

## 1. Introdução

Este texto discute importantes aspectos da seleção de temperaturas de têmpera e revenimentos das diferentes marcas para o aço AISI 420 em função das propriedades mecânicas que se desejaria alcançar, ou “*potencializar*”, tais como: “*dureza*”, “*resistência à corrosão*” e “*tenacidade*”.

Moldes, matrizes, ou ferramentas podem ser construídos em aço-ferramenta inoxidável martensítico com a denominação genérica de “aço 420”. Os fabricantes de aços oferecem o aço AISI 420 com algumas variações na composição química para reforçar uma, ou mais, propriedades, tais como: “*resistência à corrosão*”, “*polibibilidade*”, “*tenacidade*” e “*dureza*”. Cada um dos aços produzidos com variações na composição química indicada pela norma AISI recebe um nome do seu respectivo fabricante. A Tabela 1 mostra 13 diferentes composições químicas das diversas marcas de aço AISI 420 dos fabricantes de aços que foram desenvolvidas para atender às “*condições especiais*” de aplicação e, ou, desempenho.

Tabela 1 – Composição química (%) e marcas de fabricantes do aço AISI 420

	Marcas	C	Cr	Mo	Outros
	AISI 420	0,15 - 0,40	12,0 - 14,0		
1	VC150	0,35	13,0		
2	VP420IM	0,40	13,5		0,25 V
3	420	0,15 min	12,0 – 14,0		
4	420 F	0,15 min	12,0 – 14,0	0,60 max	
5	420 FSe	0,30 – 0,40	12,0 – 14,0		Se 0,15 min
6	M310	0,41	14,3	0,60	0,20 V
7	M333	0,28	13,5	-	N
8	M340	0,54	17,30	1,10	0,10 V
9	STAVAX ESR	0,38	13,6		0,30 V
10	Thyroplast 2190	0,40	13,50		0,25 V
11	Thyroplast 2316	0,36	16,0	1,2	
12	Thyroplast 2083	0,35-0,45	12,50-13,50		Si e V <1,00
13	A-D X15TN	0,40	15,50	2,00	0,30 V / 0,20 N

Legenda:

1 e 2 – VILLARES METALS; 3, 4 e 5 – GERDAU; 6, 7 e 8 – BOEHLER; 9 – UDDEHOLM  
 10, 11 e 12 – Schmolz-Biekenbach; 13 – Aubert Duval

O usuário do aço AISI 420, muitas vezes, se refere a este, por comodidade, apenas e genericamente como “aço 420”. Não é comum, mas o distribuidor de aço também pode se referir às diferentes marcas desses aços no mercado como apenas “AISI 420”. A falta de compromisso, involuntário, em declinar a verdadeira origem do aço para o “*tratador térmico*” e, ou, Projetista, tem impacto no tratamento térmico, pois as diferentes marcas têm parâmetros de processo distintos para temperaturas de “*austenitização*” (temperatura de têmpera) e, principalmente, para as temperaturas da etapa de revenimento. A consequência disso é que a “*potencialização*” da(s) propriedade(s) que se busca pode não ser alcançada e, talvez, até contribuir para desenvolver uma não-conformidade grave se selecionada incorretamente como, por exemplo, a nucleação de trincas durante, ou após, o tratamento térmico e na etapa de usinagem final de construção da matriz, ou peça.

As propriedades que se busca melhorar para o aço inoxidável AISI 420 são atendidas com a realização de um correto tratamento térmico. A “*dureza*” do aço é uma propriedade que pode ser avaliada de maneira rápida e eficiente depois do tratamento térmico e se situar, dependendo da aplicação do aço, numa ampla faixa de 44 HRC até a máxima dureza de respectiva marca. A busca de propriedades como “*polibilidade*”, “*resistência à corrosão*”, “*tenacidade*” e menor “*tensão residual*” não poderia levar em consideração apenas a dureza do aço, pois, como se pretende mostrar e não seria possível compatibilizar, por exemplo, “*máxima resistência à corrosão*” e “*menor dureza*”, ou “*menor tensão residual*” e “*máxima tenacidade*”. O concurso simultâneo dessas propriedades não é possível e algum preço deverá ser pago para selecionar a propriedade de maior interesse, sem comprometer o melhor, ou o bom desempenho da ferramenta construída em aço inoxidável martensítico [1].

## 2. Propriedades

O tratamento térmico deve ser executado obedecendo às recomendações dos fabricantes dos aços e às condições específicas da tecnologia de aquecimento e resfriamento utilizados neste processo. A literatura técnica especializada e o fabricante de aço fornecem diagramas que retratam as propriedades e as temperaturas recomendáveis para se obter a melhor

combinação de propriedades, tais como a “*resistência a corrosão*”, “*tenacidade*”, “*tensão residual*” e a “*dureza*” e discutidas a seguir.

As Figuras 1 e 2, por exemplo, mostram os diagramas que relacionam “*dureza*” versus “*temperaturas*” para o tratamento térmico de “*revenimento*” dos aços Stavax ESR e M310 [2] [3]. É interessante observar o comportamento desse aço à temperatura de revenimento que, à medida que a temperatura sobe até 300 °C, aproximadamente, a dureza decresce, porém sofre um incremento desta para temperaturas maiores até a ordem de 480 °C. A partir dessa temperatura (480 °C), a dureza experimenta queda abrupta para mínimos incrementos desta.

A zona de temperatura compreendida entre 300 e 500 °C resulta em diferentes propriedades mecânicas que podem afetar o desempenho da peça construída em aço AISI 420. Portanto, é fundamental conhecer aspectos da aplicação da peça e, principalmente, as etapas de finalização de construção desta, em termos de operações como “*corte a fio*”, “*eletroerosão*”, “*nitretação*” e revestimento duro tipo “*PVD*”, para reduzir o risco, ou mesmo não produzir, eventos não-conformes tais como “*trincas*”, “*baixa qualidade de polimento*”, menor “*resistência à corrosão*”, “*tensão residual*” elevada, etc... Importante salientar que a modificação da superfície por “*nitretação*” deve ocorrer em temperatura inferior a 450 °C nos casos em que a aplicação da superfície pode se tornar interessante, ou até uma exigência.

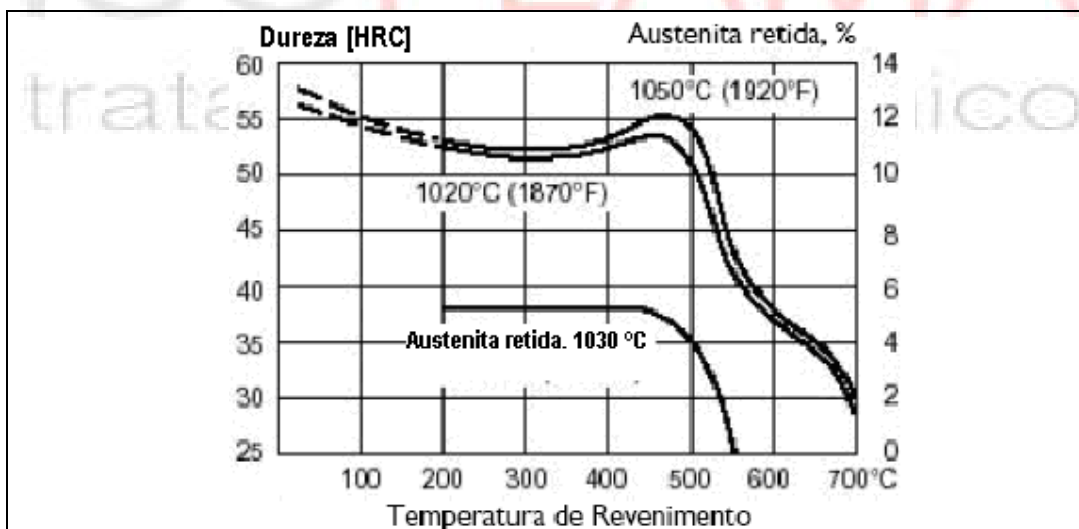


Figura 1 – Curva de dureza para o revenimento do aço Stavax ESR [2]

A Figura 2 mostra o comportamento da dureza para o aço M310 temperado de diferentes temperaturas de “austentização” (temperatura de têmpera) [3]. Nesses casos, semelhante ao comportamento do aço mostrado na Figura 1, uma maior temperatura de austenitização eleva a curva de dureza para as temperaturas de revenimento.

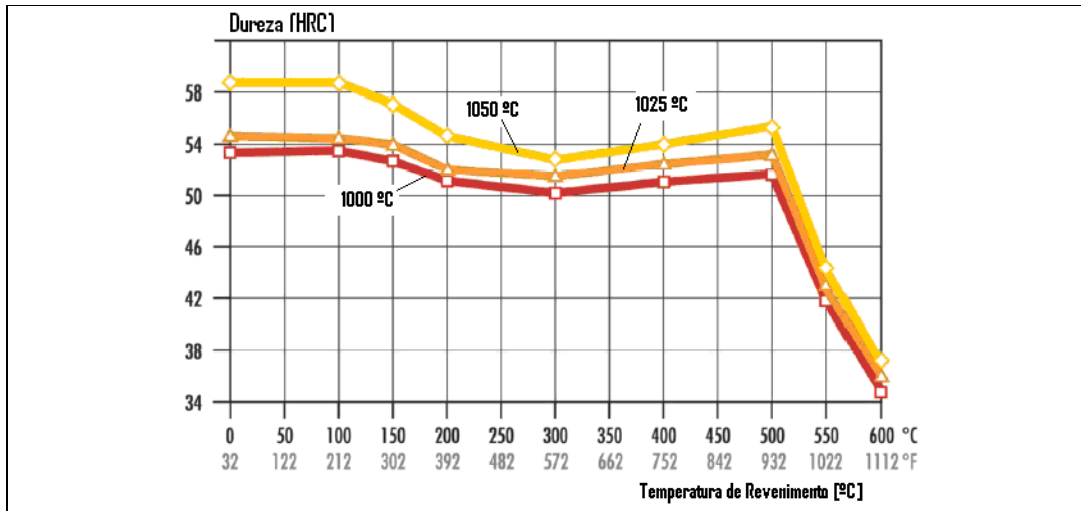


Figura 2 – Curva de dureza para o revenimento do aço M310 [3]

A Figura 3 mostra o comportamento da propriedade resistência à corrosão para o aço Stavax ESR. Observa-se nesse gráfico que a resistência à corrosão sofre redução com o aumento da temperatura, porém a partir de 500 °C inicia um processo de recuperação lenta dessa propriedade.

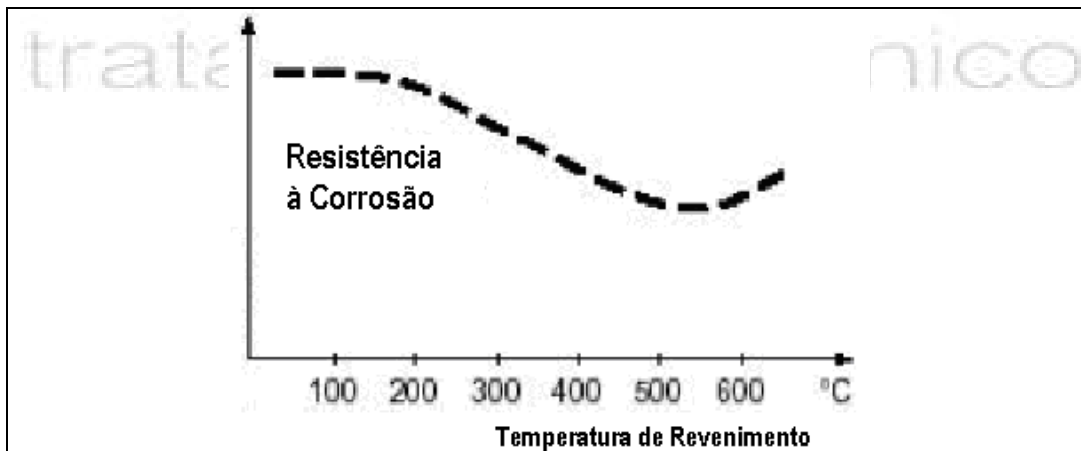


Figura 3 – Resistência à corrosão versus temperatura de revenimento do aço Stavax ESR [2]

O aço inoxidável martensítico apresenta alteração dimensional conforme se eleva a temperatura do revenimento. A partir de 300 °C o aço experimenta considerável alteração dimensional como mostrado na Figura 4 em ensaios realizados para o aço Stavax ESR. Observa-se que essa variação dimensional é crescente conforme se eleva a temperatura de revenimento, alcançando o valor máximo na faixa de temperatura de 500 a 550 °C, justamente a faixa utilizada para quando se deseja obter dureza inferior a 50 HRC. Em decorrência disso, deve-se prever adequado sobremetal para as peças, ou ferramentas, construídas em aço inoxidável martensítico e na situação de projeto em que a dureza deve se manter inferior a 50 HRC.

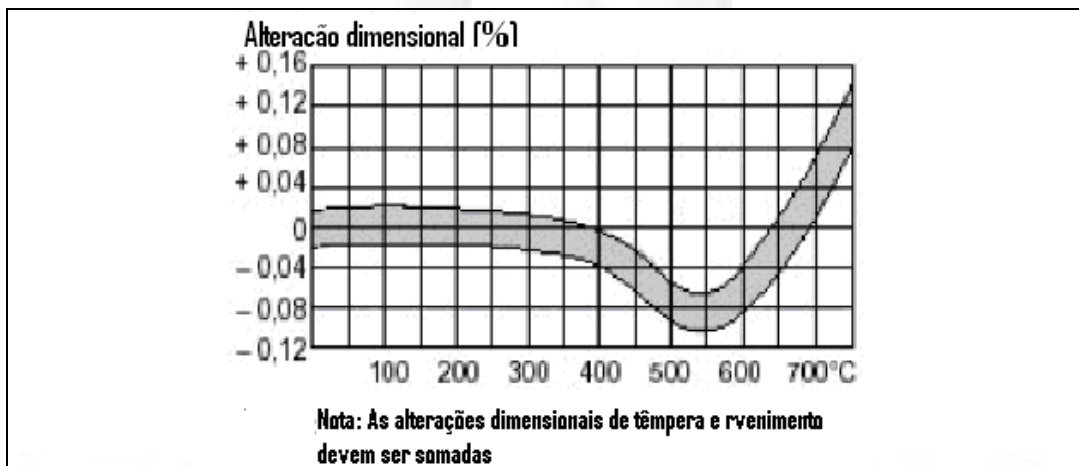


Figura 4 – Alteração dimensional em função da temperatura de revenimento [2]

A Figura 5 mostra todas as propriedades do aço 420F obtidas em ensaios destrutivos de corpos de prova para as propriedades “resistência à tração”, “limite de escoamento”, “tenacidade” e “dureza” [4]. A curva de tenacidade obtida mostra uma variação em função da temperatura de revenimento, ou seja, alcança um valor máximo em temperaturas na faixa de 250 a 300 °C para, em seguida, sofrer declínio até a temperatura próxima de 500 °C e, a partir desta temperatura a curva sofre uma inflexão na direção de crescentes valores conforme incrementa a temperatura. Em contrapartida, a curva de dureza a partir de 500 °C, como mostrado nesse diagrama, experimenta redução para pequenos incrementos da temperatura. Assim, também nesse

caso, devem se utilizar temperaturas superiores a 500 °C quando se deseja obter dureza inferior a 50 HRC.

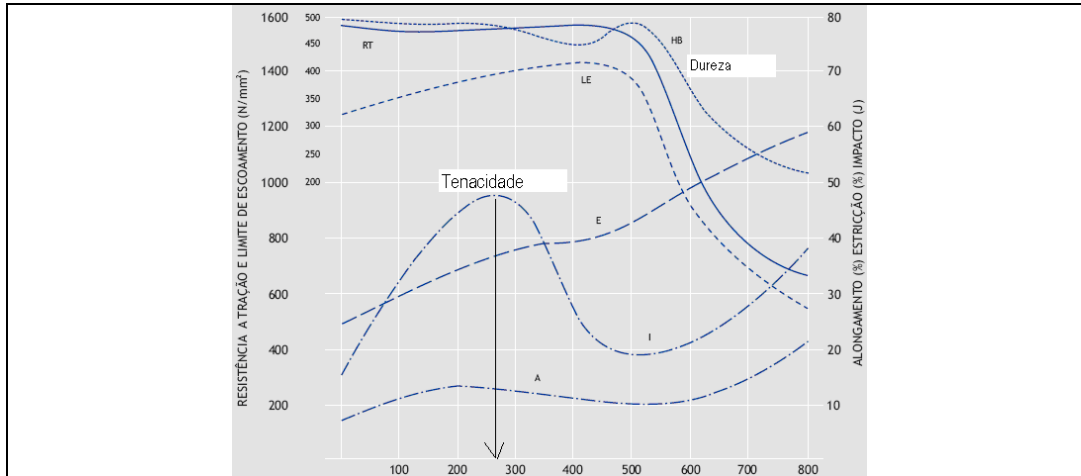


Figura 5 – Principais propriedades do aço 420 F [4].

A Figura 6 mostra o comportamento das propriedades “dureza” e “tenacidade” para o aço M333 [3]. Esse aço mostra o mesmo comportamento para as propriedades “tenacidade” e “dureza” do aço 420F em função da temperatura de revenimento, porém com valores diferentes destas.

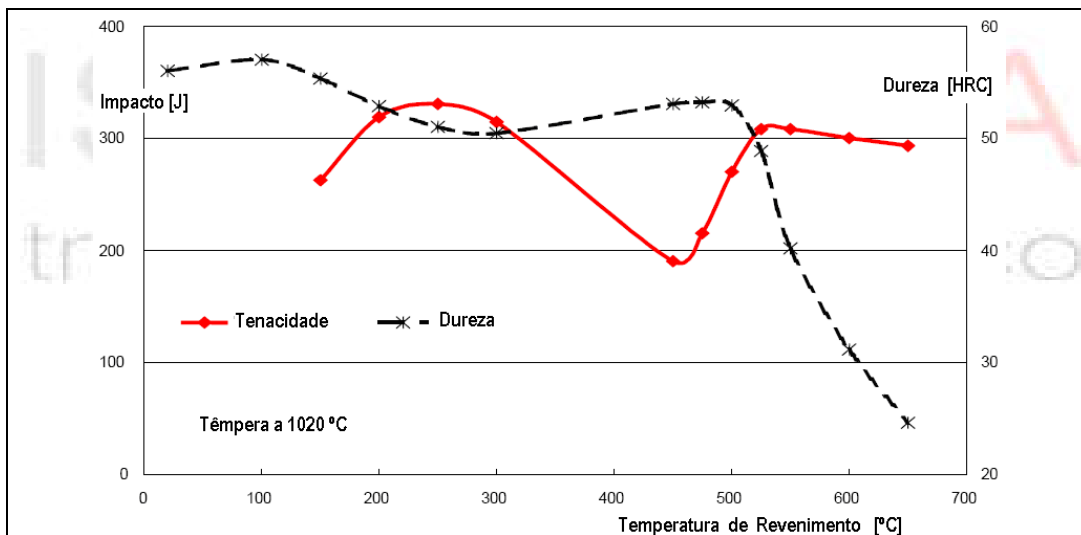


Figura 6 – Propriedades de “tenacidade” versus “dureza” do aço M333 [3]

A Figura 7 apresenta a propriedade “tenacidade” em função da temperatura de revenimento utilizada para o aço M333. O fabricante desse aço sugere que

para peças compactas, ou de pequenas dimensões, estas poderiam ser utilizadas com a dureza de 54 HRC (*dureza obtida na faixa de temperatura de revenimento de 200 a 300 °C*), obtendo-se a condição de melhor “*resistência a corrosão*” e “*tenacidade*”. Para peças complexas, grandes, como é o caso de algumas matrizes para injeção de plástico com cavidades, canais de refrigeração, brusca mudança de forma e dimensões, a dureza recomendável, conforme sugere o fabricante desse aço, seria na ordem de 48 a 52 HRC (*dureza obtida para temperaturas de revenimento superior a 500 °C*) e menor quadro de tensão residual. A tensão residual é o resultado das tensões desenvolvidas durante o tratamento térmico de têmpera e revenimento e que, neste caso, são “*tensões de tração*” na superfície do aço [5]. O melhor tratamento térmico busca reduzir ao máximo essas “*tensões de tração*” na superfície. Dessa forma, para um dado tipo de peça, ou matriz, as operações finais de construção – *eletroerosão, corte a fio*, aplicação de revestimento duro tipo “*PVD*” – condicionariam a seleção da melhor temperatura do tratamento térmico da etapa de revenimento.

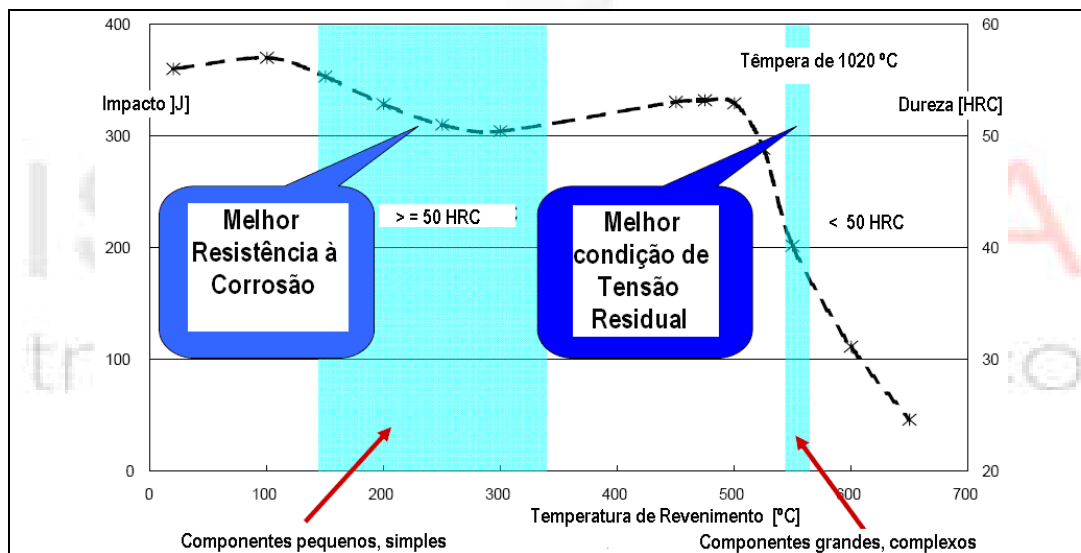


Figura 7 – Comparação das propriedades “*resistência à corrosão*” e “*tensão residual*” para o aço M333 [3]

### 3. Tratamento Térmico

O tratamento térmico seleciona os parâmetros de processo para atender à principal especificação dos aços e mede, a priori, o sucesso deste através do ensaio não destrutivo de “*dureza*”. Entretanto, como se depreende da observação das Figuras 5, 6 e 7 acima, nem sempre a propriedade dureza pode espelhar o melhor resultado para propriedades como “*resistência a corrosão*”, “*tenacidade*” e “*tensão residual*”. Nas situações de pequenos componentes em que se busca “*polibibilidade*” e “*resistência a corrosão*” a temperatura de revenimento deve se situar entre 250 e 300° C. Porém mesmo para pequenos componentes onde existem etapas posteriores tais como “*eletroerosão*”, “*corte a fio*” e, ou, “*revestimento duro*”, deve-se utilizar temperaturas de revenimento acima de 500 °C e, neste caso, não deve privilegiar a propriedade “*dureza*”. Para se obter a melhor combinação de “*resistência à corrosão*” e “*tenacidade*”, o revenimento deve ser executado na temperatura próxima de 250° C, conforme mostrado na Figura 5 e 7, entretanto a dureza resultante será de, no mínimo, 50 HRC, o que poderia causar dificuldades na operação de usinagem posterior dependendo do equipamento a ser utilizado e aumentar, vale novamente, e insistentemente, lembrar, o risco de se produzir “*trincas*” caso o aço da peça, ou matriz, ainda seja submetido a operações finais de “*eletroerosão*” e, ou, “*corte a fio*”.

Dessa forma, e resumidamente, as seguintes considerações poderiam ser utilizadas como critérios na determinação da melhor temperatura de revenimento, ou mesmo da melhor rota de tratamento térmico, tendo em vista alcançar o melhor desempenho da ferramenta em trabalho, ou “*potencializar adequadas propriedades*”:

- a) Seria possível a usinagem na dureza acima de 50 HRC?
- b) Estaria prevista alguma operação de “*erosão / corte a fio*” depois do tratamento térmico?
- c) A superfície do aço deve sofrer modificação por nitretação e, ou, aplicação de revestimentos duros tipo “*PVD*” depois da têmpera e revenimento?
- d) A propriedade “*resistência á corrosão*” não seria relevante?
- e) A condição de “*tensão residual*” menor teria importância?



Se a resposta é “*sim*” para todas as questões acima o revenimento deveria ser realizado, indubitavelmente, em temperatura acima de 500 °C. A temperatura de revenimento somente poderia estar na faixa de 200 a 300 °C se a resposta fosse “*não*” para os itens “*b*” e “*c*”. Assim, na seleção da melhor temperatura de revenimento é de suma importância o operador de tratamento térmico conhecer as informações citadas acima. Harmonizar todas as propriedades como “*dureza*”, “*resistência à corrosão*”, máxima “*tenacidade*” e menor “*tensão residual*” não seria possível e uma “*escolha*” deve ocorrer, em termos de qual propriedade se desejaria privilegiar para o aço.

A Figura 8 mostra um fluxograma com a sugestão de possíveis rotas de tratamento térmico para os aços inoxidáveis martensíticos do tipo AISI 420. A rota de tratamento térmico que contemplaria dois (2) revenimentos (*mandatório*) à temperatura, igual, ou maior a 500 °C pode tornar necessário acrescentar (*recomendável*) um tratamento térmico de alívio de tensão (~ 500 °C) se para concluir a construção do molde ainda ser necessário operações de “*retífica*”, “*eletroerosão*” e, ou “*corte a fio*” e, neste caso, recomendável a realização desse tratamento térmico em forno a vácuo para preservar a superfície acabada do aço da peça, matriz, ou ferramenta.

Uma segunda rota de processos térmicos pode ser utilizada, mas não mostrada nesse fluxograma. Essa segunda rota é para a introdução da operação denominada “*sub-zero*” e, ou “*criogenia*” que deve ser objeto de acurada análise, “*caso a caso*”, com muita atenção, em função de elevados riscos envolvidos (trincas) nesta operação. Na sequencia, revenimentos na faixa de temperatura com vistas a preservar a resistência à corrosão.

Uma terceira rota denominada “**Isotenaz**”, desenvolvida pela Isoflama preservando a propriedade de resistência a corrosão e melhorando substancialmente a tenacidade é possível adotar. Esse processo tem mostrado excelentes resultados em componentes de moldes e peças, em geral, onde exigido boa dureza e alta tenacidade. Para moldes de injeção de plástico ainda não se teria resultados de desempenho.

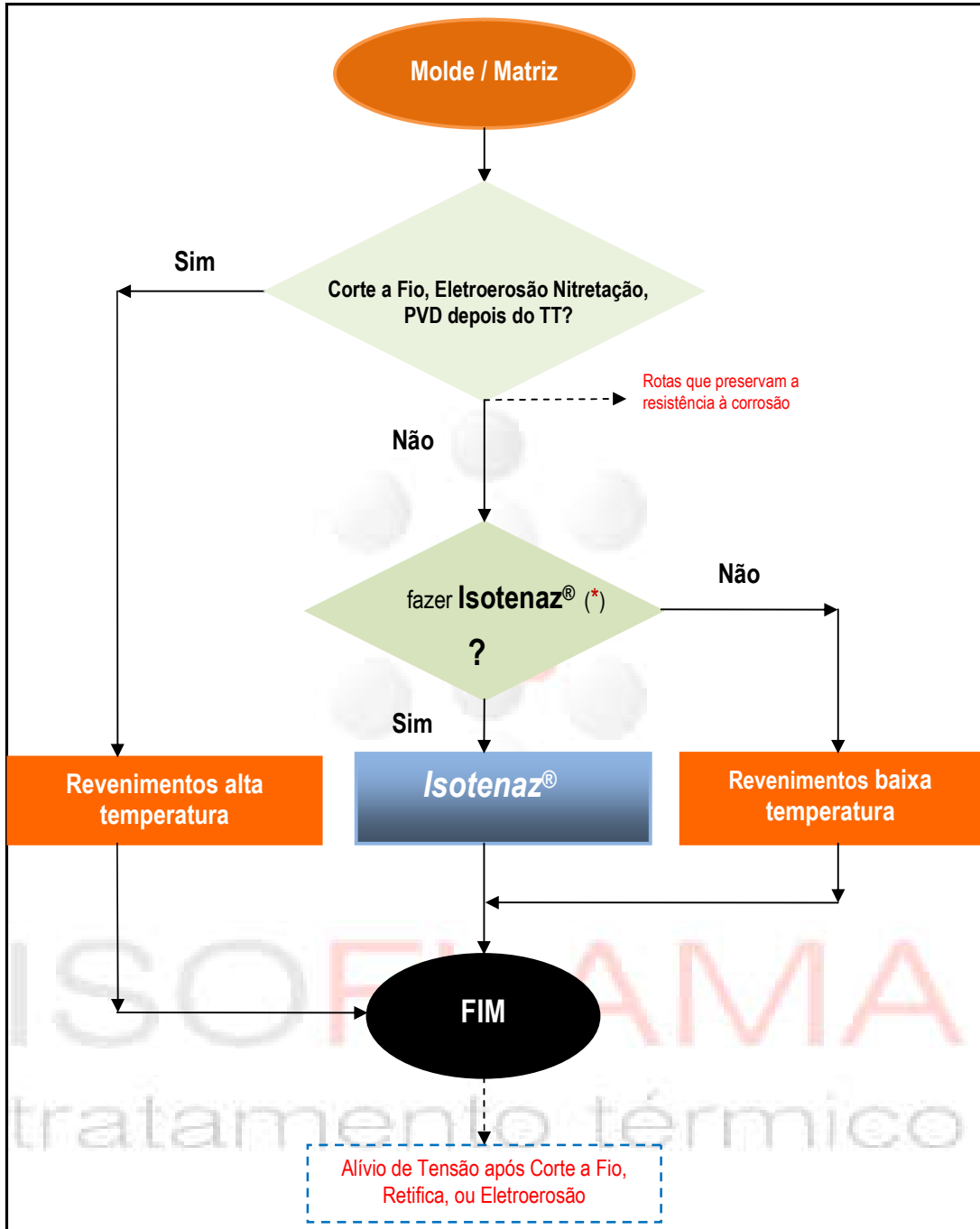


Figura 8 – Fluxograma de rotas possíveis de tratamento térmico para o aço AISI 420.

#### 4. Conclusão

Esta breve exposição de motivos técnicos para a seleção das corretas temperaturas do tratamento térmico de têmpera e revenimento com o objetivo de se maximizar os melhores resultados de desempenho de moldes, matrizes, ou peças, construídas no aço inoxidável martensítico AISI 420 permite concluir:

- A “*dureza*”, a priori, não seria a principal propriedade a ser considerada no projeto da ferramenta.
- A máxima “*resistência à corrosão*” condicionaria a realização do revenimento na faixa de temperatura de 200 a 300° C, o que resultaria em dureza final acima de 50 HRC e maior “*tensão residual*”.
- A melhor condição de menor “*tensão residual*” seria para o revenimento realizado nas temperaturas acima de 500° C.
- Operações depois do tratamento térmico, tais como “*corte a fio*”, “*eletroerosão*”, “*retífica*”, revestimentos duros tipo “*PVD*”, limitação de processos de usinagem e “*nitretação*”, condicionaria a seleção da temperatura de revenimento de igual, ou maior, a 500° C. Nesse caso, a dureza final poderá, em função da marca de aço equivalente ao AISI 420, ser inferior a 50 HRC.
- A melhor “*tenacidade*” para o aço M333 é alcançada com a temperatura de 300° C.
- A condição de menor “*tensão residual*” do aço M333 é atingida para revenimento igual, ou superior, a 500° C.
- Processo Isotenz produz elevada dureza combinada com maior tenacidade

\*\*\*\*\*

## **Bibliografia**

[1] Heat Treatment of Martensitic Stainless Steels: Critical Issues in Residual Stress and Corrosion. E.D.Doyle; F.Kolak, Y.C.; Wong and T. Randle. Faculty of Engineering and Industrial Sciences, Swinburne University of Technology, Hawthorn, Victoria 3122, Australia.

[2] Catálogo de aços Uddeholm

[3] Catálogo de aços Boehler

[4] Catálogo de aços Gerdau

[5] Fadiga dos Materiais. Fem-Unicamp, Pós-graduação, Prof.I. Ferreira, 2003



ISOFLAMA  
tratamento térmico