



ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA DA SUBSTITUIÇÃO DO MATERIAL UTILIZADO NA FABRICAÇÃO DE HELICOIDES COM FINALIDADE NA AVICULTURA

Guilherme Mittmann Hahn¹

Fábio Peruch²

Adelor Felipe da Costa³

Alexandre Milanez⁴

Luiz Carlos de Cesaro Cavaler⁵

Resumo: A avicultura é uma das áreas do agronegócio que mais cresce no mundo e, principalmente no Brasil, esse crescimento passa pelas melhorias de manejo e cuidados das aves. Dessa forma dada a constante falta de matéria prima em muitos setores, esse trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade de substituir aço BS70 utilizado nos sistemas de alimentação automatizados pelo SAE 1045. Para agregar propriedades e avaliar seu comportamento, o SAE 1045 foi submetido a um processo de têmpera aquecido a 850 °C e resfriado em óleo, e posteriormente executado o revenimento nas seguintes temperaturas: 350 °C, 400 °C e 450 °C. Como parâmetros de comparação entre os materiais, foram analisadas a tensão de escoamento, a tensão máxima de resistência, a tenacidade, a dureza e as características metalográficas. Nas amostras temperadas foram obtidas as melhores propriedades mecânicas, tendo aumento de 63% na dureza e 33% na tensão máxima de resistência em relação ao aço em seu estado de fornecimento.

Palavras-Chave: Avicultura. Helicoide. BS70. Aço SAE 1045. Têmpera.

1 INTRODUÇÃO

A carne de frango deve desbancar a carne de porco como a mais consumida do planeta até 2025, prevê a Organização das Nações Unidas para Alimentação e a Agricultura (FAO) em relatório feito em conjunto com a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) (ASGAV, 2018). Já a avicultura, no Brasil, surgiu, especificamente, na década de 1930 e por pequenas famílias, em meados da década de 1970, começou a ganhar mais destaque devido à chegada de especialistas no processo de produção de frango, logo se tornou

¹ Graduando UniSATC E-mail: guilhermemhahn@hotmail.com

² Professor UniSATC. E-mail: fabio.peruch@satc.edu.br

³ Professor UniSATC. E-mail: adelor.costa@satc.edu.br

⁴ Professor UniSATC. E-mail: alexandre.milanez@satc.edu.br

⁵ Professor UniSATC. E-mail: luiz.cavaler@satc.edu.br



evidência na produção da proteína animal, tanto da carne de frango quanto a produção de ovos.

Atualmente, o Brasil é o maior exportador da proteína animal, tendo potencial para se tornar o maior polo produtor de frango do mundo, tanto para corte quanto para postura, devido a fatores como; clima favorável, expansão da cultura da soja e milho (utilizada na alimentação das aves) e boa receptividade do consumidor ao produto. Outro ponto determinante para o aumento da produtividade no país é o melhoramento genético. Os frangos de corte, hoje, são diferentes dos que eram criados no século passado.

Assim para se alcançar esse objetivo alinhado ao melhoramento genético e, conseqüentemente, atender as exigências dos consumidores se tem a necessidade de sempre buscar melhorar os processos de produção na avicultura, isso inclui a modernização dos galpões para o alojamento dos frangos. Neste contexto a automatização dos aviários se mostra uma importante alternativa para o aumento da demanda, e uma dessas ferramentas é o sistema de alimentação para aves. Essa linha constituída de maneira geral por silos, onde fica armazenado a ração, e tubulações que fazem a ligação entre os silos e os galpões. Porém, dentro da tubulação se encontra um helicóide que é acoplado a um motorreductor localizado na saída inferior do silo. Esses dois últimos elementos são os responsáveis por movimentar a ração até as aves. O helicóide em questão é fabricado em um aço especial trefilado e tratado termicamente, podendo ser fornecido em forma de arame ou produto já acabado (helicóide) pela empresa Belgo Bekaert Arames®, no qual faz parte do grupo ArcelorMittal®.

Dessa forma, o material utilizado na fabricação do helicóide, por se tratar de um aço especial, com propriedades mecânicas específicas, como elevado limite de elasticidade e elevada resistência à fadiga, acaba, por vezes, restringindo a gama de fornecedores ou, muitas vezes, à utilização de outros materiais com maior acessibilidade. Além das características específicas já citadas, outro ponto importante é que, com a constante falta do aço em muitos setores da indústria metal mecânica causados pela pandemia da COVID-19, acaba diretamente influenciando na entrega do material pelo fornecedor.

Assim, o presente estudo busca analisar o aço fornecido pela Belgo Bekaert Arames® e, conseqüentemente, viabilizar de maneira técnica a possível



utilização de outros aços, para que empresas fornecedoras e seus clientes que fazem uso deste material, não fiquem segmentadas em apenas um tipo de aço, aumentando assim as variedades dos produtos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na revisão bibliográfica serão apresentadas as informações necessárias para o desenvolvimento do estudo em relação ao tema abordado, como – a definição dos aços utilizados em molas, a qual pertence o material de fabricação do helicóide, bem como a tempera nesse grupo de aços, que norteiam as escolhas, de um aço termicamente tratado com suas melhores propriedades e aplicações.

2.1 AÇOS PARA MOLA

Molas de aço são produzidas com os mais variados tipos, formas e tamanhos, podendo trabalhar sob condições severas, seja pelas cargas e esforços que irão suportar ou até mesmo a altas temperaturas, meios corrosivos e vibrações. Com isso, exigem uma atenção em seu projeto e nos materiais a serem utilizados. As propriedades mais importantes para a utilização de aços em molas é a resistência à fadiga e o alto limite de elasticidade. Muito se tem buscado para se aperfeiçoar essas características como por meio de tratamentos térmicos, adição de elementos microligantes ou tratamentos mecânicos (LEE, 1998).

Dessa forma, os aços mola evoluíram das composições baseadas ao carbono para os aços Cr-V e posteriormente para os aços S-Mn e suas variações (com adições de vanádio, níquel etc). Cuidados especiais têm sido dedicados à limpeza interna (quantidade e tipo de inclusões não metálicas) destes aços. A dureza dos aços usados para molas encontra-se, após o revenimento, normalmente, entre 40 e 48 HRC, esses valores representam os mais altos sendo aços liga e os mais baixos aços ao carbono (CHIAVERINI, 2012).

A Tab. 1, demonstra alguns aços utilizados em molas de uso geral



Tabela 1: Aços utilizados para fabricação de molas

SAE 1050	SAE 6150	SAE 5150
SAE 1065	SAE 9254	SAE 5160
SAE 1080	SAE 9258	SAE51B60H
SAE 1090	SAE 1070	SAE6150H
SAE 1095	SAE 9850	

Fonte: Adaptado de Chiaverini (2012)

Os aços para molas são semelhantes aos aços comuns, basicamente diferenciando-se pela necessidade de um maior cuidado e um número maior de operações para sua obtenção. Já considerando as propriedades mecânicas, as que devem ter uma maior atenção, são os limites de escoamento e fadiga, que necessitam ser muito elevados. Para obtenção de um alto limite de fadiga, é preciso uma superfície o mais perfeita possível, já o alto valor do limite de escoamento é obtido através de tratamentos termomecânicos cuidadosamente estudados (HATTORI, 2012).

2.1.1 Aço BS70

O aço utilizado na fabricação do helicóide, utilizado pela empresa Plasson do Brasil, foi desenvolvido pela própria fornecedora a Belgo Bekaert Arames, empresa no qual faz parte do grupo AcelorMittal AS®. O material apresenta um alto teor de carbono, entre 0,65% e 0,75%, o que dificulta sua soldabilidade, apesar de conter manganês que tende a aumentá-la. O nível de dureza do material fica entre 37 e 43 HRc, com sua resistência mecânica entre 1350 e 1650 MPa.

Um dos principais elementos que diferencia o BS70 de um aço mola comum é o alto teor de manganês. O elemento em questão aumenta a temperabilidade, a soldabilidade e o limite de resistência à tração, com diminuição, insignificante da tenacidade. Em grandes quantidades e em presença de Carbono, aumenta muito a resistência à abrasão. O Manganês provoca um aumento de, aproximadamente, 10 kg/mm² no limite de resistência à tração para cada adição de 1%.

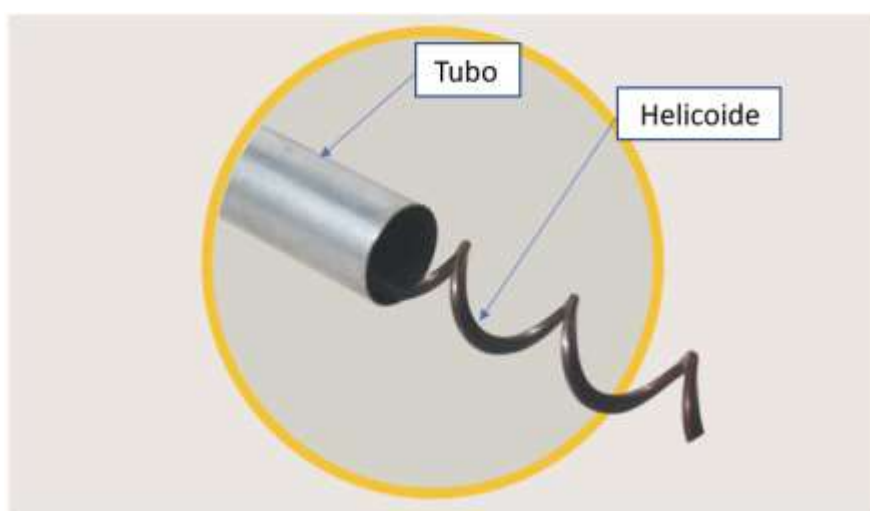
Na Fig. 1, pode-se observar o helicóide acabado, na Tab. 2, demonstra a composição química e características do aço BS70 utilizado na fabricação do helicóide.

Tabela 2: Composição química e características BS70

	Composição Química (% em peso)				
	C	Mn	Si	P	S
BS70	0,65- 0,75	0,60- 0,90	0,15- 0,35	0,03- máx	0,03 máx

Fonte: Adaptado Belgo Bekaert Arames (2018)

Figura 1: Helicoide acabado.



Fonte: Plasson do Brasil (2020)

2.2 SAE 1045

O aço SAE 1045 é classificado como aço médio teor de carbono, apresentando uma temperabilidade relativamente baixa, ou seja, com pouca penetração de dureza na seção transversal da peça. Em geral, possui uma boa relação entre resistência mecânica e resistência a fratura. Sendo assim, o aço SAE 1045 é utilizado na fabricação de componentes de uso geral onde seja necessária uma resistência mecânica superior à dos aços de baixo carbono convencionais (GALLO, 2006).

2.3 TRATAMENTO TÉRMICO

Os tratamentos térmicos são realizados com o objetivo de se promover a alteração das propriedades mecânicas nos materiais, de acordo com a necessidade



de aplicação deles. Para que seja possível obter o máximo de desempenho dos aços em relação as suas propriedades mecânicas, é necessário realizar a otimização dos tratamentos térmicos que serão aplicados na produção da peça, assim um aço com a mesma composição química e processo de fabricação, terá melhores características devido a variação da temperatura, velocidade de resfriamento e meio de resfriamento utilizados, são os principais parâmetros de um tratamento térmico (GRACIOSO, 2003).

Diante disso, os tratamentos térmicos visam modificar a estrutura física, acrescentando propriedades e características específicas ao material, muito pela variação da temperatura de aquecimento e resfriamento ao qual o metal é submetido, realizando controle do tempo, temperatura e atmosfera.

Porém, podem ocorrer tratamentos térmicos não intencionais, como peças metálicas sofrerem tratamentos térmicos durante o processo de fabricação, passando por ciclos de resfriamento ou aquecimento, alterando assim as propriedades de forma prejudicial (CHIAVERINI, 2012).

2.3.1 Têmpera e Revenimento

Têmpera é o processo de aquecer um metal até sua temperatura de austenitização, promovendo a dissolução máxima dos carbonetos na austenita, evitando a ocorrência do crescimento de grãos, e resfriando-o rapidamente. O resfriamento, geralmente, é realizado por imersão em óleo, água, sal e ao ar forçado.

O principal objetivo quando temperado um aço, é obter uma estrutura martensítica, de forma que suas propriedades mecânicas sejam melhoradas, visando aumento do limite de resistência a tração ou compressão, sua dureza e resistência ao desgaste abrasivo (AMÉRICO, 2007).

Após realizado o processo de têmpera, se faz necessário realizar o processo de revenimento, no qual o material é aquecido abaixo da faixa de transformação, e resfriando em baixa velocidade. A finalidade do último, é a de corrigir a dureza excessiva, visando reduzir a fragilidade e ampliar a resistência ao choque do aço, e garantir o dimensional (DA SILVA, 2016).

A têmpera varia em seu método, em função da temperabilidade do material, sua geometria, espessura da seção, e a taxa de resfriamento para atingir a

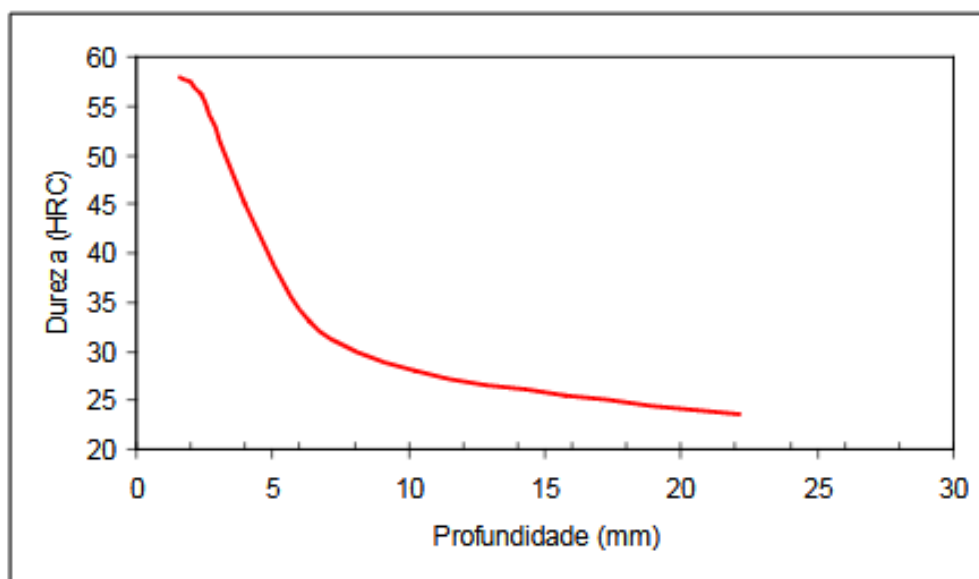
microestrutura que se desejada (COLPAERT 2008).

O processo de revenimento consiste em aquecer o material, anteriormente temperado, a uma temperatura abaixo da temperatura crítica inferior, e realizar o resfriamento em uma taxa adequada, para que seja possível também aumentar residualmente o tamanho de grãos e garantir a estabilidade geométrica e dimensional. Assim sendo, a execução destes tratamentos requer conhecimento dos diagramas de equilíbrio pertencentes as ligas metálicas, e conhecimento das transformações estruturais que o resfriamento provoca (CHIAVERINI, 2012).

2.3.2 Têmpera e Revenimento do SAE 1045

Conforme os catálogos de informações referentes a tratamento de têmpera e revenimento do aço SAE 1045 fornecidos pela Gerdau S.A., recomenda-se que o material seja aquecido entre 840 a 860°C para se obter a completa austenitização durante um tempo de uma hora para cada 25mm de espessura da peça, podendo ser resfriado em óleo ou água. Na Fig. 2, apresenta a curva de temperabilidade do SAE 1045 (FREITAS, 2016).

Figura 2: Curva de Temperabilidade SAE 1045.

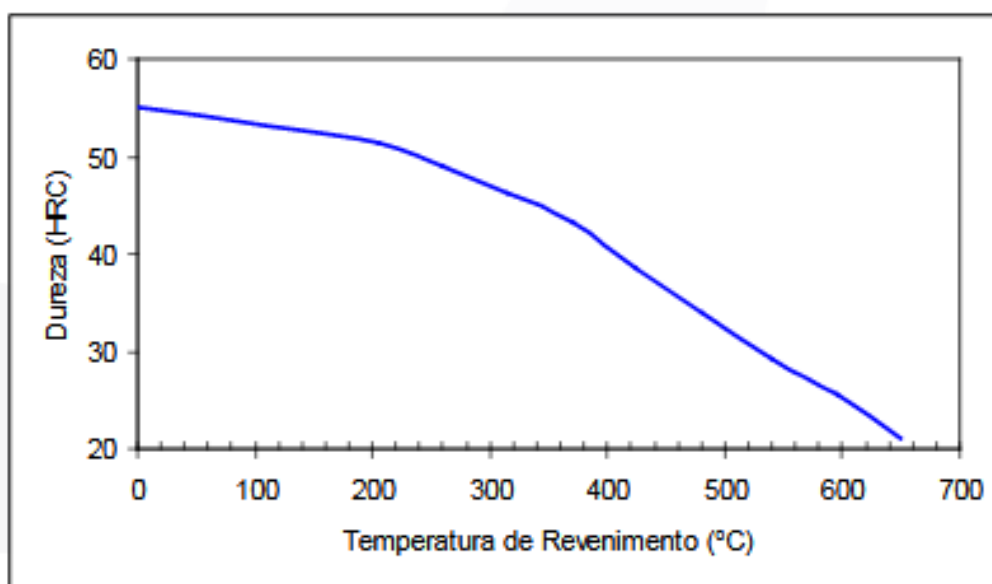


Curva de Temperabilidade

Fonte: GGD Metals (2015)

Já para o revenimento, recomenda-se que seja realizado imediatamente após a têmpera quando a temperatura da amostra atingir cerca de 70°C. A mesma deve ser selecionada de acordo com dureza específica desejada. A temperatura de revenimento deve ser mantida por uma hora para cada 25mm de espessura da peça, sendo recomendado aquecer, no mínimo, por duas horas. Além de que devem ser resfriadas em ar calmo. Na Fig. 3 apresenta a curva em relação da dureza com a temperatura (FREITAS, 2016).

Figura 3: Curva de Temperabilidade SAE 1045.



Curva de Revenimento. Têmpera a partir de 850°C.

Fonte: GGD Metals (2015)

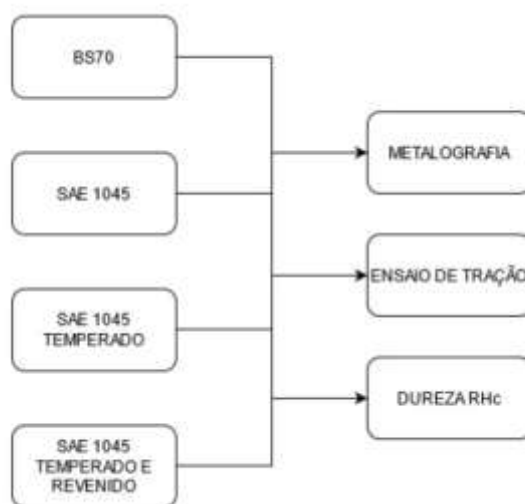
3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para a obtenção dos resultados a serem posteriormente discutidos e analisados, são necessários procedimentos que proporcionem diferentes meios para a comprovação das iterações entre as fases do material, bem como morfologia e distribuição de suas partículas na matriz, baseados na composição química que as amostras possuem. Para tal, foram executadas as etapas a seguir, conforme Fig. 4, na realização dos procedimentos experimentais desse trabalho.

Os ensaios foram divididos em duas etapas macros, a primeira a ser

realizada foi a caracterização do material BS70 desenvolvido pela Belgo Bekaert Arames, e posteriormente no SAE 1045, no qual foi escolhido para a análise de substituição do BS70.

Figura 4 - Fluxograma das atividades experimentais



Fonte: do Autor (2020)

3.1 ENSAIO DE TRAÇÃO

Na realização do ensaio de tração, foram utilizados cinco corpos de prova na análise do aço BS70 em estado de fornecimento, sendo um oblongo de 8x3,8mm, conforme a Fig. 5. Já no SAE 1045, foram utilizados cinco corpos de prova na análise do aço em estado de fornecimento bem como para o processo de tempera. Contudo, no ensaio de tração para os corpos de prova que passaram pelo processo de revenimento, foram utilizados cinco corpos de prova para cada temperatura, assim totalizando em 25 CP's ensaiados.

Este ensaio foi realizado em uma máquina de ensaio universal EMiC[®], no Lamef I, nas mediações do centro universitário UNISATC, conforme a norma ASTM E 8M. Para os ensaios do SAE 1045 foram utilizados CP's com seção circular, conforme ilustrado na Fig. 6.

Conforme a Fig. 6 demonstra, L_0 representa o comprimento da parte útil, onde serão realizadas as medições antes e após ensaio. Foi utilizado D_0 com 6 mm com área de 28mm², devido ao arame BS70 ser um oblongo com área de seção

transversal de 27,5mm², já as demais dimensões foram mantidas conforme a norma. Foram obtidas através do ensaio de tração, a tensão de máxima (σ_m) e tensão de escoamento (σ_e) em MPa, assim como a deformação final (ϵ_f) em mm, e utilizando-se da Eq. 1 para materiais dúcteis e a Eq. 2 para materiais frágeis, obtém-se o módulo de tenacidade (U_t) para cada ensaio realizado (GARCIA et al., 2000).

$$U_T = \frac{\sigma_e + \sigma_m}{2} * \epsilon_f \left[N * \frac{mm}{mm^3} \right] \quad (1)$$

$$U_T = \frac{2}{3} \sigma_m * \epsilon_f \left[N * \frac{mm}{mm^3} \right] \quad (2)$$

Onde:

σ_e = Tensão de escoamento (MPa)

σ_m = Tensão máxima (MPa)

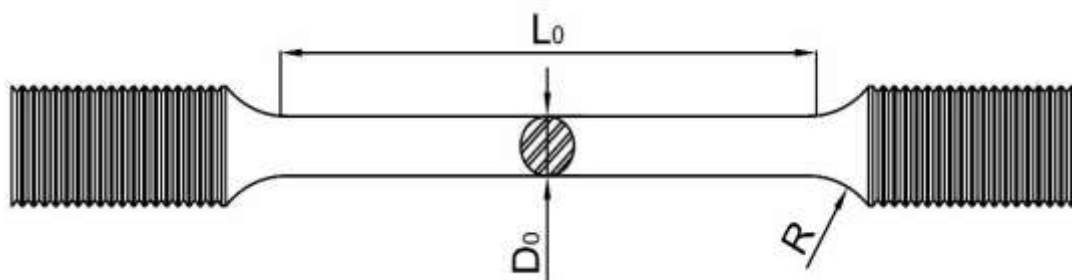
ϵ_f = Deformação final (mm/mm)

Figura 5: Aço BS70 em seu estado de fornecimento.



Fonte: Do Autor (2020)

Figura 6: Principais dimensões do corpo de prova de seção circular.



Fonte: Do Autor (2020)

3.2 CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL

A caracterização microestrutural das amostras padrão do BS70 e das amostras do SAE 1045 submetidas ao tratamento de têmpera e revenimento foi realizada conforme ABNT NBR 13284:1995, realizando o lixamento e posteriormente polimento na politriz metalográfica. Para este ensaio, foram retiradas amostras dos CP's utilizando a cortadeira metalográfica, e para melhor manuseio, as amostras foram embutidas em resina plástica.

Na realização do ataque da superfície a ser analisada, utilizou-se Nital 2% e após ataque, utilizando um microscópio óptico, foi possível analisar as fases, diluição e formato dos carbonetos, e possíveis influências nos resultados caso fosse encontrado nas amostras porosidades ou inclusões.

3.3 ENSAIO DE DUREZA

A dureza Rockwell das amostras do BS70 e do SAE 1045, conforme a norma ABNT NBR ISO 6508-1:2019. As medições foram realizadas na escala "C" com endentador de cone diamante de 120°, pelo fato de a norma estabelecer esta escala para aços endurecidos com dureza estimada entre 20 e 75 HRC. De forma a se evitar a ocorrência de perda da área útil da amostra para se fazer a análise microestrutural, os ensaios de dureza serão realizados em todas as amostras após o ataque químico e análises microscópicas.



3.4 TRATAMENTO TÉRMICO

Para a realização dos tratamentos térmicos no aço SAE 1045 foram utilizados 25 corpos de provas (CP). Inicialmente, foi retirado cinco CP's para caracterização mecânica e microestrutural do material em seu estado de fornecimento.

Os CP's foram submetidos ao tratamento de têmpera em banho de óleo, em uma temperatura fixada conforme a Tab. 3. Assim, a próxima etapa foi a execução do processo de revenimento, sendo destinado cinco CP's para cada temperatura, levando em consideração a dureza que se busca obter, para posteriormente serem mecanicamente e microestruturalmente caracterizados.

Os tratamentos térmicos foram realizados nas dependências do Laboratório de Metalurgia Física do Centro Universitário UNISATC - LAMEF II em forno de mufla e os parâmetros de realização dos tratamentos térmicos estão listados na Tab. 3.

Tabela 3: Parâmetros de realização dos tratamentos térmicos.

CP n°	Têmpera	Revenimento	Parâmetros	
	Temperatura de Austenitização	Temperatura de Revenimento	Taxa de Aquecimento	Tempo permanência na Temperatura
	[°C]	[°C]	[°C/min]	[min]
1.1	850	350	5	20
1.2	850	400	5	20
1.3	850	450	5	20

Fonte: Do Autor (2021)

O tempo de permanência na temperatura de austenitização bem como na temperatura de revenimento, foram definidos com base nas indicações do fabricante, que é de uma hora por polegada, considerando o diâmetro nominal de 6 mm, se estabeleceu 20 minutos. Ainda, foi realizado um pré aquecimento, para alívio de tensões, pelo fato de ter sido removido entorno de 40% do material do corpo de prova durante o processo de usinagem, de modo que o material fornecido foi uma barra trefilada com a bitola de 9,58 mm. O alívio de tensões consiste em um aquecimento lento até a faixa de 500 °C à 600 °C e, após este aquecimento, se eleva a temperatura até a austenitização.

No resfriamento para a têmpera foi utilizado o óleo, com temperatura $50 \pm$

10 °C, e para o revenimento, os CP's foram resfriados ao ar calmo. As temperaturas de revenimento foram definidas em função da dureza que se espera obter, baseando-se na curva de Temperatura de Revenimento x Dureza (Fig. 4).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

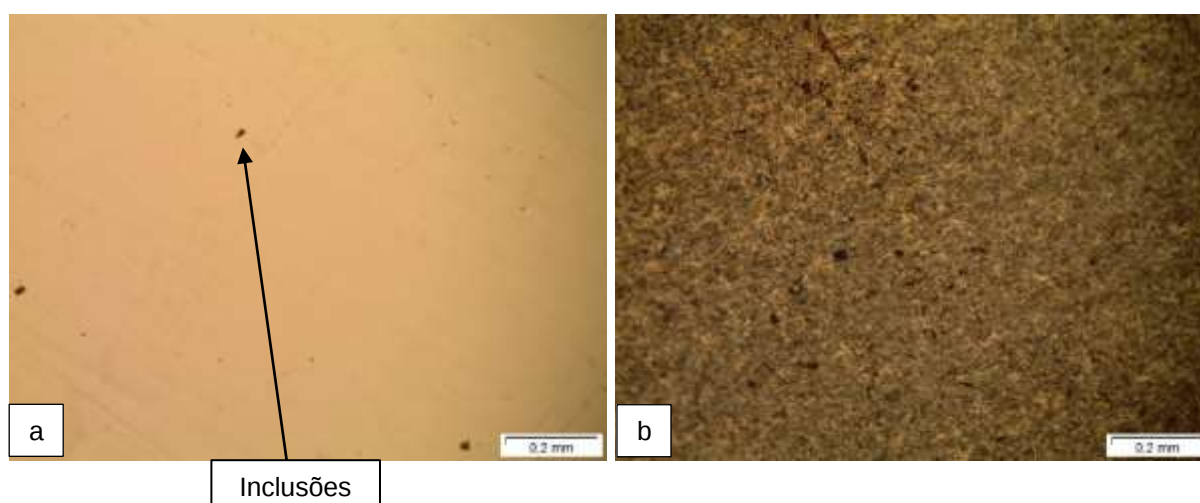
A seguir, serão explanados e discutidos os resultados obtidos nas amostras em estado de fornecimento tanto do BS70 quanto do SAE 1045, além das que foram apenas temperadas e os resultados das amostras nas quais foram realizados o revenimento variando a temperatura de aquecimento, a partir dos ensaios descritos nos procedimentos experimentais.

4.1 AMOSTRA BS70

4.1.1 Metalografia amostras BS70

Para efeito comparativo e analítico, foram caracterizadas as amostras nas condições de fornecimento do BS70. Na Fig. 7 verifica-se a microestrutura dele.

Figura 7: Amostras BS70 (a) antes do ataque, (b) após ataque com Nital 2%.



Fonte: Do Autor (2021)

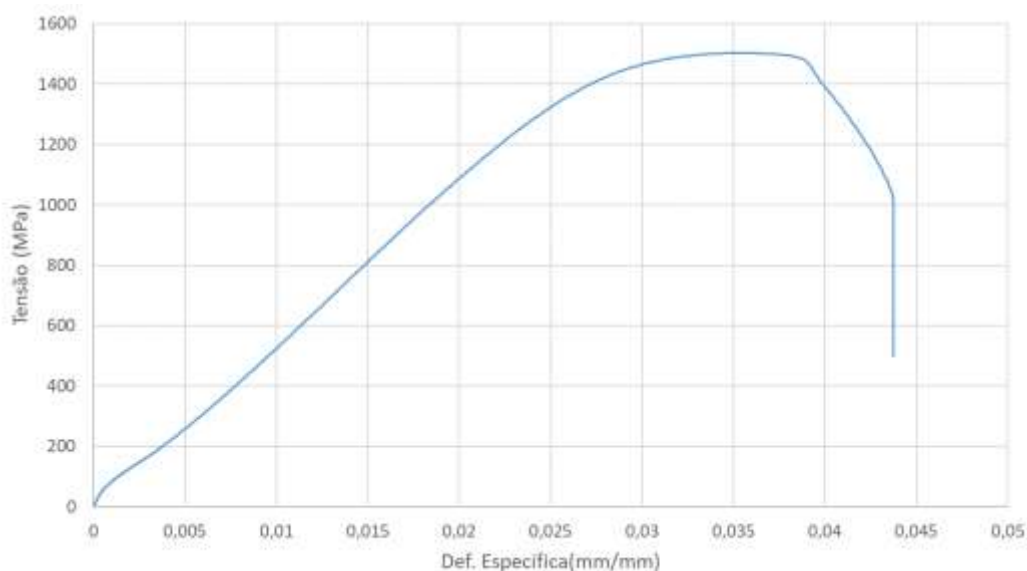
Na Fig. 7, a análise antes do ataque (a) à 200x, define inclusões globulares que podem ser ocasionadas por oxidação ou porosidade. Após ataque (b) e ampliação

também de 200x, a estrutura que pode ser visualizada é composta por uma rede de perlita e poucas áreas de ferrita.

4.1.2 Ensaio Mecânicos BS70

Assim realizado o ensaio de tração, foi possível observar tanto o comportamento elástico quanto o plástico do BS70. Utilizando os dados fornecidos pelos ensaios e calculando os valores de tensão e deformação, obteve-se o gráfico conforme Fig. 8.

Figura 8: Tensão x deformação BS70.



Fonte: Do Autor (2021)

Conforme Fig. 8 atenta-se para o comportamento pouco dúctil do aço, devido ao processo de tempera executado após a etapa de laminação do arame. Na Tab. 4, encontram-se os valores das propriedades mecânicas do aço avaliado.

Tabela 4: Resultados dos ensaios do BS70.

Amostra	σ_m [MPa]	σ_e [MPa]	ϵ [%]	Dureza [HRc]	U_t [N.mm/m ³]
BS70	1503	1463	4,37	39,8	64,9

Fonte: Do Autor (2021)

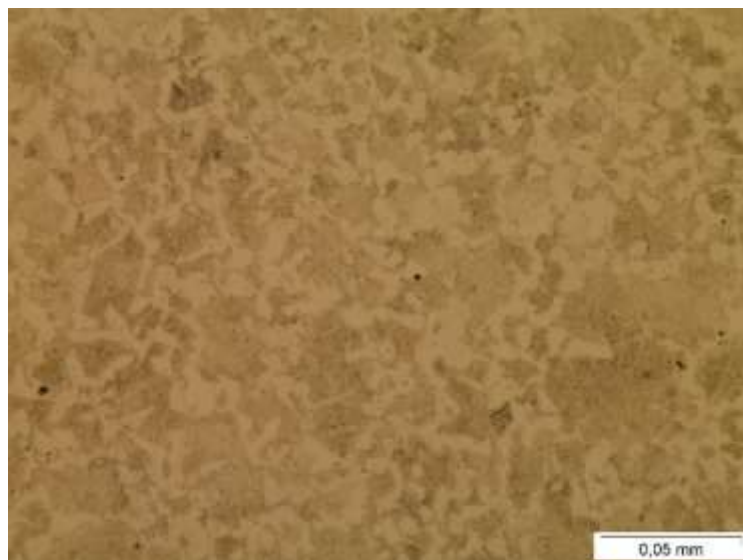
Analisando a Tab. 4, observa-se que os valores encontrados correspondem aos informados pela fabricante do material, além da obtenção do módulo de tenacidade.

4.2 AMOSTRAS SAE 1045

4.2.1 Metalografia SAE 1045

Para efeito comparativo, foram caracterizadas as amostras nas condições de fornecimento. Na Fig. 9 verifica-se a microestrutura do SAE 1045.

Figura 9: Amostra padrão após ataque com Nital 2%.



Fonte: Do Autor (2021)

Na Fig. 9, após o ataque Nital 2% e ampliado 500x, pode-se observar uma estrutura característica de aço com 0,45% de carbono, com lamelas de perlita fina consequentes de uma normalização, ainda que não de maneira intencional, causadas por processos anteriores de conformação da barra trefilada.

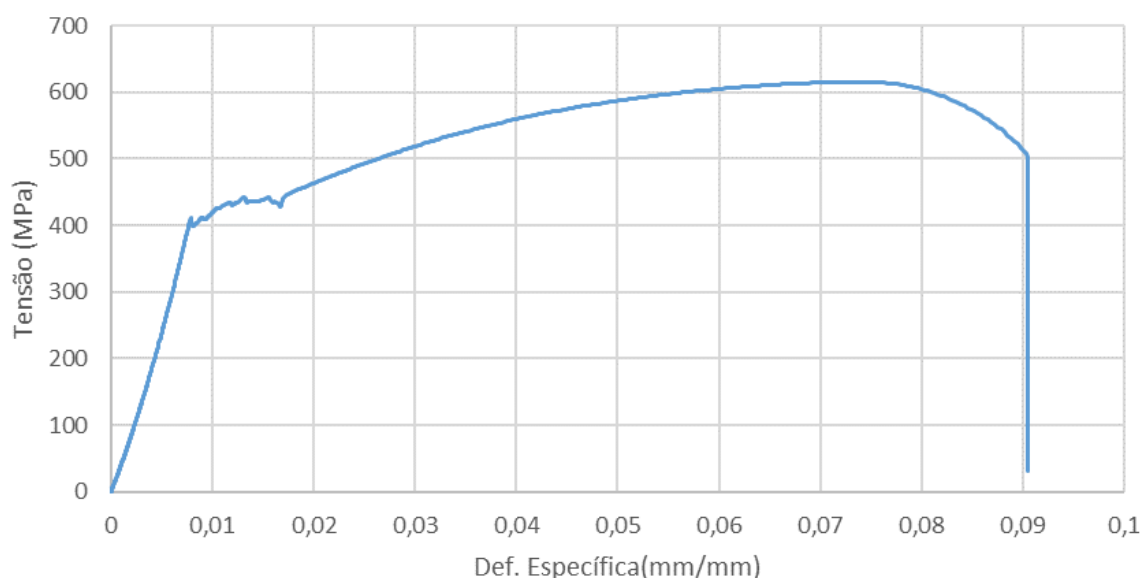
4.2.2 Ensaios Mecânicos SAE 1045

Realizado o ensaio de tração, foi obtido o comportamento elástico e plástico do SAE 1045 em seu estado de fornecimento. Utilizando os dados fornecidos pelos

ensaios e calculando os valores de tensão e deformação, obteve-se o gráfico conforme Fig. 10.

Diante dos valores apresentados na Tab. 5, entende-se a necessidade da realização do tratamento térmico no SAE 1045, para que seja possível agregar características mais adequadas. De modo que, valores como o de dureza Rockwell (HRC) e tensão de escoamento devem ser elevados ao ponto em que o módulo de tenacidade não sofra queda brusca, para que o helicóide resista a tração e ao desgaste durante os ciclos de trabalho a serem realizados.

Figura 10: Tensão x deformação



Fonte: Do Autor (2021)

Conforme Fig. 10 atenta-se para o comportamento dúctil do aço, devido ao processo de recozimento que é comumente realizado após trefilamento do aço. Na Tab. 5, encontram-se os valores das propriedades mecânicas do Aço em estudo.

Tabela 5: Resultados dos ensaios do SAE 1045.

Amostra	σ_m [MPa]	σ_e [MPa]	ϵ [%]	Dureza [HRC]	U_t [N.mm/m ³]
1045	612,6	420,5	6,29	19,4	32,5

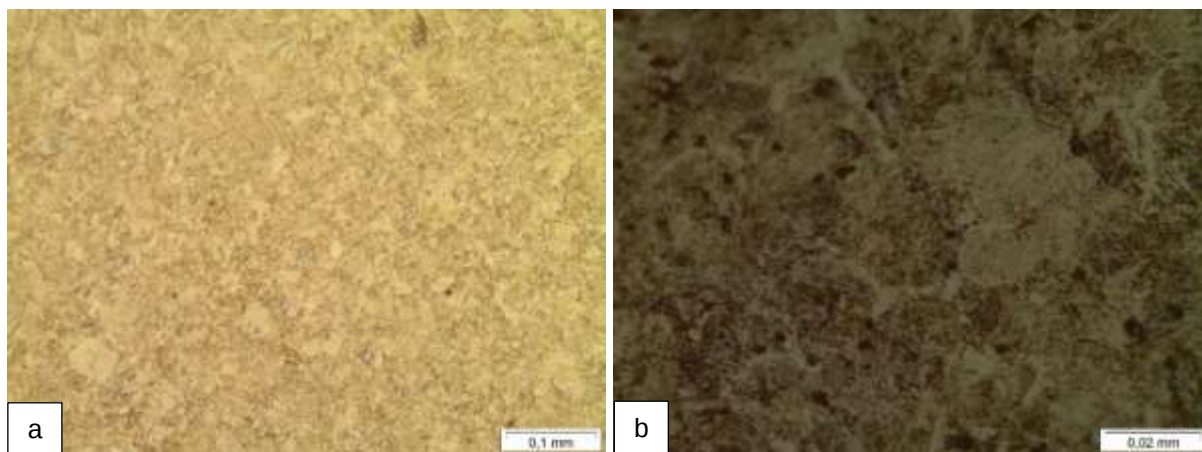
Fonte: Do Autor (2021)

4.3 AMOSTRAS SAE 1045 TEMPERADA

4.3.1 Metalografia SAE 1045 Temperado

Para melhor visualização da estrutura do corpo de prova temperado a 850°C, foram realizadas as análises metalográficas com ampliações de 200x e 1000x, conforme a Fig. 11.

Figura 11: SAE 1045 temperado (a) ampliação 200x, (b) ampliação 1000x



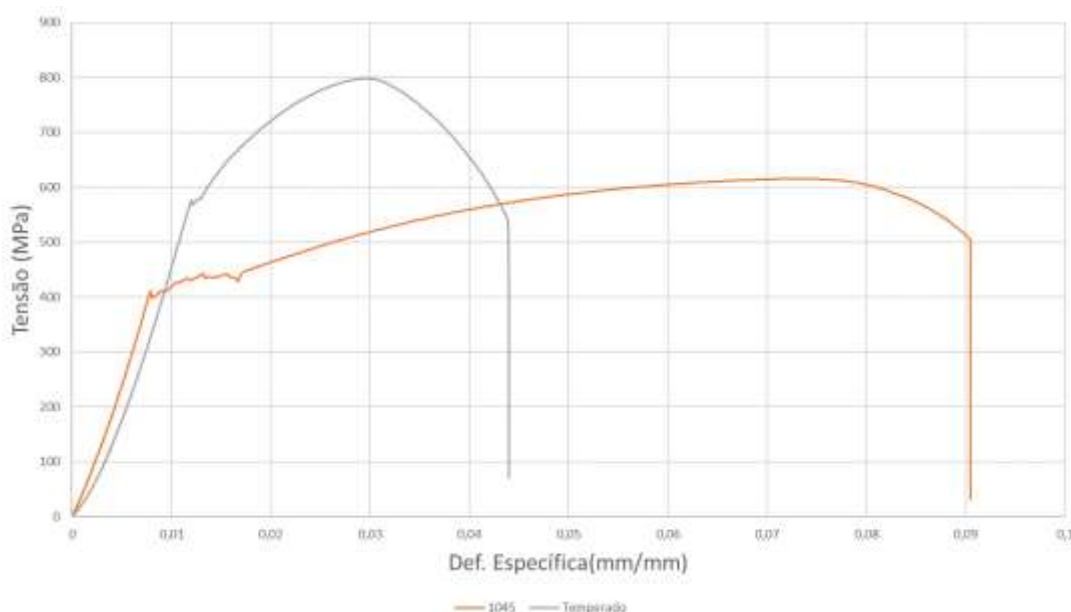
Fonte: Do Autor (2021)

Na Fig. 11 apresenta o microconstituente bainita disperso entre grãos de perlita em uma matriz ferrítica, onde também se pode observar a presença de algumas agulhas de martensita.

4.3.1 Ensaios Mecânicos SAE 1045 Temperado

Utilizando os dados fornecidos pelos ensaios, plotou-se o gráfico tensão x deformação, segundo Fig. 12.

Figura 12: Tensão x deformação após têmpera.



Fonte: Do Autor (2021)

De acordo com a Fig. 12, na amostra temperada, nota-se o ganho em relação aos valores de tensão máxima que o aço adquiriu ao ser tratado termicamente à 850 °C. A amostra tem deformação com valor consideravelmente menor que em seu estado de fornecimento. A Tab. 6 deixa elucidados os valores obtidos em cada ensaio, bem como o módulo de tenacidade calculado a partir dos resultados.

Tabela 6: Resultados dos ensaios do SAE 1045.

Amostra	σ_m [MPa]	σ_e [MPa]	ϵ [%]	Dureza [HRC]	U_t [N.mm/m ³]
1045 Temperado	798,1	629,7	4,4	31	31,4

Fonte: Do Autor (2021)

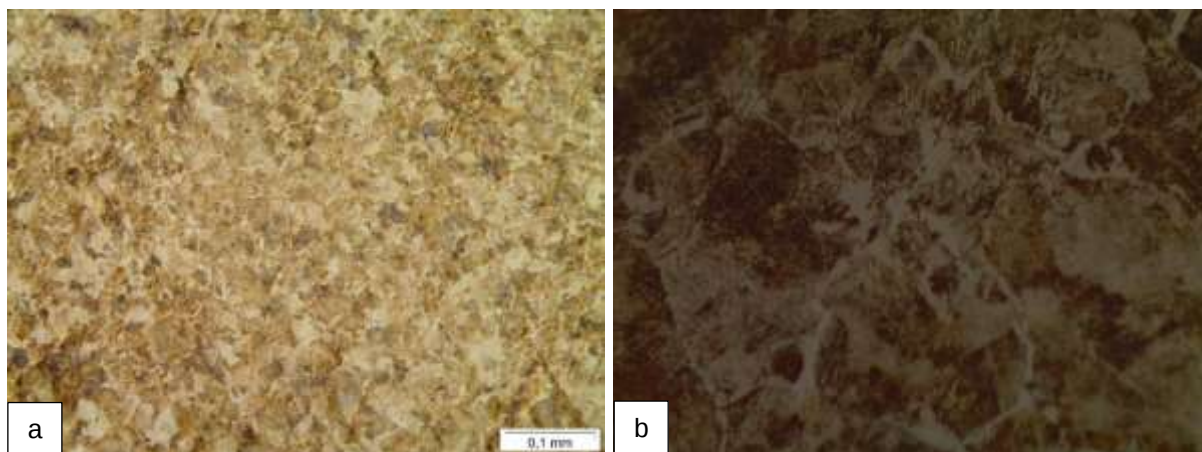
De acordo com a Tab. 6, comprova-se que a tensão máxima como a tensão de escoamento da amostra temperada é a maior. Também pode-se observar uma leve perda no módulo de tenacidade e um aumento considerável na dureza do material.

4.4 AMOSTRAS SAE 1045 TEMPERADAS E REVENIDAS

4.4.1 Metalografia SAE 1045 Temperadas e Revenidas

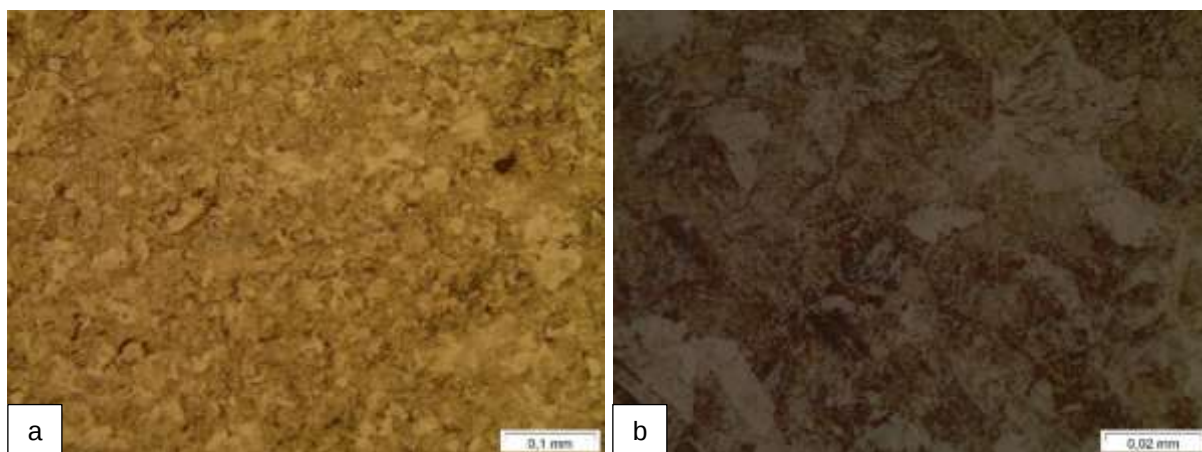
As Fig. 13 a 15, após ataque e com ampliação de 200x e 1000x, demonstram o comportamento das amostras após o processo de têmpera e revenimento com diferentes temperaturas de aquecimento.

Figura 13: 1045 temperado e revenido 350°C (a) ampliação 200x, (b) ampliação 1000x



Fonte: Do Autor (2021)

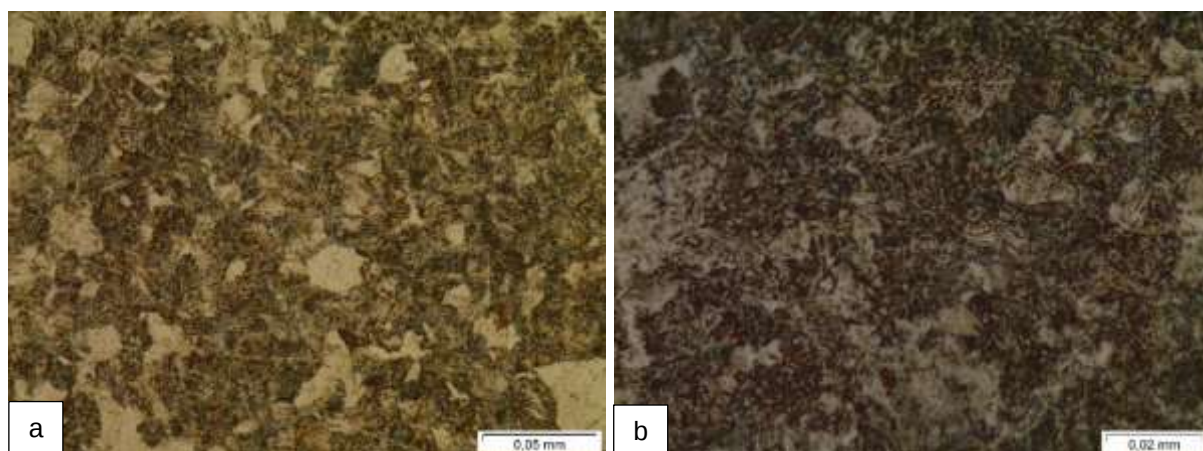
Figura 14: 1045 temperado e revenido 400°C (a) ampliação 200x, (b) ampliação 1000x



Fonte: Do Autor (2021)

Conforme as Fig. 13 a 15, podemos observar grãos de perlita e rede de ferrita. Devido as temperaturas de revinimento serem muito próximas, as amostras apresentaram a mesma estrutura metalográfica.

Figura 15: 1045 temperado e revenido 450°C (a) ampliação 500x, (b) ampliação 1000x



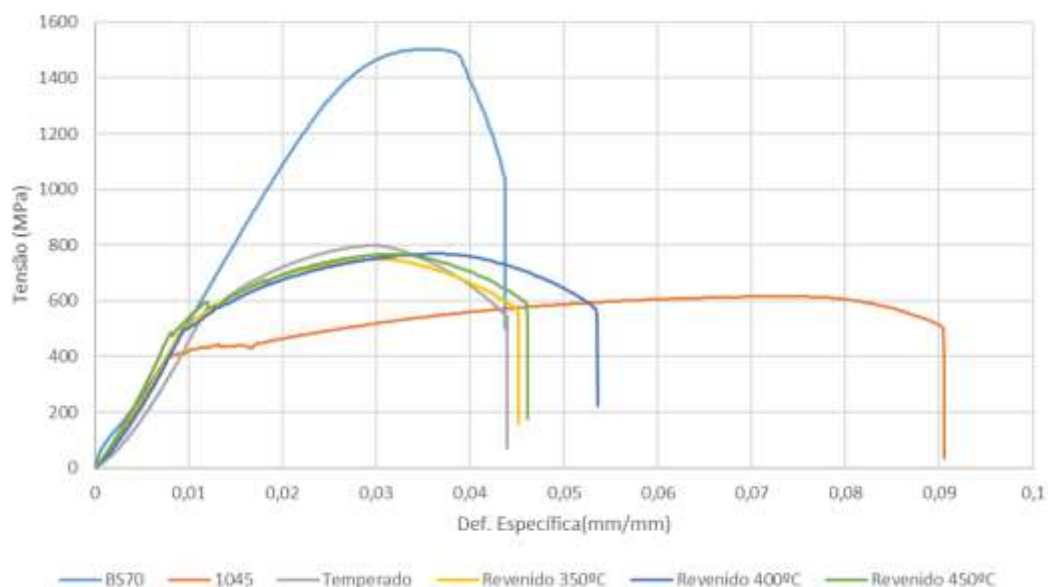
Fonte: Do Autor (2021)

4.4.2 Ensaios Mecânicos SAE 1045 Temperadas e Revenidas

Nos ensaios de tração realizados, foi possível definir o comportamento de cada amostra, conforme apresenta o gráfico da Fig. 16.

Nota-se na Fig. 16, que a maior tensão máxima se encontra na amostra temperada, próximo dos 800 MPa, e a menor se deu na amostra revenida a 450 °C, que possuía a mais alta temperatura de revenimento. Além de que, todas as amostras, demonstraram deformação plástica antes da ruptura.

Figura 16: Tensão x deformação após têmpera e revenimento.





Fonte: Do Autor (2021)

Através da análise da Tab. 7, pode-se verificar que temperaturas de revenimento provocam queda nos valores de dureza do aço em estudo, de forma que a amostra revenida a 450 °C, apresenta uma dureza muito próxima ao SAE 1045 em seu estado de fornecimento.

Tabela 7: Resultados dos ensaios do SAE 1045 temperado e revenido.

Amostra	σ_m [MPa]	σ_e [MPa]	ϵ [%]	Dureza [HRc]	U_t [N.mm/m ³]
Revenido 350°C	748,5	572	4,5	24	29,8
Revenido 400°C	767,9	629,7	4,4	22,2	31,4
Revenido 450°C	716,8	548,6	4,6	22	29,2

Fonte: Do Autor (2021)

A partir da Tab. 7, se pode avaliar melhor os resultados dos ensaios de cada temperatura de revenimento utilizada. A amostra revenida a 400 °C teve a maior tensão máxima 768 MPa, porém teve uma queda considerável na dureza e no módulo de tenacidade, demonstrando que a temperatura de revenimento, ainda assim agregou boas características à amostra. Já a amostra revenida 350 °C obteve a dureza mais alta, entretanto seu modulo de tenacidade ocorreu um decréscimo.

5 CONCLUSÃO

Conclui-se, através das análises metalográficas e os ensaios mecânicos no Aço SAE 1045 demonstrou a influência que a tempera e o revenimento tem sob as propriedades mecânicas deste material. Entretanto, durante o processo de análise das metalografias, encontrou-se uma certa dificuldade na avaliação e identificação das matrizes, pelo fato das temperaturas de revenimento adotadas serem próximas. Uma melhoria poderia ser realizada utilizando um software que realize análises vetoriais nas imagens obtidas nos ensaios metalográficos.

Levando em consideração os ensaios executados, a amostra que apresentou melhor desempenho considerando a tensão máxima, tensão de escoamento, dureza e modulo de tenacidade foi o SAE 1045 temperado, pois



apresentou ganho considerável nas tensões máximas e de escoamento assim como em sua dureza, porem seu modulo de tenacidade teve uma leve queda em relação ao material em seu estado de fornecimento. Porém, pode se ter dificuldade de conformar o material sem romper o mesmo.

Entretanto, o aço BS70 se confirmou um material com características muitos específicas, apresentando alta tensão mecânica, somado a uma dureza razoável, além de considerável modulo de tenacidade.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR ISO 6508-1:2019, Materiais metálicos - Ensaio de dureza Rockwell. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. 33 p.

ABNT NBR 13284:1995, Preparação de corpos-de-prova para análise metalográfica – Procedimento. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. 3 p.

AMÉRICO, Éderson P. **Estudo de Caso: Tratamento Térmico de Punções do Furo da Chapa Lateral de Silos para Armazenagem de Grãos – Indústria Pagé**. 2007. 60p. Trabalho apresentado ao curso de graduação de Engenharia de Materiais – Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

Avicultura: Futuro promissor - Correio do Povo 01/04/2018 – Disponível em:<www.asgav.com.br/index.php/noticias-interna/avicultura-futuro-promissor-correio-do-povo-01-04-2018-865>/ Acesso em: 20 de março de 2020

ASTM E-8M:2013, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. **American Society for Testing and Materials**. 28 p.

BELGO BEKAERT ARAMES, **Data sheet BS70** 2018.

BRESSAN, J. D.; et al. Influência do revenimento na resistencia ao desgaste do aço Vilares D2. **Tecnologia em Metalurgia e Materiais**. São Paulo, v.4, n.1, p. 53-58, jul.-set. 2007.

CALLISTER, Jr. Willian D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 8. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CHIAVERINI, Vicente. **Aços e Ferros Fundidos**. 7ª Edição Ampliada e Revisada, Livros ABM. São Paulo, 2012. 599p.

COLPAERT, Hubertus. **Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns**. 4. Ed. São Paulo: Blucher, 2008.



DA SILVA, R. N. A. **Análise Comparativa Com Diferentes Tratamentos Térmicos no Aço VC 131**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC 2016. Realizado em 29 de agosto a 1 de setembro de 2016, Foz do Iguaçu, Brasil. 2016.

FREITAS, Brenda Juliet Martins. **Estudo da Influência das Temperaturas de Austenitização na Dureza dos Aços AISI D6 e SAE 1045**. Dissertação (Graduação em Engenharia do Materiais), Universidade Tecnológico Federal do Paraná, Londrina, 2016.

GALLO, Giuliano B. **Influência do Tratamento Térmico Sobre a Tenacidade de Um Aço AISI SAE 1045 Com Médio Teor de Carbono Avaliado Por Ensaios de Impacto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Faculdade de Engenharia do Câmpus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2006.

GARCIA, A.; SPIM, J.A.; SANTOS, C. A. dos. **Ensaios dos materiais**. Rio de Janeiro, LTC, 2000.

GRACIOSO, José F. F. **Efeito das Condições de Têmpera na Microestrutura e Propriedades Mecânicas de um Aço Inoxidável Martensítico Fundido CA6NM**. 2003. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GGD METALS. **Catálogo De Aços Para Construção Mecânica**. Disponível em <<https://www.ggdmetals.com.br/wp-content/uploads/2015/07/A%C3%87O-1045.pdf>>. Acesso em: 15 de março de 2021

HATTORI, Carolina Sayuri. **Comparação de Molas de Suspensão Temperadas e Revenidas Enroladas a Quente e a Frio**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Materiais), Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2012.

LEE, C.S., LEE, K.A., LI, D.M., YOO, S.J., NAM, W.J. **Micostructural influence on fatigue properties of a high-strenght spring steel**. *Materials Science and Engineering*, A241, p. 30-37, 1998.

OLIVEIRA, D. C., IMOTO, A., CAETANO, F. B., HAYAKAWA, M.O., SILVA, A. C. A., BARCELOS, E. J. B. V., MIYADA, K. **Fabricação de aço para mola dinâmica na Villares qualidade super clean**. 58º Congresso Anual da ABM. Rio de Janeiro – Brasil. Julho, 2003