

## **INFLUÊNCIA DO TEMPO E TEMPERATURA DE TRANSFORMAÇÃO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM AÇO SAE 9254.**

Alan Patrick Pereira Soares, Mateus Lizardo Pessoa Barbosa, José Alberto da Cruz Júnior.

### **RESUMO**

Devido os avanços da indústria automobilística, novos aços vêm sendo desenvolvidos para melhorar a segurança dos veículos sem comprometer sua performance. Entre estes aços se encontram os aços TRIP-assistidos que apresentam uma matriz composta de ferrita, bainita, martensita e austenita retida. Devido ao alto teor de silício nestes aços não ocorre a precipitação de carbonetos durante o resfriamento, o que satura a austenita de carbono e a estabiliza em temperatura ambiente e permite obter a matriz do aço. Além disso, a austenita retida é o principal componente para que o efeito TRIP ocorra, o que garante ao aço tanto uma boa ductilidade quanto uma alta resistência mecânica e dureza. O objetivo deste trabalho foi tratar isotermicamente um aço SAE 9254 nas temperaturas de 270°C e 340°C nos tempos de 5, 10, 15 e 20min para se obter a matriz citada acima. Após tratamento isotérmico, o aço passou por ensaios de micro dureza, tração e impacto para medir suas propriedades mecânicas e possibilitar uma comparação com o mesmo aço temperado em óleo e revenido a 500°C por 1hr. A micro dureza foi medida de forma aleatória em 20 pontos do corpo de prova para o cálculo de média e desvio padrão. Os ensaios de tração foram feitos com um corpo de prova tratado isotermicamente em cada temperatura e tempo. E os ensaios de impacto foram feitos 2 em cada temperatura e tempo para cálculo de média. Após análise dos resultados foi concluído que o aço tratado isotermicamente a 270°C apresentou melhores resultados de dureza, LE e LR quando comparado com o aço tratado isotermicamente a 340°C e o aço temperado e revenido. Além disso ele apresentou um alongamento total próximo dos outros dois aços. Já nos resultados de impacto observou-se uma menor absorção de energia dos aços tratados isotermicamente nesta temperatura. Sendo assim, foi concluído que este aço tratado isotermicamente a 270°C apresenta melhores resultados nos ensaios mecânicos, mas não pode ser aplicado em situações onde absorção de energia e fratura dúctil sejam requeridas.

### **INTRODUÇÃO:**

Os avanços na indústria automobilística vêm buscando aços cada vez mais leves, mas que mantenham as propriedades mecânicas, garantindo dessa forma tanto a segurança do veículo quanto reduzindo o consumo de combustível. Sendo assim, aços que apresentam elevados níveis de resistência mecânica e boa conformabilidade vem sendo desenvolvidos para atender essa demanda.

Uma das classes de aços especiais desenvolvidos para atender essas demandas foi a terceira geração dos aços avançados de alta resistência (AHSS). Dentro desta geração de aços se encontra o aço que passam pelo processo de tempera e partição (Q&P) e os aços TRIP-assistido por ferrita bainítica (TBF). Estes aços passam por tratamento térmico onde os aços são austenitizados completamente e em seguida passam por um tratamento isotérmico, cuja temperatura de tratamento define o tipo de aço que será obtido<sup>(1)</sup>

Os aços TBF apresentam uma boa relação entre dureza e ductilidade devido a sua matriz constituída de ferrita bainítica, austenita retida, e martensita. Além disso, esses componentes são responsáveis pelo efeito TRIP que ocorre com estes aços<sup>(2)</sup>. A austenita retida presente nestes aços se dá pelo teor de silício presente nos mesmos (1,5~2,0%) que atuam impedindo a formação de carbonetos durante a formação da bainita no tratamento isotérmico. Como os carbonetos não precipitam, o carbono se mantém na austenita, saturando-a e fazendo que ela se mantenha presente em temperatura ambiente<sup>(1,3)</sup>

Por não possuir carbonetos, estes aços possuem uma alta tenacidade a fratura. Além disso, eles possuem tanto elevada dureza quanto resistência devido ao refino dos grãos de ferrita bainítica. Já a ductilidade dos aços é controlada pela quantidade de austenita retida presente em sua matriz<sup>(4)</sup>.

A influência do tratamento isotérmico em baixas temperaturas (200~300°C) e tempos de tratamento isotérmico mais elevados (0,5~48hr) nas formação microestrutural e propriedades mecânicas do aço foram investigadas por Cruz Júnior<sup>(5)</sup>. Este trabalho visa investigar o tratamento isotérmico em faixas de temperatura semelhantes, mas com um menor tempo de tratamento isotérmico. Além disso, os resultados serão comparados com a do mesmo aço temperado e revenido, que é a forma comercial usada atualmente.

## METODOLOGIA:

O aço utilizado para este trabalho possui uma composição química correspondente ao SAE 9254, conforme tabela abaixo. Este aço é geralmente usado para fabricação de eixos, molas helicoidais, hastes de amortecedores e etc.

Carbono	Silício	Manganês	Cromo	Fósforo	Enxofre
0,51-0,59	1,2-1,6	0,6-0,8	0,6-0,8	<0,03	<0,04

Tabela 1 – composição química do aço SAE 9254 em % peso.

As temperaturas de transformação do aço foram estimadas segundo as equações de Andrews<sup>(6)</sup>. As equações fornecem valores para as temperaturas de início da formação austenítica ( $A_{c1}$ ); temperatura para o fim da transformação austenítica ( $A_{c3}$ ); temperatura para início da formação da bainita ( $B_s$ ) e temperatura para o início da formação martensítica ( $M_s$ ).

Para o aço usado neste trabalho, as temperaturas encontradas foram  $A_{c1} = 743,75^\circ\text{C}$ ;  $A_{c3} = 812,83^\circ\text{C}$ ;  $B_s = 541^\circ\text{C}$  e  $M_s = 274^\circ\text{C}$ .

Para o tratamento térmico, os corpos de prova foram austenitizados a  $900^\circ\text{C}$  por 5min. Após austenitização eles foram transferidos para um banho térmico feito em uma liga Sn60-Pb40, cuja temperatura de fusão é inferior a  $200^\circ\text{C}$ . durante o tratamento térmico o banho foi mantido em repouso e a temperatura foi monitorada por meio de um termopar.

Os tempos e temperaturas de tratamento são apresentadas na tabela abaixo:

Temperatura ( $^\circ\text{C}$ )	Tempo (min)
270/340	5
270/340	10
270/340	15
270/340	20

Tabela 2 – condições de temperatura e tempo usadas no tratamento térmico.

Para comparações de propriedades mecânicas, três corpos de prova foram austenitizados a  $900^\circ\text{C}$  por 5min e temperados em óleo. Após temperados, eles foram revenidos a  $500^\circ\text{C}$  por 1hr. estes são parâmetros comuns de tempera e revenimento usados em práticas industriais.

Após tratamento térmico, foram feitas 20 medidas em posições aleatórias do corpo de prova para calcular o valor médio e o desvio padrão de micro dureza em um corpo de prova para cada tempo/temperatura de tratamento térmico.

Os corpos de prova foram submetidos a ensaios de tração, onde foram registrados os valores de carga aplicada e deslocamento. A partir destes dados foram calculados as tensões e deformações de cada corpo de prova. Os cálculos foram feitos de acordo com as equações 1 e 2, onde a equação apresenta a deformação e a equação 2 apresenta a tensão.

$$\varepsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (2)$$

A partir dos dados obtidos nos ensaios e pelos resultados obtidos nas equações acima, foi possível determinar o limite de resistência a tração, o limite de escoamento e o alongamento total do aço após tratamento térmico. Além disso, os corpos de prova temperados e revenidos também foram ensaiados para a possibilidade de se comparar os resultados obtidos.

Corpos de prova também passaram por ensaios de impacto em uma máquina Equilam EQIM-C-300i com energia de impacto de 150J para calcular a absorção de energia dos corpos de prova.

### RESULTADOS E DISCUSSÕES:

Os resultados de micro dureza e desvio padrão das medidas são apresentados nas tabelas abaixo. A figura 1 apresenta uma comparação entre os resultados de micro dureza nas amostras tratadas nas diferentes temperaturas. Pode-se notar que os resultados são mais elevados na temperatura de 270°C. Isso se dá pela temperatura estar mais próxima da temperatura de formação da martensita, que é uma fase dura dos aços. Para propósitos de comparação, este aço temperado e revenido apresenta uma dureza de 43,3 HC

270°C	5min	10min	15min	20min
Dureza (HC)	57,2	54,1	53,9	55,7
Desvio Padrão	1,57	1,24	1,56	2,93

(a)

340°C	5min	10min	15min	20min
Dureza (HC)	50,5	44,0	43,8	46,4
Desvio Padrão	1,33	1,29	0,88	1,83

(b)

Tabela 3 – resultados de micro dureza médio obtidos a partir de 20 medições e seu respectivo desvio padrão para o aço SAE 9254 tratado isotermicamente a 270°C (a) e 340°C (b).

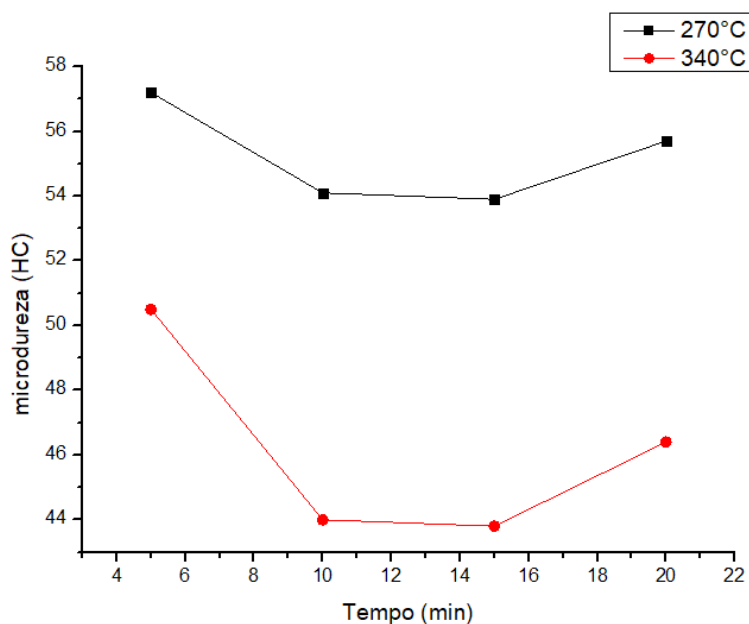


Figura 1 – comparação entre os resultados de micro dureza encontrada nas amostras.

Os resultados dos ensaios de tração serão apresentados através das figuras abaixo. A figura 2 apresenta os resultados obtidos pelas amostras tratadas a 270°C; a figura 3 apresenta os resultados das amostras tratadas a 340°C e a figura 4 apresenta um comparativo entre os resultados das duas temperaturas. A figura 5 apresenta o resultado de tração do mesmo aço temperado e revenido para comparação.

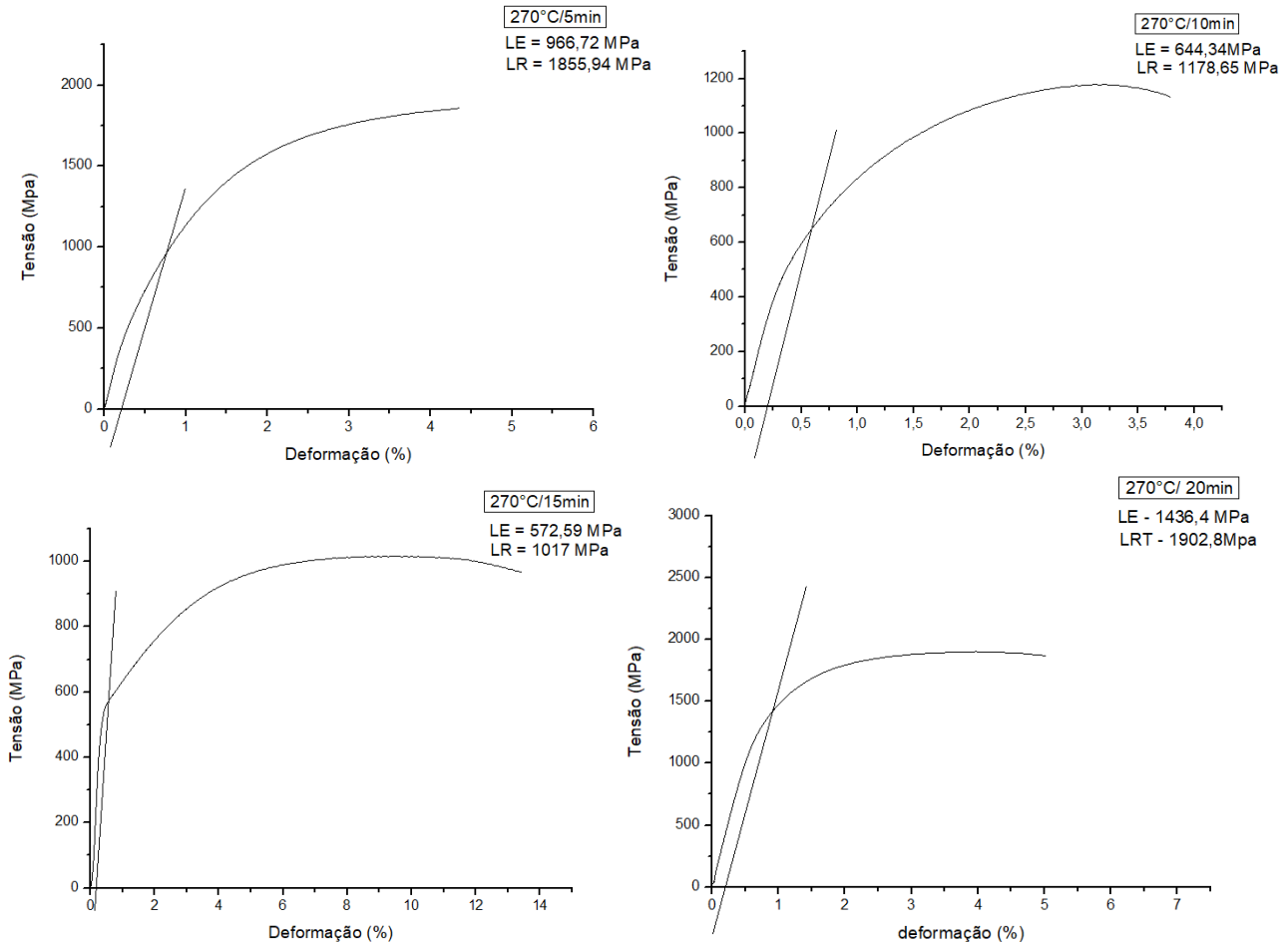
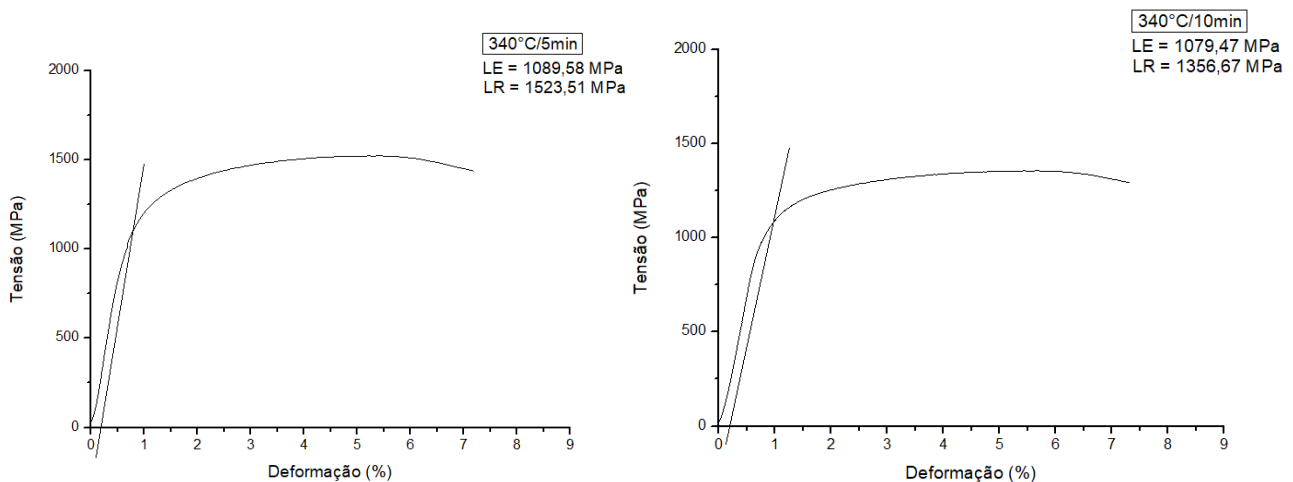


Figura 2 – gráficos do tipo tensão x deformação de engenharia das amostras tratadas a 270°C nos tempos 5, 10, 15 e 20min.



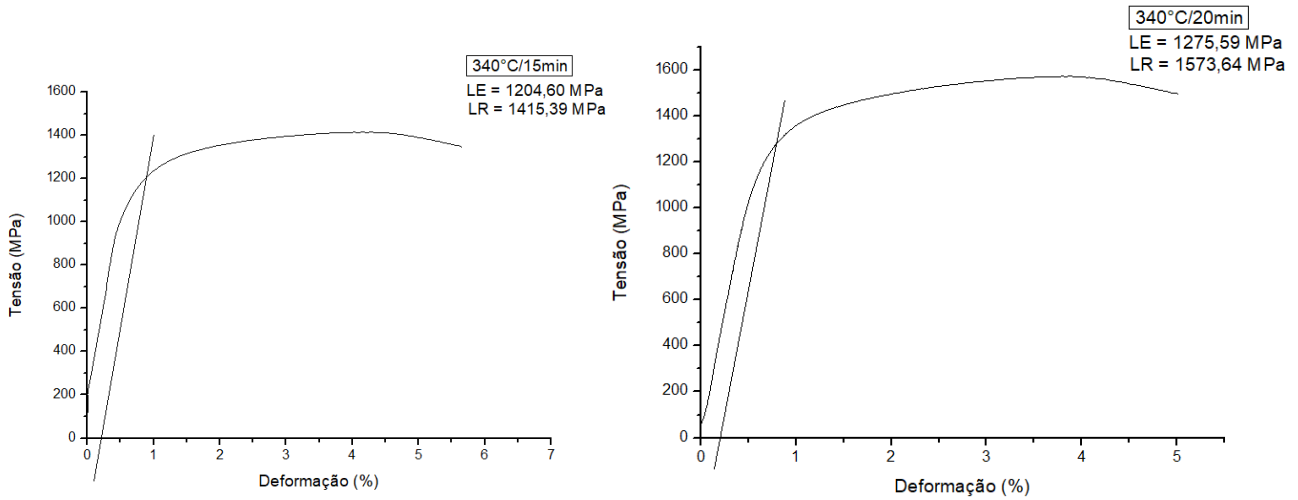


Figura 3 – gráficos do tipo tensão x deformação de engenharia das amostras tratadas a 340°C nos tempos 5, 10, 15 e 20min.

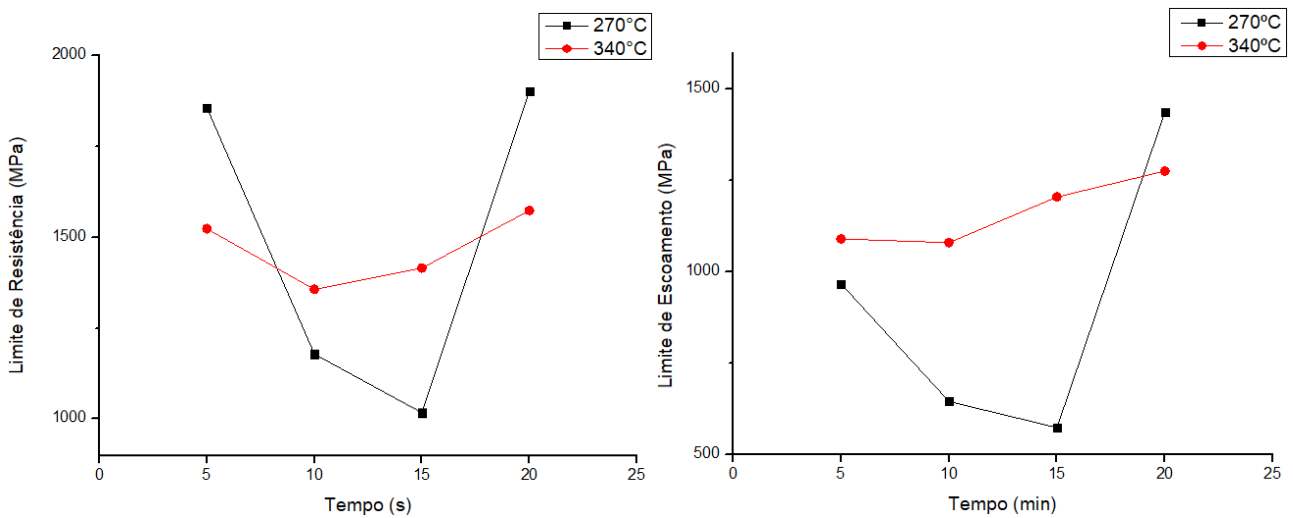


Figura 4 – comparação dos resultados de LR e LE obtidos nos diferentes tempos para cada temperatura de tratamento.

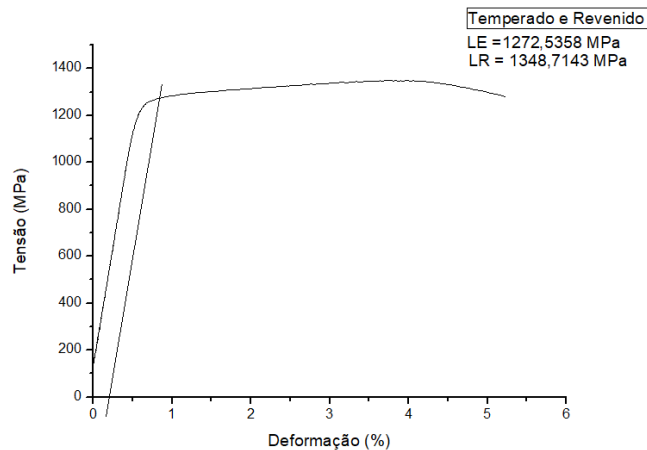


Figura 5 – resultado do ensaio de tração do corpo de prova temperado e revenido.

Através dos resultados obtidos, as amostras tratadas isotermicamente a 340°C apresentam um limite de resistência a tração de aproximadamente 1500Mpa e um limite de escoamento de aproximadamente 1200Mpa e um alongamento de aproximadamente 6%. Os resultados apresentados para os tratamentos de 270°C apresentaram variações que estavam fora do esperado de acordo com as referências. Na figura 4 pode-se observar que os resultados de LE das amostras ficaram abaixo dos resultados de 340°C para os tempos de 5, 10 e 15min, o que não deveria ocorrer devido a maior presença de martensita em sua matriz. Os resultados deveriam ficar mais próximos dos obtidos com o tempo de 20min. Estes resultados podem ter sido alcançados por um erro de geometria dos corpos de prova, e os mesmos serão refeitos para validação dos resultados. Quanto ao corpo de prova temperado e revenido, os resultados de LE ficaram próximos aos obtidos na temperatura de 340°C mas seus resultados de LR ficaram abaixo do mesmo, e seu alongamento foi de aproximadamente 5,5%.

Os resultados do ensaio de impacto são apresentados na figura 6. É possível observar que as amostras tratadas a 340°C absorvem mais energia que as amostras tratadas a 270°C. Isso se dá pela menor presença de martensita em sua matriz, o que torna o aço mais dúctil e permite maior absorção de energia antes da fratura.

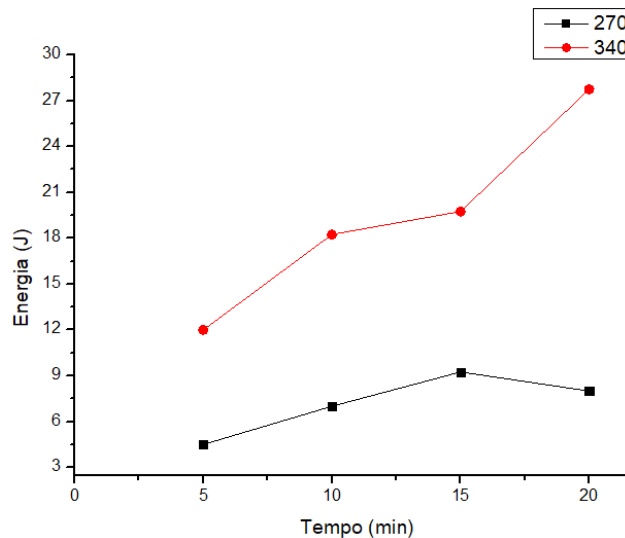


Figura 6 – comparação entre os resultados obtidos nos ensaios de impacto nas diferentes temperaturas de tratamento isotérmico para os diferentes tempos.

## CONCLUSÕES:

Através dos resultados obtidos pode-se observar que o aço tratado isotermicamente a 340°C apresenta uma micro dureza próxima do aço temperado e revenido, enquanto o aço tratado isotermicamente a 270°C apresentou um resultado de dureza mais elevado.

Quanto aos ensaios de tração, como discutido anteriormente os resultados dos tratamentos a 270°C deveriam ter apresentados resultados mais elevados de LE e LR que os tratamentos a 340°C, como ocorreu no tempo de 20min. Se levarmos os resultados obtidos em ambas temperaturas no tempo de 20min, pode-se observar que o aço tratado a 270°C apresentou um maior LE e LR sem perder nos resultados de alongamento em comparação com o aço tratado a 340°C e com o aço temperado e revenido. Uma possibilidade de ganho que pode ser considerada é o tempo de tratamento, já que estes resultados são obtidos com um tratamento isotérmico de 20 minutos enquanto o revenimento leva uma hora.

Quanto aos resultados do teste de impacto, o aço tratado isotermicamente a 270°C absorve uma quantidade bem menor de energia em todos os tempos de tratamento em comparação com o aço tratado

isotermicamente a 340°C. Não foram feitos ensaios no aço temperado e revenido para possíveis comparações, mas pela bibliografia espera-se que ele performe melhor que o aço tratado isotermicamente a 270°C. estes resultados podem apresentar uma limitação da aplicação deste aço nessas condições devido ao risco de fratura sob impacto.

Sendo assim, o aço tratado isotermicamente a 270°C apresenta um melhor resultado de dureza, LE, LR quando comparado com o aço tratado isotermicamente a 340°C e o aço temperado e revenido e apresenta um resultado de alongamento semelhante aos dois. Mas o mesmo apresenta uma baixa capacidade de absorção de energia no ensaio de impacto. Sendo assim, ele tem uma melhor performance que os outros aços, mas não deve ser aplicado em ambientes onde existe necessidade de alta absorção de energia em impacto, ou que uma fratura dúctil seja preferida no material.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- [1] HAUSMANN, K.; KRIZAN, D.; PICHLER, A.; WERNER, E. *Trip-aided bainitic-ferritic sheet steel: A critical assessment of alloy design and heat treatment*. Materials Science and Technology Conference and Exhibition 2013.
- [2] JACQUES, P. J.; GIRAULT, E.; MERTENS, A.; VERLINDEN, B.; HUMBEECK, J. van; DELANNAY, F. *The developments of cold-rolled TRIP-assisted multiphased steels. Al-alloyed TRIP-assisted multiphased Steels*. ISIJ International, 41(9), 1068-1074. May 2001.
- [3] SHERIF, M.; GARCIA-MATEO, C.; SOURMAIL, T.; BHADSHIA, H. K. D. H. *Stability of retained austenite in TRIP-assisted steels*. Materials Science and Technology, 20, 319-322. October 2003.
- [4] GARCIA-MATEO, C.; CABALLERO, F. G.; CHAO, J.; CAPDELIVA, C.; GARCIA DE ANDRÉS, C. *Mechanical stability of retained austenite during plastic deformation of super high strength carbide free bainitic steels*. Journal of Materials Science, 44, 4617-4624. September 2009.
- [5] CRUZ JUNIOR, J. A. *Desenvolvimento do aço alto C-Si e Cr com matriz nanoestruturada de martensita e bainita*. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2011. 117p. (dissertação, engenharia metalúrgica e de minas)
- [6] TRZASKA, J. *Calculation of critical temperatures by empirical formulae*. Archives of Metallurgy and Materials, 61(2), 981-986. 2016.