1,75	0,80-1,20

As amostras foram inicialmente austenitizadas a 1040°C por 40 minutos seguidas de têmpera ao ar. O primeiro revenimento foi realizado a 640°C por 40 minutos e, em seguida, passaram pelo tratamento térmico de estudo a 550°C por 5, 10, 25, 50 e 100 horas e, posteriormente, resfriadas em água. Uma amostra, porém, não passou por este tratamento térmico, designaremos a mesma como tratamento a 0 horas. Cada amostra foi, então, caracterizada metalográficamente segundo a norma ASTM E3 seguida de ataque de Nital 10% e observação em microscópio ótico Olimpus.

Os ensaios para determinação da dureza e da resistência ao impacto foram ensaios padrão, determinados pelas normas ASTM E140 e ASTM E23, respectivamente, e os corpos de prova confeccionados a partir das especificações descritas nas mesmas.

## Resultados e Discussão

Para tornar possível alcançar o objetivo proposto, foram tratados seis grupos de corpos de prova de forma que os tratamentos apenas se diferenciassem pelo tempo de tratamento térmico (segundo revenimento) do material, sendo eles: 0, 5, 10, 25, 50 e 100 horas, dos quais foram realizados ensaios de dureza, impacto e análise metalográfica.

Cada grupo era composto por 3 corpos de prova, assim, foram realizados cinco testes de dureza em cada amostra, linearmente distribuídos pelo corpo de prova, bem como os valores obtidos pelo ensaio de impacto Charpy , conforme tabela 2.

**Tabela 2:** Resultados dos ensaios de dureza e impacto.

AMOSTRA	Dureza Média (HRC)	Desvio Padrão	Impacto (J)	Desvio Padrão
550°C/0h	51	1.5294	12,0	1,8864
550°C/5h	49	2.1865	12,5	2.9961
550°C/10h	48	1.4041	16,4	1.1324
550°C/25h	42	2.0976	11,1	1.1324
550°C/50h	42	1.9346	10,5	1.1324
550°C/100h	41	3.3904	12,5	1.1324

No gráfico da figura 1 pode-se observar as curvas de dureza e energia absorvida ao impacto em função do tempo de tratamento térmico. Pode-se observar que houve queda da dureza nas primeiras 20 h de tratamento térmico e, após esse período, a dureza se manteve constante. Quanto ao impacto, houve aumento da energia absorvida ao impacto em 10 horas de tratamento seguida de diminuição e ligeiro aumento em 100h de tratamento.

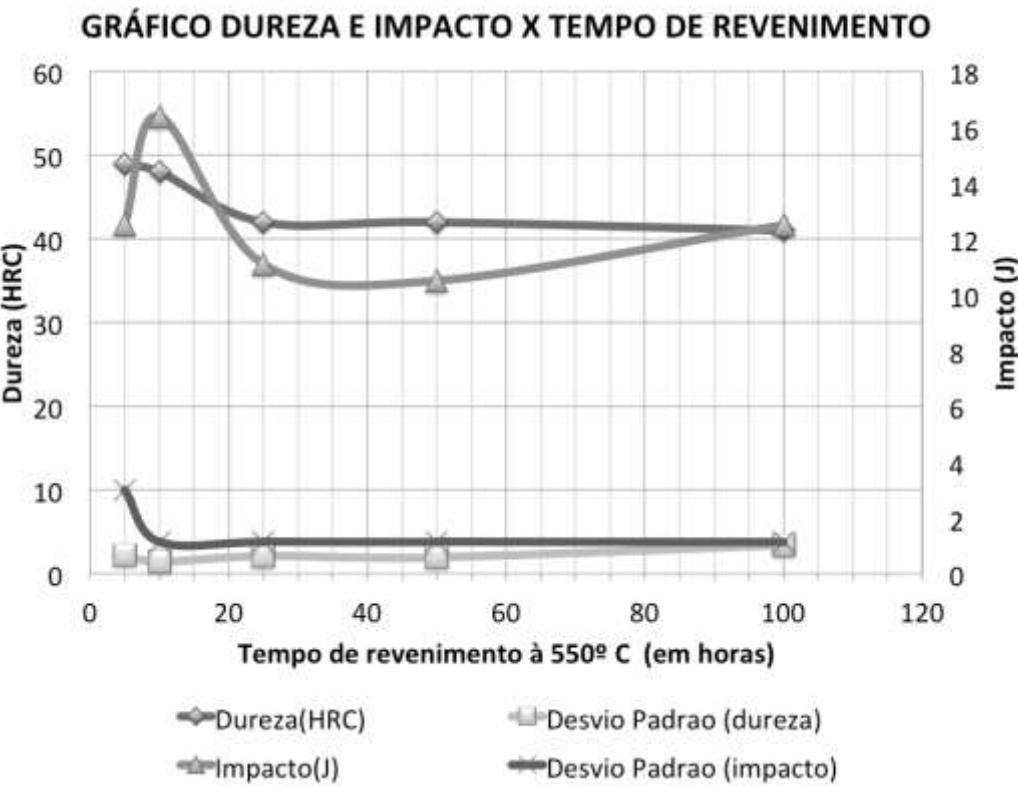


Figura 1- Graficos de dureza e impacto, em função do tempo de tratamento térmico.

Pela análise metalográfica, figura 2, pode-se observar que após têmpera e revenido a 640°C, houve a formação de martensita, austenita retida e poucos carbonetos dispersos. Quando realizado o tratamento térmico a 550°C, notou-se a alteração da microestrutura observando-se: martensita revenida, caracterizada por dureza inferior à martensita porém maior tenacidade, martensita, caracterizada por sua vez por ser frágil porém com dureza muito elevada, e houve aumento da quantidade de carboneto dispersos na microestrutura , conforme pode-se observar nas figura 3 a 5. A variação do tempo do tratamento térmico altera a proporção desses microconstituintes na estrutura.

Como pôde-se observar, na tabela 2, não houve diferença significativa entre a dureza das amostras tratadas com 5h e 10h, porém houve diferença significativa entre os valores do ensaio de impacto. Isso se deve à mudança da microestrutura da liga. Conforme o tempo de tratamento térmico aumentou, houve o aumento da quantidade de martensita revenida bem como da

quantidade de carboneto na microestrutura. Enquanto a martensita revenida garantiu um aumento da tenacidade da liga , o carboneto conseguiu pela sua presença manter a dureza elevada.

Entre os tempos de tratamento de 25, 50 e 100 horas a diferença entre os valores de dureza foi desprezível bem como a diferença entre os valores no ensaio de impacto.

Comparando aos tratamentos de 5 e 10 horas, observou-se uma queda significativa, de aproximadamente 8 HRC, que pôde ser explicada pela presença crescente de martensita revenida, que a partir de certo ponto superou o máximo efeito acarretado pela presença de carboneto, ou seja, a tenacidade da martensita revenida tornou-se mais significativa do que o aumento de dureza gerado pela precipitação dos carbonetos.

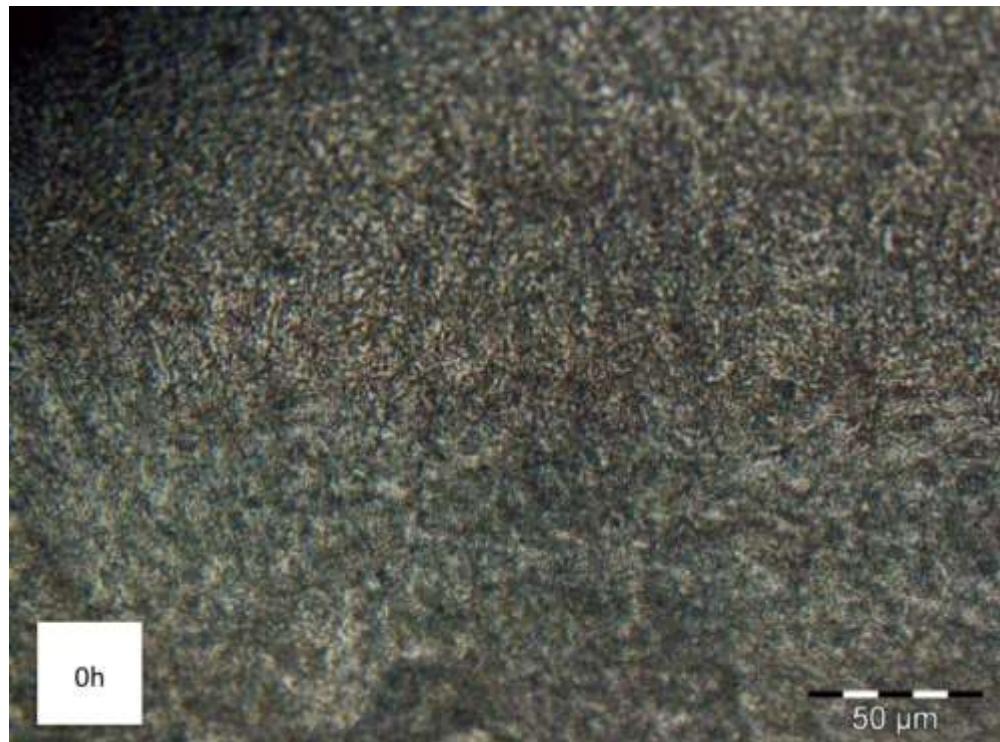


Figura 2 –Micrografia da amostra apenas têmperada e revenida a 640°C.  
Aumento 500x. Ataque Nital 10%.

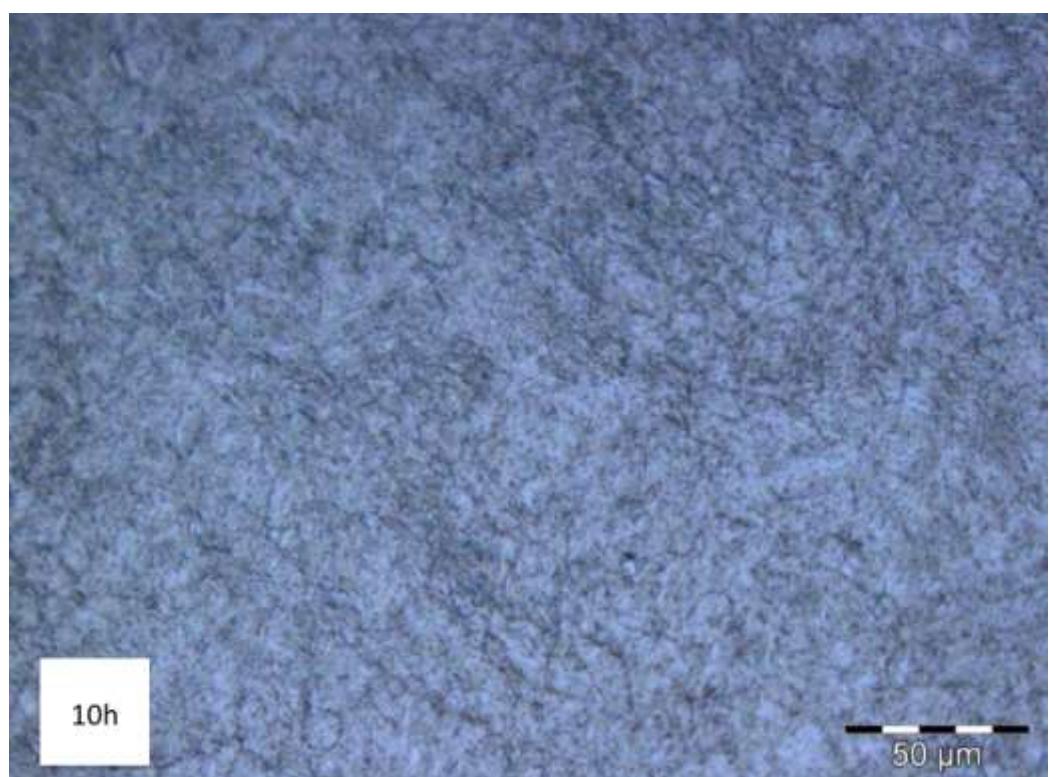
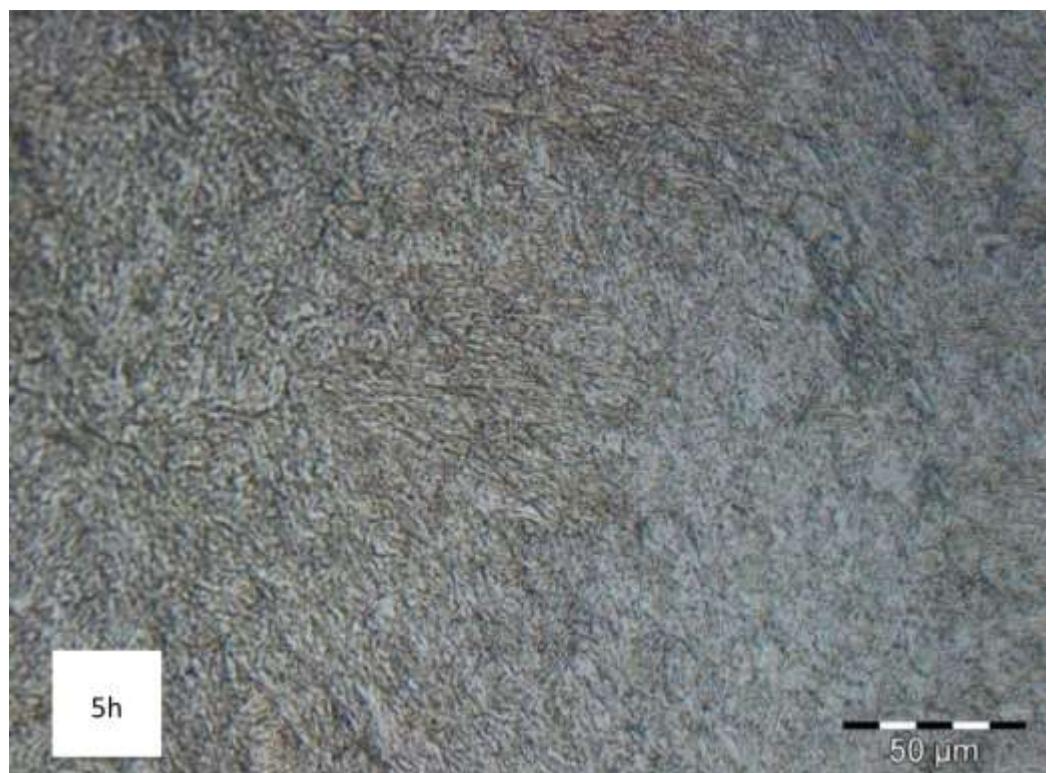


Figura 3 –Micrografias das amostras tratadas a 550°C por 5 e 10h. Aumento 500x.  
Ataque Nital 10%.

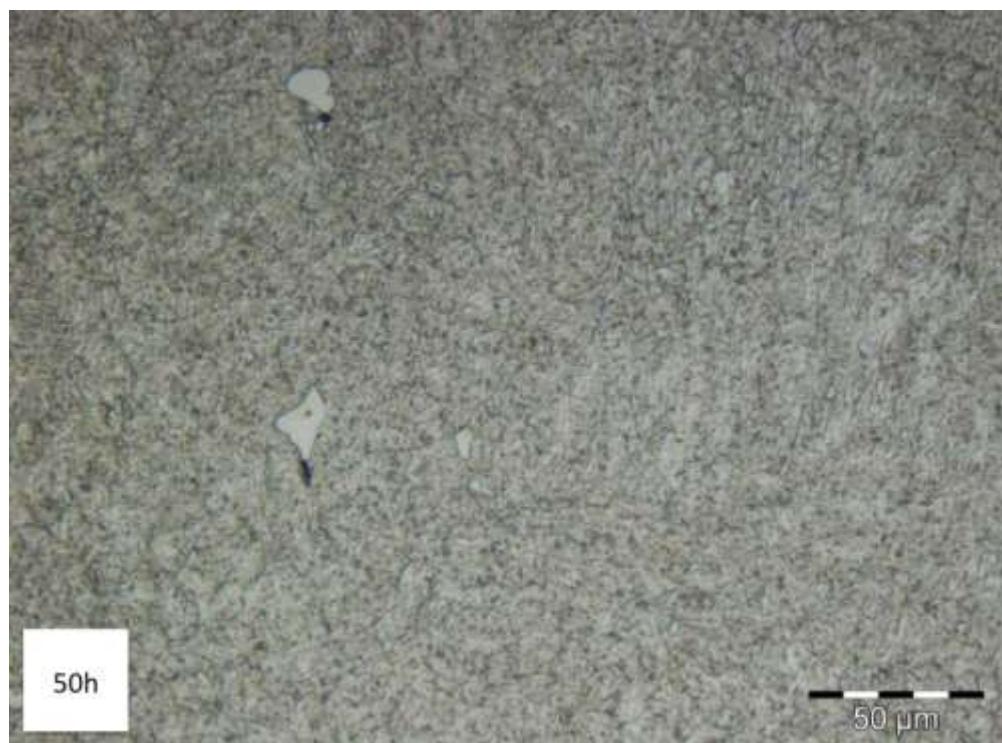
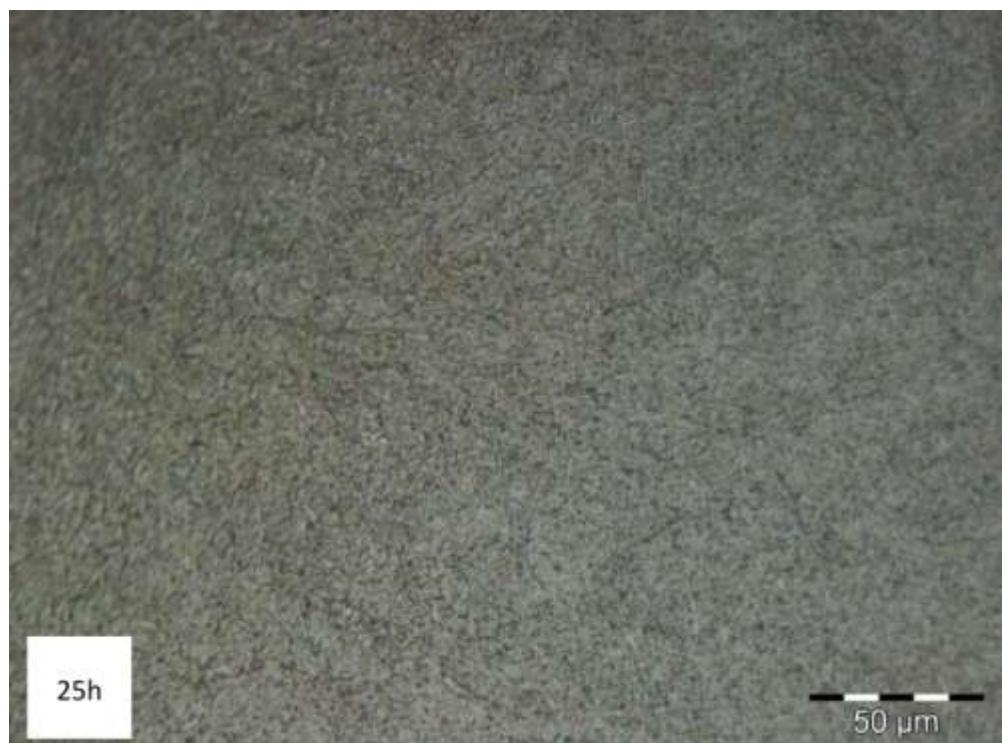


Figura 4 –Micrografias das amostras tratadas a 550°C por 25 e 50h. Aumento 500x.  
Ataque Nital 10%.

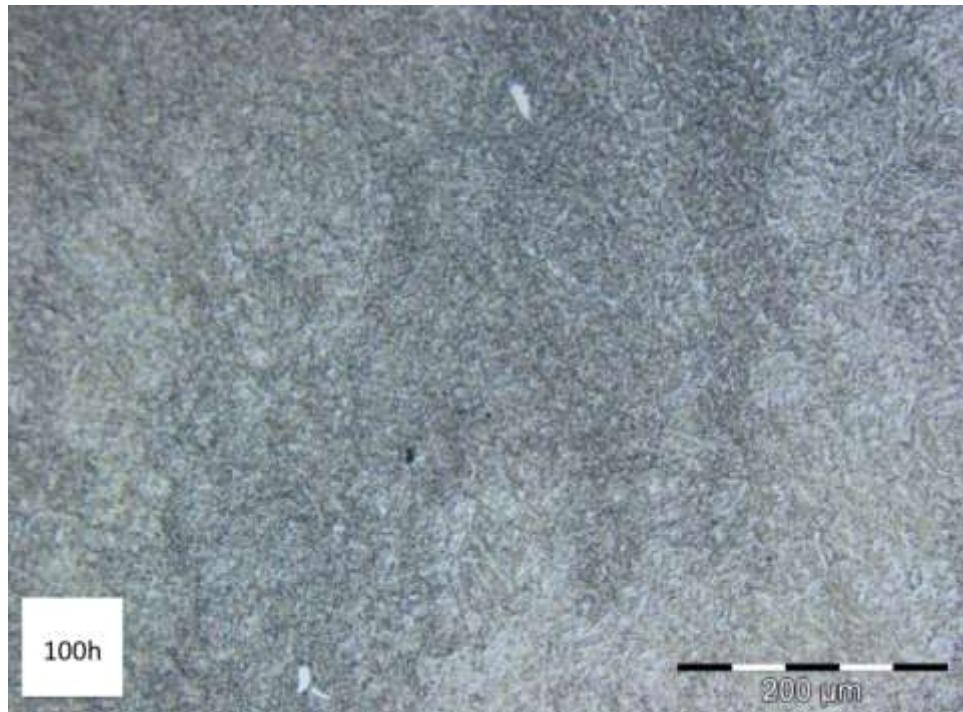


Figura 5 –Micrografia das amostra tratada a 550°C por 100h. Aumento 1000x.  
Ataque Nital 10%.

## Conclusão

Analizando os experimentos realizados, pode-se concluir a significância das porcentagens, apresentadas na microestrutura, de martensita, martensita revenida, austenita retida e carboneto na variação das propriedades mecânicas do aço H13. Tornou-se possível constatar experimentalmente que, para tempos entre 5 e 10 horas de revenimento, obtém-se uma liga de dureza elevada e razoável tenacidade, devido à transformação da martensita em martensita revenida e ao aumento da quantidade de carbonetos.

Com o aumento do tempo de revenimento, essas propriedades se alteram e a liga caracteriza-se pela fragilidade do carboneto e diminuição da dureza devido ao revenimento da martensita.

## **Referências Bibliográficas**

Gabardo J.F., **Estudo da Tenacidade do Aço Ferramenta H13**. Dissertação apresentada a Universidade Federal do Paraná, 2008.

Mei, P. R.; Silva, A. L. C. **Aços e ligas especiais**. 2<sup>a</sup> ed. Sumaré, SP, 1988.

Mesquita, R.A., Haddad, P.T.. **Propriedades Fundamentais dos Aços Ferramenta para Matrizes de Forjamento**. In: XIII Conferência Internacional em Forjamento, Porto Alegre, 2009.

Rafi, H. K., Ram, G.D. J., Phanikumar, G., Rao, K. P.. Microstructural evolution during friction surfacing of tool steel H13. **Materials and Design**, v.32,p.82–87,2011.

Wei, M.X., Wang, S.Q., L., Cui, X.H, Chen, K.M. Effect of tempering conditions on wear resistance in various wear mechanisms of H13 steel. **Tribology International**, v.44, p.898–905, 2011.