

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS – UNIS/MG
ENGENHARIA MECÂNICA
LUÍS FERNANDO ARAÚJO SANTOS

**ESTUDO COMPARATIVO DE APLICABILIDADE ENTRE OS AÇOS AISI O1
(VND) E AISI D6 (VC 131) ATRAVÉS DE MEDIÇÃO DA DUREZA**

VARGINHA

2022

LUÍS FERNANDO ARAÚJO SANTOS

**ESTUDO COMPARATIVO DE APLICABILIDADE ENTRE OS AÇOS AISI O1
(VND) E AISI D6 (VC 131) ATRAVÉS DE MEDIÇÃO DA DUREZA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para a obtenção do título de bacharel, sob orientação do Prof. Me. Fabiano Farias de Oliveira.

VARGINHA

2022

LUÍS FERNANDO ARAÚJO SANTOS

ESTUDO COMPARATIVO DE APLICABILIDADE ENTRE OS AÇOS AISI 01 (VND) E
AISID6 (VC 131) ATRAVÉS DE MEDIÇÃO DA DUREZA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para a obtenção do título de bacharel, pela banca examinadora composta pelos membros.

Aprovado em: ___/___/___

Prof.

Prof.

Prof.

Obs:

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso estuda a comparação de aplicabilidade entre os aços AISI O1 e AISI D6 através da medição de dureza para uso em ferramentas de corte de alto desempenho para aços duros. Tal abordagem se justifica pelo fato que é importante analisar comparações entre aços que podem atingir propriedades semelhantes pelo fato de ser muito comum no uso em geral este tipo de adaptação. O propósito deste estudo é demonstrar ao leitor que através de aplicações de processos sobre os aços é possível auxiliar na seleção de materiais, principalmente quando pretende-se baratear custos, mas mantendo o desempenho. Este objetivo será alcançado mediante levantamento de referencial bibliográfico para embasamento teórico, também aplicação de tratamentos térmicos de têmpera e revenimento em amostras dos aços para que eles ganhem mais dureza, que será medida através de teste de dureza conforme as normas vigentes possibilitando a análise e por fim um levantamento de custo superficial para corroborar a comparação. Após a realização da metodologia descrita e feito a coleta dos dados, o estudo demonstrou que o aço AISI O1 (VND) é capaz de atingir durezas tão elevadas quanto ao AISI D6 (VC 131) e ainda de maneira uniforme, podendo em certas aplicações substituí-lo perfeitamente, mesmo possuindo menos elementos de liga que adicionam outras propriedades. Porém, devido a estes elementos o segundo aço tende a ter menor desgaste conforme informa os fabricantes, mas isto também reflete em cerca de 20 % a mais no custo de compra do VC 131.

Palavras-chave: Aço VND. Aço VC 131. Ensaio de Dureza.

ABSTRACT

This class conclusion work studies the comparison of capacity between AISI O1 and AISI D6 steels through the hardness test configuration for use in high performance cutting tools for hard steels. Such an approach is justified by the fact that it is important to analyze comparisons between steels that can reach common characteristics in the fact that this type of adaptation is widely used in general. The purpose of this study is to demonstrate to the reader that through application of processes on steels it is possible to assist in the selection of steels, especially when it is intended to reduce costs, while maintaining the performance of materials. This analysis objective will be through by means of a bibliographic reference survey for theoretical basis, also the application of heat treatments of quenching and tempering in steel samples, so that they gain more hardness that will be measured through a hardness test according to the current norms allowing the analysis. Finally, do a superficial cost survey to corroborate a comparison. After carrying out the described methodology and collecting the data, the study showed that AISI O1 (VND) steel is able to reach hardness as high as AISI D6 (VC 131) and even in a uniform way, being able to replace it perfectly in certain applications even having fewer alloying elements that add other properties. However, due to these elements, the second steel tends to have less wear as reported by the manufacturers, but this also reflects about 20% more in the purchase cost of the VC 131.

Keywords: *Steel VND. Steel VC 131. Hardness Test.*

Lista de Figuras

- Figura 1** – Ferramentas de corte para trabalho a frio.
- Figura 2** – Identificação de cores AISI O1.
- Figura 3** – Identificação de cores AISI D6.
- Figura 4** – Diagrama Fe-C.
- Figura 5** – Diagrama de revenimento do VND.
- Figura 6** – Diagrama de revenimento do VC 131.
- Figura 7** – Cortador de amostras Panambra.
- Figura 8** – Amostras homogeneizadas no forno durante a têmpera.
- Figura 9** – Medição de temperatura após o resfriamento.
- Figura 10** – Peças inseridas na estufa para revenimento.
- Figura 11** – Politriz lixadeira metalográfica Teclago.
- Figura 12** – Durômetro analógico WPM.
- Figura 13** – Imagens das amostras testadas no ensaio de dureza.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
2 AÇOS FERRAMENTA PARA TRABALHO A FRIO.....	9
2.1 Aço AISI-O1 (VND).....	10
2.2 Aço AISI-D6 (VC 131).....	11
3 PROCESSOS DE ALTERAÇÃO DE CARACTERÍSTICA DO AÇO.....	13
3.1 Tratamentos térmicos.....	15
3.1.1 Têmpera.....	15
3.1.2 Revenimento.....	16
4 ENSAIO DE DUREZA.....	20
5 MATERIAIS E METODOLOGIA.....	21
5.1 Operação de corte e lixamento prévio.....	21
5.2 Tratamentos térmicos de têmpera e revenimento.....	22
5.3 Ensaio de dureza.....	26
5.4 Análise de Custos.....	28
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
7 CONCLUSÃO.....	32
REFERÊNCIAS.....	34

1 INTRODUÇÃO

É inegável que o ser humano sempre buscará maneiras de se adaptar melhor a cada condição durante a vida. Isto se aplica também aos métodos de trabalho, nos mais diversos ramos de atividades desempenhadas. Este tipo de adaptação implica em mudar, melhorar, diminuir, ampliar, dividir e acrescentar condições, maneiras, ferramentas, estudos e tecnologias durante os processos.

A questão a ser elucidada é onde pretende-se chegar com a indagação do parágrafo anterior. É evidente que nos processos industriais há uma incessante busca pelo melhoramento produtivo, isso passa não só pela mudança de comportamento, redução de custos, mas também pela troca de equipamentos, instrumentos e ferramentas. Cabe ressaltar que esta mudança nem sempre ocorre da maneira devida, isto gera muitas lacunas que podem ser exploradas nos estudos comparativos.

Muitas dessas mudanças atingem os materiais dos quais são fabricadas as ferramentas de trabalho, às vezes com o pretexto de reduzir custos, melhorar a eficiência ou apenas por conveniência. Entre os materiais de fabricação que mais sofrem com este tipo de alteração estão os aços. Portanto é importante que se desenvolvam estudos aprofundados sobre tais alterações para que se possa verificar se geram ou não melhor rendimento para a aplicação da ferramenta.

Os aços que contém elementos de liga são amplamente utilizados pela engenharia e devido ao seu largo uso em escala industrial e comercial é necessário que se desenvolvam pesquisas e estudos em torno de suas características e propriedades. Esse tipo de aço possui um bom teor de carbono, sua resistência e tenacidade podem se mostrar melhores de acordo com a condição da aplicação para a qual são destinados.

Este trabalho estuda a comparação de aplicação entre os aços AISI O1 e AISI D6 e os detalhes que envolvem o processo de utilização de um em detrimento do outro levando em consideração a propriedade da dureza do aço. Para tanto é importante que os objetos do estudo sejam submetidos aos processos de modificação que passariam em ambiente industrial, nesse passo entende-se que devem passar por tratamentos térmicos de têmpera e revenimento para melhoramento de suas propriedades.

Partindo do que se é observado na aplicação destes aços, e levando em consideração serem comuns e de grande uso comercial em ferramentas de trabalho a frio, no presente trabalho o intuito é verificar se realmente existe uma interferência de forma significativa na dureza e comprovar os efeitos do tratamento térmico para justificar a comparação. Devido às

altas temperaturas submetidas durante o processo de têmpera e revenimento, é de se esperar que algumas propriedades dos aços estudados se modifiquem.

Em paralelo, será desenvolvido uma pesquisa de custos para que se possa observar as discrepâncias de valores de compra e de tratamento, com a finalidade de estabelecer uma visão mais ampla para a comparação pretendida.

É importante ressaltar também que o trabalho contribui para elucidar vários questionamentos de engenheiros, técnicos, acadêmicos e operadores que trabalham e estudam os aços carbono de maneira geral.

2 AÇOS FERRAMENTA PARA TRABALHO A FRIO

Os aços-ferramenta, utilizados na construção de moldes e matrizes, possuem como característica a grande resistência à usinagem. Tais aços são compostos geralmente de altos teores de carbono (C) e elementos de liga como Cromo (Cr), Molibdênio (Mo), Vanádio (V) e Tungstênio (W). A combinação destes componentes resulta em compostos à base de carbonetos que apresentam elevada dureza e resistência ao desgaste e abrasão. (CALLISTER, 2002).

Conforme destaca o manual da Villares Metals sobre os aços para trabalho a frio, estes se destacam para a fabricação de ferramentas utilizadas no processo a frio além de aço, mas também de ferro fundido, metais não ferrosos e não metálicos, destinadas para inúmeras aplicações como corte, dobramento, estampagem, cunhagem e demais operações de transformação de matéria prima como extrusão, trefilação e prensagem inclusive trabalho em madeira e materiais cerâmicos, conforme ilustra a imagem abaixo. (VILLARES, 2021).

Figura 1 – Ferramentas de corte para trabalho a frio.



Fonte: (Smart Edge, 2021).

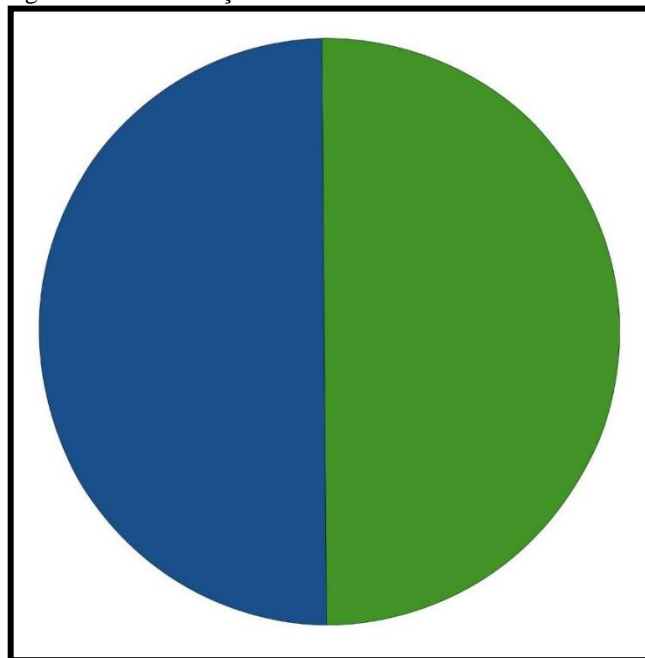
Interessante destacar que para viabilizar estas operações é preciso empregar aços com variadas composições químicas, capazes de garantir através da realização de tratamentos térmicos específicos as propriedades que se adequam a cada caso. Algumas aplicações exigem características contraditórias, portanto o processo de seleção do aço, assim como ocorre na escolha de materiais de maneira geral é de extrema relevância. (VILLARES, 2021).

2.1 Aço AISI-O1 (VND)

O aço AISI O1 é comercialmente denominado como VND, dentre os aços ligados para trabalho à frio ele destaca-se pela sua razoável aptidão à pequena deformação apesar de ter um custo bastante razoável e ser normalmente temperável em óleo. Destaca-se também por manter o gume cortante por um tempo considerado razoável para aplicações onde a abrasividade do produto a ser cortado não seja muito grande, já neste caso, se utilizam normalmente os aços da categoria “D”, como o aço D-2, aço D6 e aço D-3. (AÇO ESPECIAL, 2019).

A composição básica para o aço AISI O1 consiste em: Carbono (C) 0,95%, Manganês (Mn) 1,25%, Cromo (Cr) 0,50%, Tungstênio (W) 0,50% e Vanádio (V) 0,50%. O código de cores comum para a identificação deste tipo de aço para a comercialização é Azul e Verde, conforme mostrado a seguir. (VILLARES METALS, 2003).

Figura 2 – Identificação de cores AISI O1.



Fonte: (Columbia Aços, 2021).

Há diversas aplicações possíveis para o AÇO VND. Trata-se de um aço para trabalho a frio, ligado ao manganês, cromo e tungstênio e temperável em óleo. Suas principais características são a elevada dureza, alta resistência ao desgaste e média tenacidade. Sua dureza superficial, nas condições de têmpera e revenimento, podem chegar a 64 HRC. (PKM AÇOS, 2019).

O aço O1 é utilizado em aplicações de ferramental corte e conformação a frio e em periféricos de ferramentais, onde se necessita de elevada resistência ao desgaste, principalmente no deslizamento.

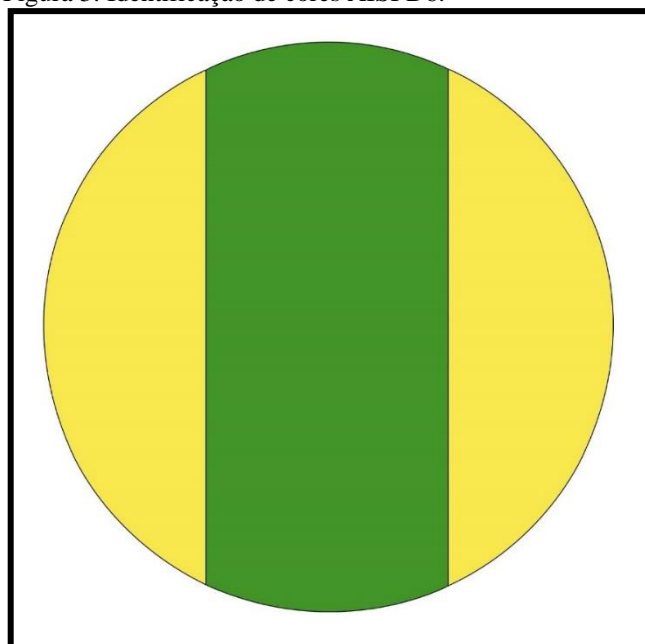
Normalmente, o aço O1 é aplicado no trabalho de aços e metais não-ferrosos, ferramentas para trabalho em madeira, matrizes de porcelana, instrumentos de medição de grande estabilidade dimensional. (AÇO ESPECIAL, 2019).

É sempre importante salientarmos que o nome VND foi amplamente difundido no Brasil por ser o nome dado por uma de nossas usinas nacionais ao material da classe AISI O1, bem como ao material designado pela norma DIN como WNr. 1.2510, portanto quando se ouvir falar em O1, a grande diferença em relação ao VND é que estamos tratando de um material mundial e não do material da classe AISI O1 fabricado por uma determinada usina como é o caso do VND, que passou a ser o nome mais utilizado comercialmente no Brasil para os aços da classe AISI O1. (AÇO ESPECIAL, 2019).

2.2 Aço AISI-D6 (VC 131)

O outro aço estudado no trabalho é o AISI D6 muito utilizado para aplicação de ferramentas para trabalho a frio, além desta nomenclatura também é conhecido em outras normas e similares como DIN X 210 CrW 12; Wnr 1.2436; ABNT D6; JIS G 4404-72; Tipo SDK 2, cores de identificação Amarelo – Verde – Amarelo. (PKM AÇOS, 2016).

Figura 3: Identificação de cores AISI D6.



Fonte: (Columbia Aços, 2021)

Segundo informa o fabricante Villares Metals, que é o fornecedor mais conhecido no Brasil para este tipo de aço. O AISI D6, comercialmente conhecido como VC 131 é um aço que apresenta extrema estabilidade dimensional, com característica famosa de ser indeformável. Além de tudo entrega como qualidade excelente resistência à abrasão e máxima estabilidade de gume de corte. O seu emprego é muito comum para ferramentas de trabalho a frio, principalmente para ferramentas de corte, mas também é comumente utilizado para revestimento de moldes cerâmicos. (VILLARES, 2021).

Como aplicação o aço VC 131 é principalmente empregado em matrizes de ferramentas de corte de alto desempenho, no corte de chapas de aço silício e chapas de aço, estampos para cortes de precisão na indústria de cartonagem, relojoaria, entre outras, placas de revestimentos de moldes para tijolos e ladrilhos, ferramentas variadas para prensagem e materiais de alta abrasão; guias para máquinas operatrizes, réguas para retificadoras, peças de desgastes de calibres, micrometros e ferramentas em geral, onde se exige máxima resistência a abrasão e retenção de corte. (PKM AÇOS, 2016).

O VC 131 é um aço ligado a base de elementos como o Cromo (Cr), Tungstênio (W) e Vanádio (V). Sua composição normal é: Carbono (C) 2,10%, Cromo (Cr) 11,50%, Molibdênio (Mo) 0,95%, Manganês (Mn) 0,30%, Tungstênio (W) 0,70% e Vanádio (V) 0,20%.

Assim como o VND este aço também tem como propriedade de destaque a dureza. No caso do VC 131 a faixa de dureza de utilização fica entre 56 a 62 HRC, valor este que é obtido após a aplicação de tratamento térmico de têmpera e revenimento, processos informados no próximo capítulo. (VILLARES, 2021).

Para ferramentas de corte onde este tipo de aço é comumente empregado a dureza e a resistência ao desgaste são as principais características buscadas para utilização, os tratamentos térmicos supracitados dão a possibilidade de alcançar bons níveis nestas propriedades. Tudo isso alinhado a composição ligamentar do aço contribui muito para o alto desempenho nas aplicações. (GERDAU, 2003).

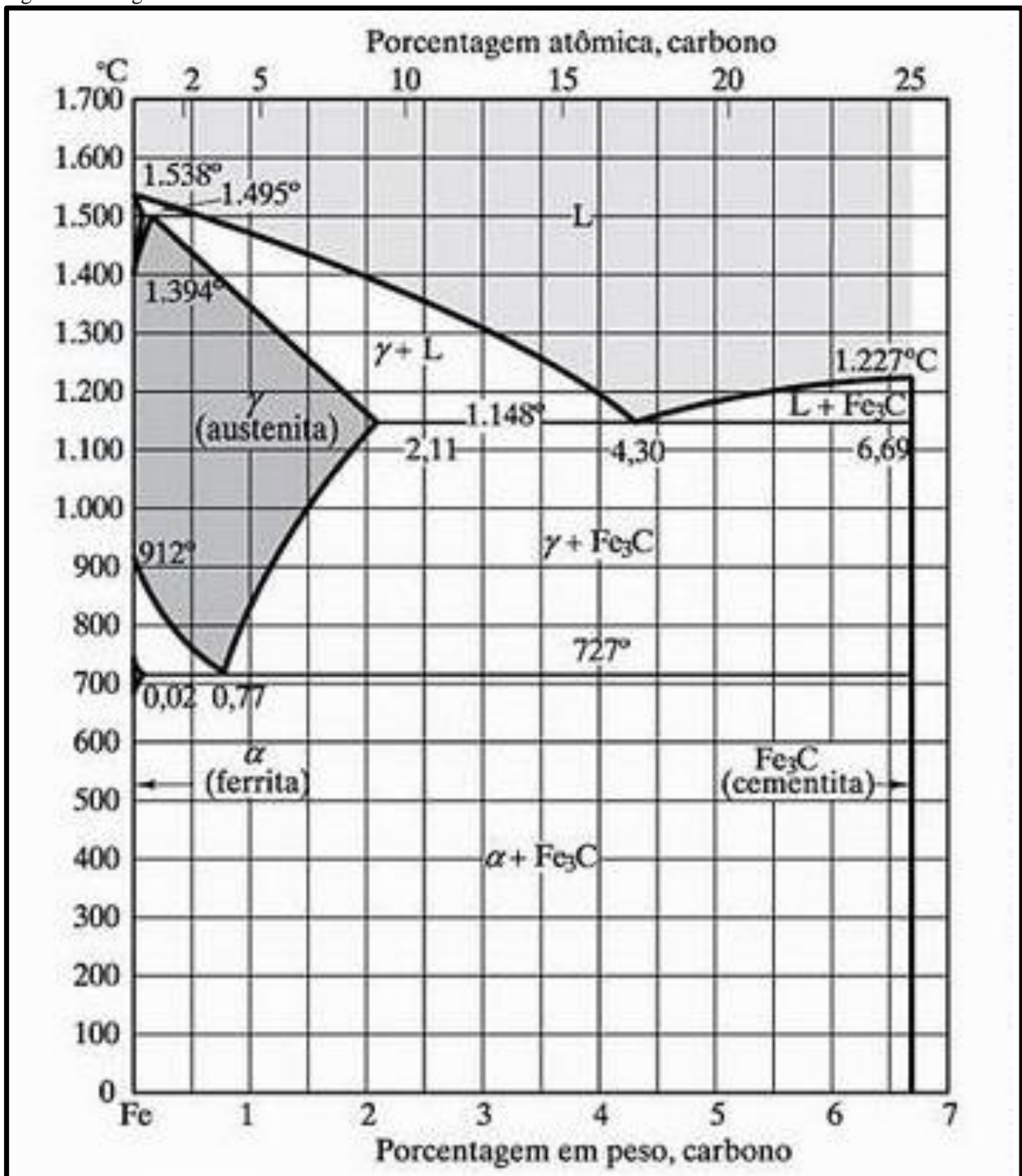
3 PROCESSOS DE ALTERAÇÃO DE CARACTERÍSTICA DO AÇO

O conceito de fabricação de aço carbono definido por Colpaert é de que a presença de carbono durante as principais etapas do processamento usado para obter produtos de ferro também deve ter sido responsável pela observação de que este elemento, adicionado ao ferro, produz importantes efeitos sobre suas propriedades, dando origem às principais ligas de ferro: aços e ferros fundidos.

Sobre a composição dos aços à base de ferro e carbono é importante destacar que os elementos de liga adicionados ao ferro podem estabilizar uma ou outra estrutura, além de formar novas fases importantes, nos aços. A primeira informação importante sobre as possíveis estruturas em uma liga à base de ferro está relacionada, portanto, ao conhecimento do estado de equilíbrio desta liga na temperatura em questão, assim como nas eventuais temperaturas de processamento.

Segundo Colpaert, o modo clássico de apresentar estas informações é sob forma de diagramas de equilíbrio de fases, que podem ser obtidos através de experimentos cujos resultados, coletados e consolidados, são apresentados em diagramas, ou através de cálculos de dados termodinâmicos, como pode-se observar no diagrama abaixo. (COLPAERT, 2008).

Figura 4 – Diagrama Fe-C.



Fonte: (SHACKELFORD, 2008).

É necessário também que alguns procedimentos sejam executados para a obtenção das propriedades e características desejadas, tais procedimentos são denominados como tratamentos térmicos e mecânicos. Estes processos são executados de diversas maneiras, variando de acordo com a temperatura ideal para cada tipo de aço, tempo submetido a essa temperatura, forma como o material se comportou após esses processos, tempo e método de resfriamento. (COLPAERT, 2008).

Os processos de produção nem sempre fornecem materiais de construção nas condições desejadas, por esse motivo, há necessidade de submeter as peças metálicas, antes de serem utilizadas, a determinados tratamentos que objetivem minimizar ou eliminar aqueles inconvenientes. (CHIAVERINI, 1986)

3.1 Tratamentos térmicos

Dentre todos os tipos diferentes de aços, aqueles produzidos em maior quantidade se enquadram dentro da classificação de baixo teor de carbono. Geralmente quando submetidos a tratamentos térmicos estes aços não formam somente a martensita, que é uma microestrutura agulhada que se forma após tratamentos térmicos que visam aumentar a dureza do material. Há um aumento de sua resistência através do trabalho frio e suas microestruturas consistem em ferrita e perlita. A ferrita aparece em maior parte pois é onde se localiza o ferro contido no aço, já a perlita é composta por ferrita e cementita e é onde se encontra o carbono. (GALLO, 2006).

De uma forma geral, os tratamentos térmicos convencionais envolvem aquecimento e resfriamento e compreendem: recozimento, normalização, têmpera e revenimento. (COLPAERT, 2008)

Os tratamentos mencionados são os chamados “tratamentos térmicos”, os quais envolvem operações de aquecimento e resfriamento subsequente, dentro de condições controladas de temperatura, tempo à temperatura, ambiente de aquecimento e velocidade de resfriamento. (GALLO, 2006).

É comum verificar-se que a melhora de uma ou mais propriedades mediante um determinado tratamento térmico é conseguida com prejuízo de outras. Por exemplo, quando se procura aumentar a resistência mecânica e a dureza dos aços obtém-se simultaneamente a diminuição da sua ductilidade. (CHIAVERINI, 1986)

3.1.1 Têmpera

Os procedimentos convencionais de tratamento térmico para produção de aços martensíticos envolvem normalmente o resfriamento rápido e contínuo de uma amostra austenitizada em algum tipo de meio de resfriamento, tal como a água, o óleo ou o ar. As propriedades ótimas de um aço que foi submetido a um processo de têmpera e depois de revenimento podem ser obtidas somente se durante o tratamento térmico por têmpera a

amostra tiver sido convertida para conter um elevado teor de martensita; a formação de qualquer perlita e/ou bainita irá resultar em uma combinação outra que não a melhor combinação de características mecânicas. Durante o tratamento de têmpera, é impossível resfriar a amostra a uma taxa uniforme ao longo de toda a sua extensão; as regiões na superfície irão sempre resfriar mais rapidamente do que as regiões no interior. Portanto, a austenita irá se transformar ao longo de uma faixa de temperaturas, produzindo uma possível variação nas microestruturas e propriedades em função da posição no interior de uma amostra.

O sucesso de um tratamento térmico de aços para produzir uma estrutura predominantemente martensítica ao longo de toda a seção reta do material depende principalmente de três fatores: (1) da composição da liga, (2) do tipo e da natureza do meio de resfriamento e (3) do tamanho e da forma da amostra. (CALLISTER, 2002)

A profundidade de endurecimento e a distribuição de dureza ao longo da seção em uma peça, após a têmpera, dependem da “temperabilidade” do aço, do tamanho e forma da peça, da temperatura de austenitização e do meio da têmpera. (COLPAERT, 2008)

Segundo o manual da Villares Metals, o processo comum de têmpera do aço AISI O1 consiste basicamente nas seguintes etapas: Pré-aquecer a amostra a 400°C; austenitizar em temperatura entre 780 e 820 °C; aquecer até homogeneizar e permanecer nesta temperatura por mais 10 minutos para amostras de até 25 mm de espessura; resfriar em óleo morno com agitação, ou em banho de sal fundido até aproximadamente 150°C, em seguida resfriar ao ar calmo.

Por outro lado, no procedimento de têmpera para o aço AISI D6 o manual em questão indica que as amostras sejam pré-aquecidas lentamente até atingirem 800 °C e depois serem transferidas para outro forno com temperatura entre 930 e 950 °C para espessuras de até 25 mm. Após a homogeneização as peças devem permanecer no forno por até 30 minutos e após seguirem para o resfriamento. No esfriamento por óleo as peças devem ser agitadas até atingirem temperatura entre 300 e 350 °C para depois serem retiradas e esfriadas ao ar até 60 °C quando já se pode segurá-las na mão. (VILLARES METALS, 2021).

3.1.2 Revenimento

As microestruturas martensíticas, diretamente obtidas da têmpera têm, em geral, um nível de tensões residuais excessivo e ductilidade e tenacidade muito baixas para permitir seu emprego na maior parte das aplicações. É necessário realizar um tratamento térmico

subsequente, chamado de revenimento (ou revenido), que produz alterações microestruturais e alivia as tensões decorrentes da têmpera, para que as peças possam ser empregadas.

O revenimento consiste no aquecimento a temperaturas inferiores a temperatura A1 para aumentar a ductilidade e tenacidade e ajustar a resistência mecânica ao nível desejado e promover alívio de tensões. (COLPAERT, 2008).

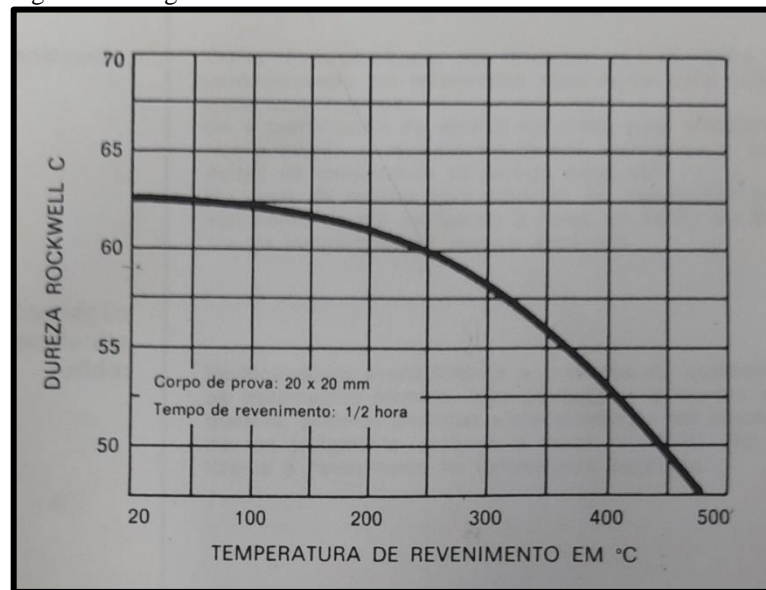
Segundo o que traz Pinedo, o revenimento permite obter uma gama de durezas de serviço mais ampla que a dureza dos aços no estado recozido ou temperado, os extremos da menor e da maior dureza, respectivamente. Com o revenimento, a dureza pode ser selecionada de acordo com a aplicação. Para isso, é necessário determinar, para cada tipo de aço, a sua curva de revenimento, ou seja, a variação da dureza para temperaturas progressivas entre 100 °C e 700 °C. O revenimento é dividido em três tipos, o baixo até 250 °C, o médio até 500 °C e o alto até 700 °C. (PINEDO, 2021).

Um ponto muito importante, no aço O1, é o revenimento. Devido ao seu teor potencial de Austenita retida durante o processo de têmpera e outros fatores provocados por sua liga, o revenimento, neste aço, cresce de importância, não apenas por tratar-se do ajuste final da dureza do processo de têmpera, bem como do alívio de tensões mais graves da têmpera, mas também por ele ser muito susceptível às trincas devido à posterior transformação desta austenita retida em martensita grosseira (e portanto não revenida) o que faz com que o material trinque mesmo em repouso, logo após o tratamento térmico ou dias à frente. (GGD Metals, 2015).

O Tratamento de revenimento não deve nunca ser feito noutra dia e sim quando a ferramenta ainda apresenta entre 100 e 300 °C, logo após a têmpera. Por ser uma fase metaestável a austenita retida além de se estabilizar por um tempo maior ela ao mesmo tempo continua na sua ação de se transformar em martensita grosseira. Costuma-se dizer que: se a temperatura deu para colocar as mãos na peça, o tratamento térmico já está errado, pois teria que revenir antes disto.

O processo comum de revenimento do AISI O1 consiste basicamente nas seguintes etapas: Deve ser realizado imediatamente após a têmpera quando a temperatura atingir cerca de 150 °C; a temperatura de revenimento deve ser selecionada de acordo com a dureza especificada conforme apresenta o diagrama a seguir.

Figura 5 – Diagrama de revenimento do VND.

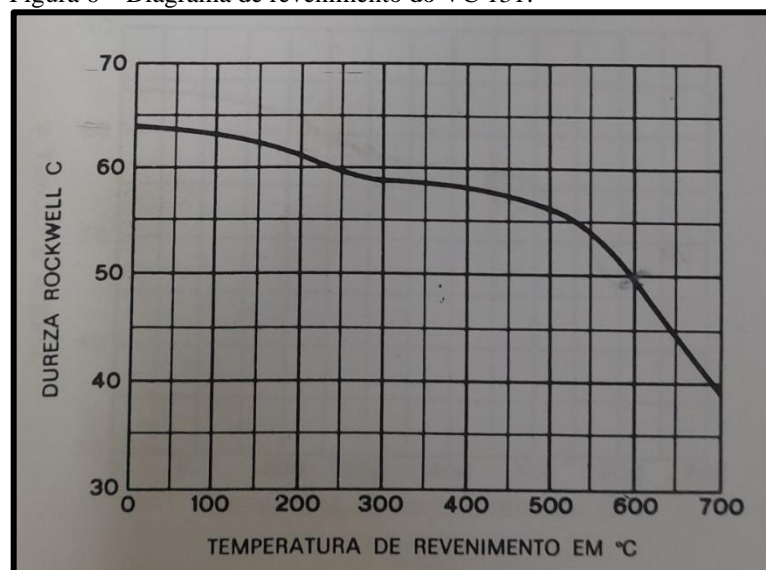


Fonte: Villares metals 2003.

Como este aço não possui endurecimento secundário, deve ser obrigatoriamente revenido em torno de 200°C para durezas entre 59-61 HRC, mas nunca abaixo de 180°C. Manter na temperatura de revenimento por no mínimo 90 minutos para cada 25 mm de espessura. O revenimento duplo é recomendável para uma maior estabilidade dimensional. (GGD Metals, 2015).

O tempo de permanência das peças em encharcamento para cada revenimento deve ser entre 3 a 5 horas. A temperatura ideal do tratamento térmico deve ser escolhida em função da dureza desejada conforme consta no diagrama abaixo.

Figura 6 – Diagrama de revenimento do VC 131.



Fonte: Villares Metals, 2003.

Por fim conforme o manual da Villares, para o aço VC 131 recomenda-se revenimento duplo imediatamente após as peças terem alcançado a temperatura em que elas podem ser seguradas a mão, em torno de 60 °C. O aquecimento para o segundo revenimento só deve ser iniciado após as ferramentas atingirem a temperatura ambiente.

O tempo de permanência das peças em encharcamento para cada revenimento deve ser entre 3 a 5 horas. A temperatura ideal do tratamento térmico deve ser escolhida em função da dureza desejada conforme consta no diagrama abaixo.

4 ENSAIO DE DUREZA

A propriedade mecânica denominada dureza é largamente utilizada na especificação de materiais, nos estudos e pesquisas mecânicas e metalúrgicas e na comparação de diversos tipos de materiais. (CHIAVERINI, 1986).

O ensaio é feito aplicando uma carga sobre a superfície plana do material a ser estudado usando um penetrador esférico ou pontiagudo que tem como função furar o material. O equipamento mede e indica a profundidade ou as dimensões da impressão, as medições seguem diferentes escalas dependendo do tipo de penetrador usado sendo eles esférico, cônico ou piramidal. Os métodos mais utilizados para a determinação de dureza são o método Brinell, Rockwell e Vickers. (GARCIA, 2014).

O ensaio de dureza Brinell é realizado em corpos de alumínio, latão e aço recozido. As cargas são aplicadas utilizando um penetrador de aço temperado de ponta esférica, este tipo de ensaio de dureza por penetração foi proposto por J. A. Brinell em 1900, e este modelo de ensaio é utilizado na Engenharia até os dias atuais. (SHACKELFORD, 2008).

Os ensaios de dureza Vickers são realizados em vários tipos de materiais, esse ensaio de dureza foi introduzido em 1925 por Smith e Sandland e foi batizado com o nome Vickers porque a companhia Vickers-Armstrong Ltda. foi a responsável pela fabricação das máquinas mais conhecidas por operar com esse tipo de dureza. (CHIAVERINI, 1995).

O ensaio de dureza Rockwell é geralmente realizado em corpos de prova de aço temperado. Este tipo de ensaio de dureza foi introduzido em 1922 por Rockwell. Esse ensaio oferece algumas vantagens bastante significativas sobre os demais, o que o faz um tipo de ensaio de extenso uso internacional.

A dureza Rockwell elimina o tempo necessário para a medição de qualquer dimensão causada pela impressão, pois o valor da dureza do material é lido diretamente na máquina de ensaio proporcionando um ensaio mais rápido e menos sujeito a erros humanos. Além disso, utilizando penetradores pequenos, muitas vezes não danifica a peça utilizada como corpo de prova. (GARCIA, 2014).

5 MATERIAIS E METODOLOGIA

A metodologia que será aplicada neste trabalho para a obtenção dos resultados, como já citado anteriormente, passará principalmente por técnicas e equipamentos na aplicação de tratamentos térmicos, preparação metalográfica e ensaios de dureza.

Esta etapa de construção do trabalho se inicia pela seleção do material. Neste trabalho serão usados dois tipos de aço carbono, o AISI O1 e AISI D6 comercialmente mais conhecidos pelas denominações do fabricante Villares Metals por VND e VC 131 respectivamente. Como material de estudo as peças foram devidamente selecionadas e cortadas das mesmas barras para que se mantenha a uniformidade e possibilidade real de comparação com a amostra padrão e aquelas que receberam tratamento térmico. Importante destacar que para a obtenção de resultados mais precisos as amostras devem ter a mesma espessura.

5.1 Operação de corte e lixamento prévio.

De início foram selecionadas as barras de VND e VC 131 identificadas pelo código de cores. O instrumento utilizado para o corte é um cortador de amostras da marca Panambra, modelo Mesotom de disco abrasivo e refrigerado à líquido (óleo solúvel), conforme demonstrado na figura abaixo.

Figura 7 – Cortador de amostras Panambra.



Fonte: O autor.

Foi realizado o corte de quatro amostras de cada material com o comprimento aproximado de 1” (2,54 cm), a espessura do VND é de 2,52 cm e do VC 131 de 2,59 cm, após foi realizado um lixamento prévio com lixa d’água granulação 220 com o objetivo de eliminar os riscos e imperfeições gerados no corte. Em seguida foram selecionadas as amostras padrão de cada aço que servirão de controle e comparação por conta de que não passaram pelos tratamentos térmicos descritos abaixo.

5.2 Tratamentos térmicos de têmpera e revenimento.

Conforme citado no início do trabalho, para que as propriedades do aço sejam modificadas e alcancem as melhores características para a aplicação desejada é necessário que passem por tratamentos térmicos. Para este caso foram realizados a têmpera e o revenimento com o objetivo de obter durezas entre 57 e 62 HRC. Tal faixa de dureza foi selecionada com o objetivo de estudar se os aços principalmente o VND é capaz de atingir níveis de dureza elevada (acima de 57 HRC) para aplicabilidade em ferramentas de corte de alto desempenho, como fresadoras de topo, bits para torneamento, plainas e perfuratrizes que trabalham com aços duros.

Tentando seguir o mais próximo possível os parâmetros da literatura e adequando de acordo com os equipamentos disponíveis e o tempo para a realização dos tratamentos térmicos, a têmpera e o revenimento das amostras foram realizados conforme a tabela a seguir.

Tabela 1 - Parâmetros dos tratamentos térmicos			
TRATAMENTO	PARÂMETRO	AISI O1	AISI D6
TÊMPERA	Pré aquecimento (°C)	0 a 400	0 a 600
	Temperatura (°C)	820	930
	Tempo (minutos)	18	21
REVENIMENTO	Temp. da peça (°C)	120 - 160	150- 200
	Temp. do forno (°C)	150 - 200	180 - 200
	Tempo (minutos)	130	170

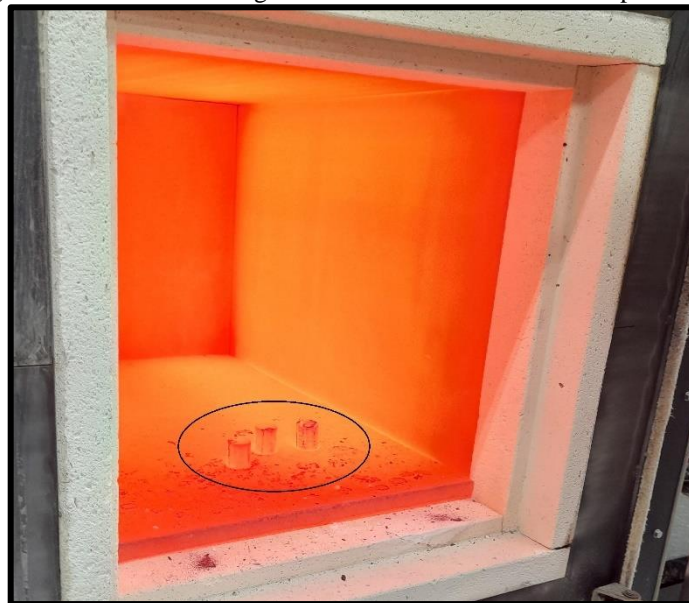
Fonte: O autor.

As temperaturas de pré-aquecimento e homogeneização da têmpera foram determinadas para que os materiais atingissem a austenitização conforme determina a recomendação. O tempo de permanência no forno foi estabelecido de acordo com o tamanho e espessura das amostras e de acordo com a coloração apresentada após a aplicação de calor.

No início do processo de tratamento térmico, as amostras previamente lixadas foram levadas a um forno de pré-aquecimento. As peças dos dois aços entraram a temperatura ambiente e o VND foi pré-aquecido até 400 °C e o VC 131 até 600 °C.

Após esta etapa, por conta da temperatura menor de pré-aquecimento as amostras de VND foram levadas para o forno de têmpera que estava a 820 °C, permaneceram no forno para homogeneização por 18 minutos. Já as peças de VC 131 foram retiradas depois e levadas ao forno na têmpera de 930 °C e permaneceram por 21 minutos, conforme imagem abaixo.

Figura 8 – Amostras homogeneizadas no forno durante a têmpera.



Fonte: O autor.

Ao retirar as peças do forno, elas imediatamente foram resfriadas em banho de óleo próprio para têmpera e foram agitadas até atingirem as temperaturas indicadas no quadro acima. Para o VND entre 120 e 160 °C e para o VC 131 entre 150 e 200 °C, processo realizado com auxílio de termômetro a laser conforme mostrado na figura abaixo.

Figura 9 – Medição de temperatura após o resfriamento.



Fonte: O autor.

Logo em seguida as peças foram levadas para outro forno para a realização do revenimento, a temperatura do forno variou entre 150 e 200 °C. As peças de VND permaneceram por 130 minutos e as de VC 131 permaneceram 170 minutos. A temperatura de revenimento foi definida com base nos diagramas apresentados nas figuras 5 e 6 para que os aços atingissem a mesma faixa de dureza que fica entre 57 e 62 HRC o que é considerado um revenimento baixo, visando durezas mais elevadas.

O tempo de permanência das amostras neste tratamento foi adaptado para que elas pudessem absorver completamente o calor e criar a dureza desejada. Segue abaixo imagem das peças sendo revenidas.

Figura 10 – Peças inseridas na estufa para revenimento.



Fonte: O autor.

É importante destacar que para cumprir o que diz o manual do fabricante, não foi realizado teste de dureza prévio após a têmpera. Esta técnica é utilizada para se ter uma ideia da dureza do material antes do revenimento e tentar adequá-lo para a faixa desejada.

Após o corte e o tratamento térmico as amostras foram devidamente lixadas e polidas de acordo com o procedimento metalográfico. Nesta etapa o instrumento utilizado para o lixamento é uma politriz lixadeira metalográfica automática com dispositivo de acoplamento de amostras da marca Teclago modelo PL02E apresentada na figura a seguir.

Figura 11 – Politriz lixadeira metalográfica Teclago.



Fonte: O autor

Foram usadas lixas de granulação diversa 180, 220, 320, 400 e 600, respectivamente nesta ordem e pano de polimento para a obtenção de superfície mais lisa possível na face da amostra. O tempo de lixamento varia entre 20 e 25 minutos conforme a granulação da lixa, o polimento das amostras foi realizado com abrasivo alumina de 1 μ , e para o acabamento fino foi utilizada alumina de 0,5 μ .

5.3 Ensaio de dureza

No final do processo de testes deste trabalho, as amostras foram submetidas ao ensaio de dureza, para proporcionar a comparação entre os dois aços e entre a amostra de controle e as que foram tratadas quanto a estabilidade do parâmetro, buscando justificar se houve ou não interferência significativa do tratamento térmico nas propriedades mecânicas das amostras estudadas e enxergar a uniformidade dos valores para poder afirmar se um material pode substituir o outro para a aplicação de corte e desbaste de metais duros.

O equipamento que utilizado neste teste foi o durômetro analógico do fabricante alemão WPM, ano de fabricação 1974 mostrado na figura abaixo. O teste consiste em definir uma carga no equipamento para que um penetrador cause dano à amostra. De acordo com a deformação causada na peça o equipamento mostra no display o valor da dureza obtida.

Figura 12 – Durômetro analógico WPM.



Fonte: O autor.

O ensaio de dureza será realizado conforme as normas ABNT NBR ISO 6508-1/2008 e ASTM E18, que abordam a maneira correta de realizar o ensaio de dureza do tipo Rockwell.

Como os tipos de tratamentos térmicos aplicados nas peças têm como característica aumentar a dureza do material e baseando-se nos valores pretendidos o ensaio apropriado é o Rockwell C para as amostras tratadas e Rockwell B para as amostras padrão.

O ensaio Rockwell C consiste em submeter a amostra a uma carga pré-determinada que gerará uma deformação na face da peça utilizando um penetrador cônico de diamante de 120°. A carga utilizada para este teste foi de 150 kgf. Por outro lado, no ensaio Rockwell B a amostra é submetida a uma carga utilizando um penetrador esférico de metal de 1/16". A carga utilizada para este teste foi de 100 kgf.

Para a realização do ensaio é necessário definir os pontos de aplicação do penetrador na peça. Para se obter melhores resultados é interessante que seja feito mais de um teste de dureza em uma mesma amostra. De acordo com as normas supracitadas e visando melhorar os resultados obtendo mais informações, foram feitos cinco ensaios de dureza em cada peça no formato de cruz. Como mostra a figura abaixo.

Figura 13 – Imagens das amostras testadas no ensaio de dureza.



Fonte: O autor.

Os pontos foram divididos em dois eixos A e B, o eixo A foi definido como horizontal e o eixo B como vertical e há também um ponto central, possibilitando estabelecer um lado para amostra, permitindo repetir o teste de maneira uniforme aproximadamente nos mesmos pontos em todas as peças.

Os pontos de penetração do teste estão aproximadamente a 6 mm de distância do centro um do outro e da borda da peça, esta distância se enquadra nos limites mínimos estabelecidos pelas normas supracitadas. A principal justificativa para a execução do teste em

vários pontos é para possibilitar definir uma dureza média para a amostra, estabelecendo um valor mais confiável.

5.4 Análise de Custos

Em relação aos custos de compra dos materiais, a definição fica relativizada por conta de que outras variáveis interferem diretamente no preço do aço. As principais variações ficam por conta de negociações comerciais, que envolvem além do preço a quantidade, disponibilidade, frete, comissão e outros tipos de acordo, além dos demais tipo de fabricação dos aços.

Porém por entender que este é um assunto relevante quando se trata de seleção de materiais foi feito um levantamento genérico sem aprofundamento porém que trouxe um norte sobre os custos. Em geral, pela razão de ser um material que possui mais elementos de liga e que pode garantir desde o início uma melhor estabilidade de propriedades, o VC 131 tende a ser mais caro que o VND em torno de 20%, levando se em consideração serem do mesmo fornecedor.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A dureza de um material se define pela capacidade de resistência quando ele sofre uma carga. Essa dureza é medida através da deformação gerada pela carga aplicada. Para tanto é necessário analisar o material previamente para que se possa submetê-lo à técnica mais adequada.

O método de teste de dureza realizado nas amostras estudadas neste trabalho se sucedeu conforme explicado no capítulo sobre metodologia, item 6.4. Os resultados obtidos para cada teste individual, a amostra testada e a localização da penetração estão apresentadas na tabela a seguir.

Tabela 2 - Resultados do Ensaio de Dureza					
AÇO	PONTO	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	PADRÃO
AISI O1	CENTRO	60	61	61	91
	2	58	60	61	92
	3	59	58	61	93
	4	61	58	61	92
	5	60	60	61	92
AISI D6	CENTRO	59	60	60	96
	2	60	59	59	97
	3	56	60	62	97
	4	60	60	58	96
	5	61	60	59	96
ENSAIO		HRC			HRB

Fonte: O autor.

Com os dados informados na tabela acima podemos montar os gráficos para visualizar o nível dos desvios dos valores obtidos nos testes de dureza para cada ponto testado entre os dois tipos de aço.

Gráfico 1 - Resultados de ensaio de dureza Rockwell C no VND.

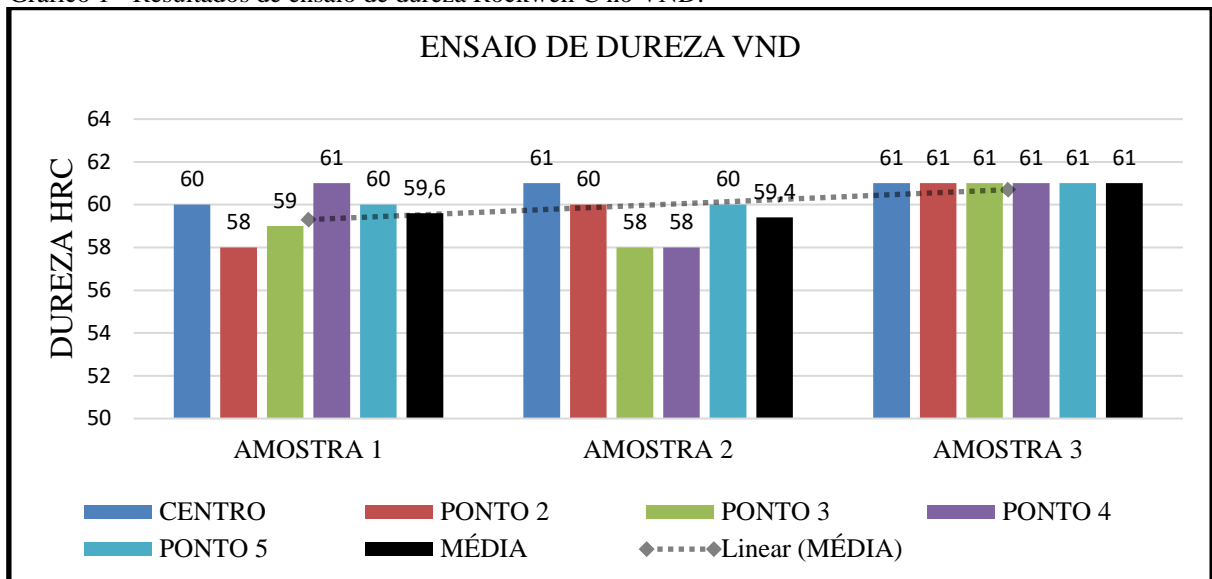
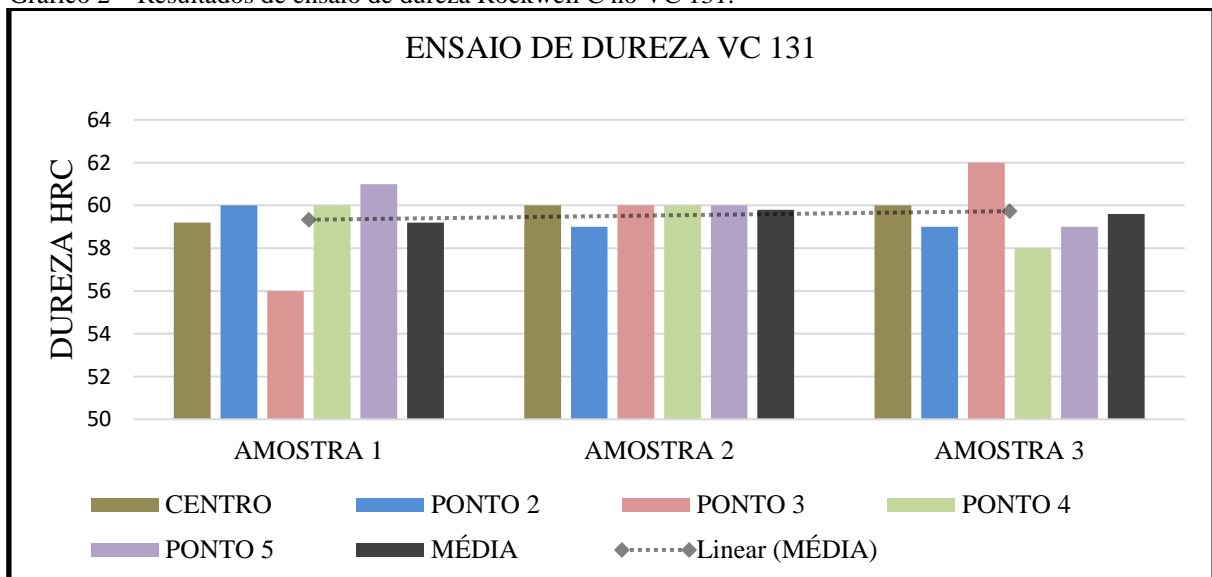


Gráfico 2 – Resultados de ensaio de dureza Rockwell C no VC 131.



Baseando-se nessas informações pode se deprender que a variação dos valores obtidos entre os pontos testados do mesmo aço mostra-se uniforme. Comprovando que a aplicação dos tratamentos térmicos foi efetiva e bem-sucedida e que a média de dureza dos aços está dentro da faixa pretendida para a aplicação indicada.

Em relação a comparação entre um aço e outro podemos verificar que os valores de dureza estão próximos, isto nos diz que em relação a esta propriedade, que é a mais importante medida para se determinar a fabricação de uma ferramenta de corte a frio, o aço VND pode substituir o VC 131 quanto a este desempenho específico.

Porém é importante destacar que a composição dos aços é diferente e as ligas adicionadas ao VC 131 trazem algumas outras melhorias de propriedade em detrimento do VND, por exemplo uma maior resistência ao desgaste e à abrasão de ferramenta, devido à alta presença de Cromo e Tungstênio e a presença de Molibdênio em porcentagens significativas.

Esta informação traz embasamento quanto ao preço do material. Como informado acima a diferença fica em torno de 20% a mais na compra do AISI D6, obviamente fazendo uma ressalva quanto ao fornecedor e outras variáveis comerciais já elencadas.

7 CONCLUSÃO

Ante o exposto ao longo do trabalho e focando nos dados obtidos nos testes de dureza, nas propriedades de cada aço e na análise de custos podemos concluir que em relação a comparação dos aços AISI O1 e AISI D6 ela é possível desde que estes sejam submetidos aos tratamentos térmicos de têmpera e revenimento.

Importante destacar que os parâmetros destes tratamentos devem estar bem alinhados com a literatura e com os manuais técnicos fornecidos pelos fabricantes, para que possa gerar confiabilidade no processo e na metodologia aplicada, mesmo que utilizando de certas adaptações é necessário que os valores sejam próximos e direcionados.

Em relação a dureza obtida nos testes destaca-se que por conta do desempenho dos equipamentos utilizados nos tratamentos e nos testes foi possível uniformizar os valores e fazer com que o VND esteja próximo do VC 131.

Quanto a esta propriedade podemos afirmar que se pode fazer a utilização de um em detrimento do outro, inclusive por conta de que as aplicações comuns para os dois tipos de aço são praticamente as mesmas.

Porém é importante ressaltar que temos duas variáveis significativas que devem ser levadas em consideração para determinar a substituição, os custos de compra e a durabilidade do material. As demais variáveis como custo de realização dos tratamentos térmicos e a modificação do aço para fabricação da ferramenta é irrelevante pois é praticamente o mesmo para os dois aços.

Como informado acima o custo de compra do AISI D6 gira em torno de 20% maior do que o do AISI O1, porém esta margem varia de acordo com o fabricante, quantidade ou condições comerciais.

Noutro passo a durabilidade se explica devido a composição básica dos materiais. O VC 131 possui maior adição de elementos de liga e maior porcentagem por peso de Cromo e Tungstênio, além da presença do Molibdênio, elementos estes que proporcionam maior estabilidade dimensional, menor desgaste ao uso e maior resistência à abrasão.

Por fim neste caso sugere-se que para a realização da substituição seja feito um estudo de caso para a aplicação específica para possibilitar a verificação se o investimento compensará em relação ao desempenho, levando se em conta também a frequência de reposição e as possíveis falhas suscetíveis às ferramentas de alto desempenho de corte a frio.

Portanto podemos afirmar finalmente que o VND poderá substituir o VC 131 em relação ao desempenho da dureza, porém os casos devem ser abrangidos para buscar outras variáveis que englobam o processo de substituição.

Para a sequência deste trabalho e sugestão de temas futuros podem ser desenvolvidos trabalhos que experimentem a fabricação e teste de ferramentas prontas para o acompanhamento e medição de desempenho de aplicação e durabilidade.

REFERÊNCIAS

- AÇO ESPECIAL. **Do que se trata o aço VND?** Aço Especial 2019. Disponível em: <<https://www.acoespecial.com.br/acovnd#:~:text=O%20a%C3%A7o%20VND%20%C3%A9%20aquele,e%20demais%20instrumentos%20de%20medi%C3%A7%C3%A3o.>>. Acesso em: 27 fev. 2022.
- CALLISTER, Willian D. **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma introdução.** 5.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.
- CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica: Materiais de construção mecânica.** 2.ed. São Paulo: McGraw-Hill Ltda., 1995.
- CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica: Processos de fabricação e tratamento.** 2.ed. São Paulo: McGraw-Hill Ltda., 1986.
- COLPAERT, Hubertus. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns.** 4. ed. São Paulo: Blucher, 2008.
- GALLO, Giulliano B. **Influência do tratamento térmico sobre a tenacidade de um aço AISI 1045 com médio teor de carbono, avaliada por ensaios de impacto.** UNESP - Universidade Estadual Paulista, 2006. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/97094>>. Acesso em: 2 mar. 2018.
- GARCIA, Amauri; SPIM, Jaime A.; SANTOS, Carlos A. dos. **Ensaio dos materiais.** 2.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.
- GERDAU. **Manual de aços edição atualizada.** Gerdau Aços Finos Piratini 2003. Disponível em: <https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/maprotec/catalogo_aços_gerdau.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2022.
- GGD METALS. Aços ferramenta. GGD Metals 2015. Disponível em: <https://www.ggdmetals.com.br/produtos/acosferramenta/?gclid=EAIaIQobChMIp5zBiMGR-AIVGYbICh2oPAHDEAAYASAAEgKthvD_BwE>. Acesso em: 04 abr. 2022.
- PINEDO, Carlos Eduardo. **Tratamentos térmicos e superficiais dos aços.** 1.ed. São Paulo: Blucher, 2021.
- PKM AÇOS. **Aço VC 131.** PKM Aços 2016. Disponível em: <<https://www.pkmacos.com.br/aco-vc131>>. Acesso em: 27 fev. 2022.
- SHACKELFORD, James F. **Ciência dos materiais.** Tradução Daniel Vieira. 6.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.
- SMART EDGE. **Soluções para usinagem.** Smart Edge 2021. Disponível em: <<http://www.smartedge.com.br/>>. Acesso em: 01 mar. 2022.

VILLARES METALS. **Ficha técnica VC 131 Aço para trabalho a frio.** Villares Metals 2021. Disponível em: <<https://www.villaresmetals.com.br/pt/villares/Downloads>>. Acesso em: 22 fev. 2022.

VILLARES METALS. **Ficha técnica VND Aço para trabalho a frio.** Villares Metals 2003. Disponível em: <<https://www.villaresmetals.com.br/pt/villares/Downloads>>. Acesso em: 22 fev. 2022.