

ENSAIO DE CEMENTAÇÃO EM CAIXA DE UM AÇO SAE 1020*

João Vitor da Silva Pinto
Pedro Paulo Nunes Maia
Soraia Karolinne Castro Silva
Marcelo José Gomes da Silva

Resumo

O atendimento das propriedades mecânicas das barras de aço produzidas via o processo de laminação a quente é um ponto indiscutível no quesito qualidade do material, e também uma obrigatoriedade. Para que seja possível esse atendimento das propriedades, existem alguns meios que são utilizados de acordo com o layout do processo ou a composição química do aço, como o Thermex®, que consiste de um resfriamento brusco na área superficial das barras de aço, através do contato com um turbilhão de água por um intervalo curto de tempo. Esse resfriamento superficial brusco faz com que a estrutura cristalina do aço sofra deformações e forme uma estrutura martensítica superficial, bastante resistente e dura. Dessa forma, o presente trabalho utiliza-se de técnicas para caracterização de fases, ensaios mecânicos de tração e microdureza, para identificar e analisar a influência da martensita, formada através do processo Thermex®, nas propriedades mecânicas das barras de aço.

Palavras-chave: Laminação a quente; Martensita; Thermex; Barras de aço.

SAE 1020 STEEL BOX CARBURAZING

Abstract

Attention to the mechanical properties of the steel bars produced by the hot rolling process is an indisputable point in the quality of the material, and also a requirement. In order to achieve this, there are some means that are used according to the process layout or the chemical composition of the steel, such as Thermex®, which consists of abrupt cooling in the surface area of the steel bars, through contact with a whirlwind of water for a short time. This abrupt surface cooling causes the crystalline structure of the steel to undergo deformation and form a very strong and hard surface martensitic structure. Thus, the present work uses techniques for phase characterization, mechanical tensile tests and microhardness tests to identify and analyze the influence of martensite formed by the Thermex® process on the mechanical properties of steel bars.

Keywords: Hot rolling; Martensite; Thermex; Steel bars..

¹ Graduando em Engenharia Metalúrgica, Bolsista PIBIC-CNPq no Laboratório de Caracterização de Materiais – LACAM, Universidade Federal do Ceará (UFC), Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Fortaleza, Ceará, Brasil.

² Graduando em Engenharia Metalúrgica, Bolsista PIBIC-CNPq no Centro de Ensaios Não Destrutivos – CENDE, Universidade Federal do Ceará (UFC), Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Fortaleza, Ceará, Brasil.

³ Bacharel em Ciências Contábeis – UFC, Graduanda em Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal do Ceará (UFC), Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Fortaleza, Ceará, Brasil.

⁴ Doutor em Engenharia Metalúrgica, Engenheiro Nuclear, Docente, Universidade Federal do Ceará (UFC), Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais, Fortaleza, Ceará, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Tratamentos Termoquímicos

Os tratamentos termoquímicos têm como objetivo a introdução, através da difusão, de elementos de liga na superfície da amostra à ser tratada. Para que os processos difusionais, responsáveis pela efetivação do tratamento, sejam ativados, o meio no qual a amostra está submetida deve apresentar uma elevada temperatura (500 °C a 1000 °C) e uma alta concentração do elemento que se deseja introduzir na superfície da amostra (COSTA & SILVA, 2006).

O principal objetivo desses tratamentos é o aumento da dureza da superfície do material. Esta propriedade, em conjunto com a ductilidade do núcleo do material, proporcionará uma excelente performance em aplicações que exigem elevada tenacidade combinada com alta resistência ao desgaste.

Os processos termoquímicos são nomeados em função do elemento que será difundido na amostra. Entre esses processos, os mais comuns são: Cementação, Nitretação, Cianetação, Carbonitretação e Boretção.

1.2 Cementação

A cementação é um tratamento termoquímico antigo e bastante conhecido. O desenvolvimento tecnológico permitiu que, ao longo dos anos, diferentes técnicas para realização desse tratamento fossem desenvolvidas.

No processo de cementação, carbono será introduzido na superfície da amostra possibilitando o seu endurecimento através de têmpera.

O tratamento é realizado em aços com baixo teor de carbono a temperaturas superiores à A3 para garantir que a amostra apresente uma matriz austenítica durante os processos difusionais (CHIAVERINI, 2003).

É importante garantir a austenitização da amostra durante o tratamento pois a solubilidade de carbono na austenita pode vir a ser maior que o dobro da solubilidade de carbono na ferrita (COSTA & SILVA, 2006). Além disso, temperaturas elevadas aumentarão a taxa de difusão do carbono na amostra aumentando, desse modo, a profundidade de cementação para um determinado tempo de tratamento (CHIAVERINI, 2003). Essa relação pode ser observada na Figura 1.

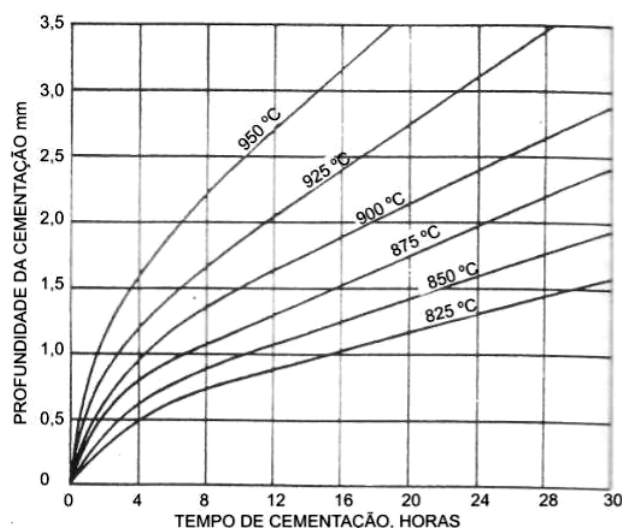


Figura 1. Influência do tempo e da temperatura na penetração superficial de carbono. Fonte: CHIAVERINI (2003).

A adição de átomos de carbono na superfície do material elevará o teor de carbono dessa região até 0,8% ou 1,0%. Conseqüentemente, a temperabilidade da superfície aumentará consideravelmente enquanto que a do núcleo permanecerá baixa. Desse modo, quando temperada, a amostra sofrerá transformação martensítica apenas na sua superfície enquanto o núcleo permanecerá dúctil (CHIAVERINI, 2003).

Observa-se que, para que seja obtido sucesso nesse tratamento, a amostra deverá apresentar um baixo teor de carbono inicial pois é necessário garantir que o núcleo não se torne duro e mantenha sua ductilidade após a têmpera. Além disso, quanto menor for o teor de carbono, maior será a velocidade de cementação.

Outro fator fundamental nesse processo é a natureza do meio desse tratamento. A cementação pode ser realizada em meio sólido, composto por carvão e outros agentes carbonetantes, em meio líquido, composto por sais fundidos, ou em meio gasoso, composto por gases cementantes como o propano e o butano. Além desses três métodos mais convencionais, a realização de cementação a plasma também é uma opção.

1.3 Cementação Sólida ou em Caixa

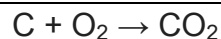
Nesse processo, as amostras e uma mistura carburizante são depositadas em uma caixa metálica que será submetida à temperatura desejada para o tratamento.

As misturas carburizantes são, simplificada, compostas por carvão vegetal, coque, óleo vegetal e substâncias ativadoras. O carvão vegetal, como fonte de carbono, é mais eficiente que o coque, porém, o coque apresenta certas vantagens como o elevado poder calorífico que este apresenta. Misturas carburizantes mais eficientes costumam apresentar uma combinação de carvão vegetal com coque (ASM Handbook, 1991).

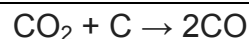
As substâncias ativadoras citadas anteriormente são carbonatos cuja função é aumentar a velocidade de fornecimento de CO, pois esse gás atuará como agente supridor de carbono. Os carbonatos mais utilizados são o carbonato de bário, o carbonato de sódio e o carbonato de cálcio.

De acordo com Chiaverini (2003), o processo de cementação ocorre do seguinte modo:

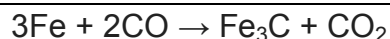
- A elevada temperatura, o carvão irá interagir com o oxigênio do ar da seguinte maneira:



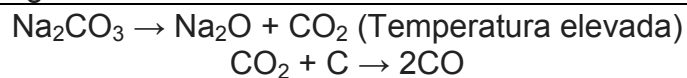
- O CO₂ reagirá com o carvão incandescente:



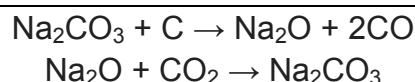
- O CO produzido reagirá com a superfície da amostra de aço:



- O ciclo se repetirá enquanto o carbonato ativador auxiliará no fornecimento de CO da seguinte forma:



E ainda:



O óleo vegetal adicionado na mistura irá auxiliar na aglomeração de finos. Diversos tipos de misturas são utilizados nesse processo. Chiaverini (2003) dá um exemplo de mistura formada por 70% a 90% de carvão vegetal, 5% a 20% de carbonato de bário e 5% a 10% de óleo de linhaça. Colpaert (1974) cita o cimento de Caron cuja composição é de 40% de carbonato de bário e 60% de carvão vegetal.

O processo de cementação em caixa é um método rústico que, apesar de apresentar vantagens econômicas, é tecnologicamente bastante inferior aos outros métodos. Na cementação em caixa, o teor de carbono da superfície não pode ser controlado com precisão e a uniformidade da camada cementada é bastante prejudicada. Além disso, a manipulação da amostra para a realização da têmpera é bastante dificultada nesse processo.

Ademais, o êxito do tratamento dependerá do teor de CO do meio no qual a amostra de encontra (CHIAVERINI, 2003). Na figura 2 essa dependência pode ser observada. Na maioria dos casos, a cementação em caixa é realizada de maneira rústica buscando pequenas despesas e, por esse motivo, o controle do teor de CO é raramente realizado.

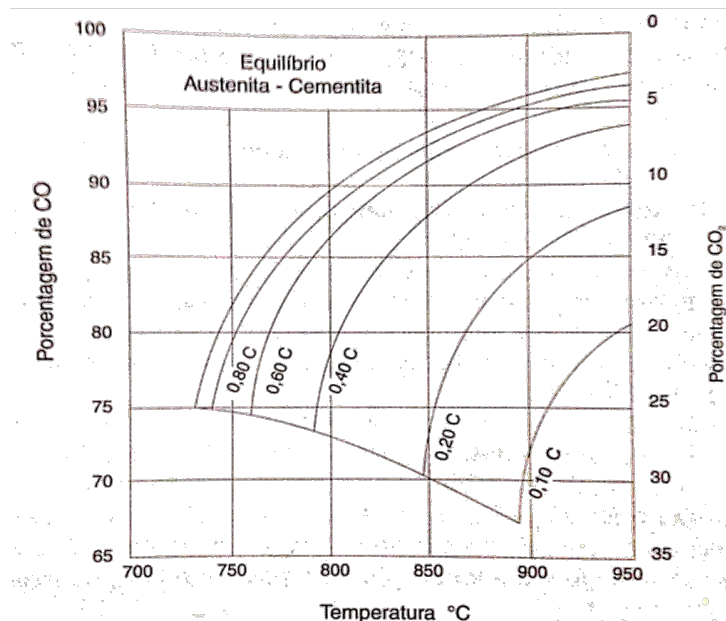


Figura 2. Curvas representativas da capacidade de cementação de aços com diferentes teores de carbono por misturas de CO e CO₂ em função da temperatura. Fonte: CHIAVERINI (2003).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Com objetivo de analisar a influência do aumento da dureza de um aço SAE 1020, após um ensaio de cementação em caixa, foram utilizados os materiais, equipamentos e procedimentos descritos nos tópicos a seguir.

2.1 Materiais

Os materiais utilizados nesta pesquisa estão listados abaixo:

- i. Aço SAE 1020 (~ 61g) de bitola 22 mm. Composição química descrita na Tabela 1.
- ii. Lixas e panos de polimento para preparação metalográfica;

- iii. Alumina (Al_2O_3);
- iv. Nital 2% (2ml HNO_3 + 98ml Álcool Etílico);
- v. ~~Cadinho de Grafita~~, Caixa de Aço;
- vi. Coque Betuminoso (~ 41,5 g);
- vii. Carvão Vegetal (~ 166 g);
- viii. Carbonato de Sódio (~ 83g);
- ix. Óleo Vegetal (~ 50 mL)

Tabela 1. Composição Química SAE 1020 CR (%). Fonte: LACAM.

C	Mn	Si	S	P	Fe
0,20	0,48	0,12	0,01	0,02	99,17

2.2 Equipamentos

- i. Espectrometro PDA-7000;
- ii. Balança de precisão;
- iii. Embutidora Aerotec;
- iv. Lixadeira e politriz Aerotec;
- v. Microscópio ótico Zeiss Imager.M2m com software integrado AxioVision;
- vi. Microdurômetro Shimadzu HMV-2
- vii. Forno Mufla.

2.3 Procedimentos

Inicialmente, a amostra como recebida passou por uma análise química de composição, seguida, por uma preparação metalográfica (lixamento de 100 a 1200 mesh e polimento com alumina de $1\mu\text{m}$), e depois por um ataque com Nital 2%. Em seguida, foi realizada uma análise micrográfica e por um ensaio de perfil de microdureza na amostra antes do tratamento.

Os materiais utilizados para realizar a mistura carburante foram: coque betuminoso, carvão vegetal, carbonato de sódio e óleo vegetal, pesados de acordo com o sugerido por Colpaert (1974).

A mistura foi posta em uma caixa de aço, com dimensões adequadas ao forno, e a caixa foi colocada em forno mufla previamente aquecido a $\sim 920^\circ\text{C}$, como pode ser visto na Figura 3.



Figura 3. Caixa de aço colocada em forno mufla a 920°C. Fonte: Autor.

Após 4 horas de tratamento térmico, a caixa de aço foi retirada do forno e a amostra, imersa na mistura carburante, foi imediatamente coletada e submetida a uma tempera em água.

Posteriormente, foi realizada um corte na sessão transversal e longitudinal, e as amostras foram submetidas a uma nova análise química superficial, preparação metalográfica, seguida de ataque e micrografia, e ensaio de perfil de microdureza, afim de observar as diferenças entre as propriedades mecânicas e microestruturais do aço, como recebido e cementado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a análise da amostra como recebida e cementada, foram obtidos os resultados descritos nos tópicos a seguir.

3.1 Análise da Microestrutura

Para observar as microestruturas das amostras Como Recebida (CR) e Cementada (CMT), foram feitas micrografias no microscópio óptico Zeiss, com software integrado AxioVision.

Nas amostras CR, foi observada em toda região da amostra, a presença preferencial de ferrita proeutetóide (regiões claras), já esperada por ser um Aço SAE 1020, e de perlita, nas regiões escuras. Os resultados da análise da amostra CR podem ser vistos nas Figuras 4, 5 a seguir.

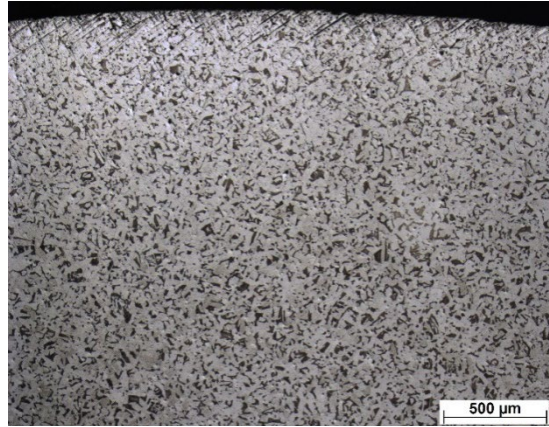


Figura 4.Micrografia borda amostra CR (Aumento 50x). Fonte: Autor.

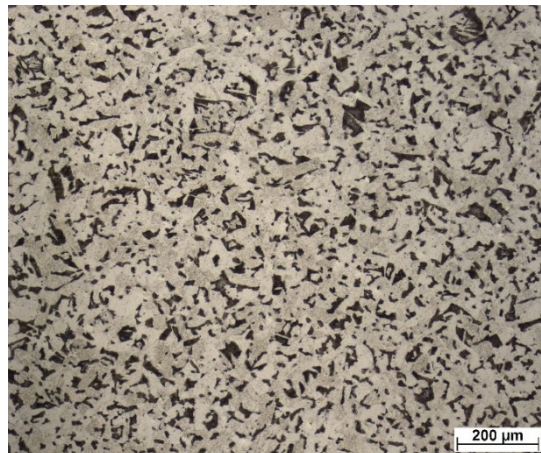


Figura 5.Micrografia borda amostra CR (Aumento 100x). Fonte: Autor.

Já a Figura 6 a seguir, foi obtida a partir da análise da amostra CMT, temperada em água.

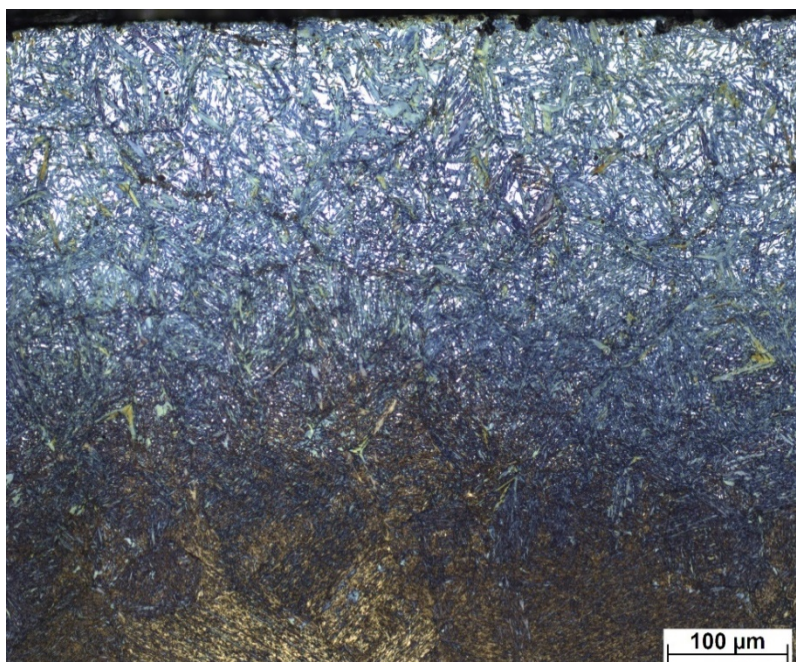
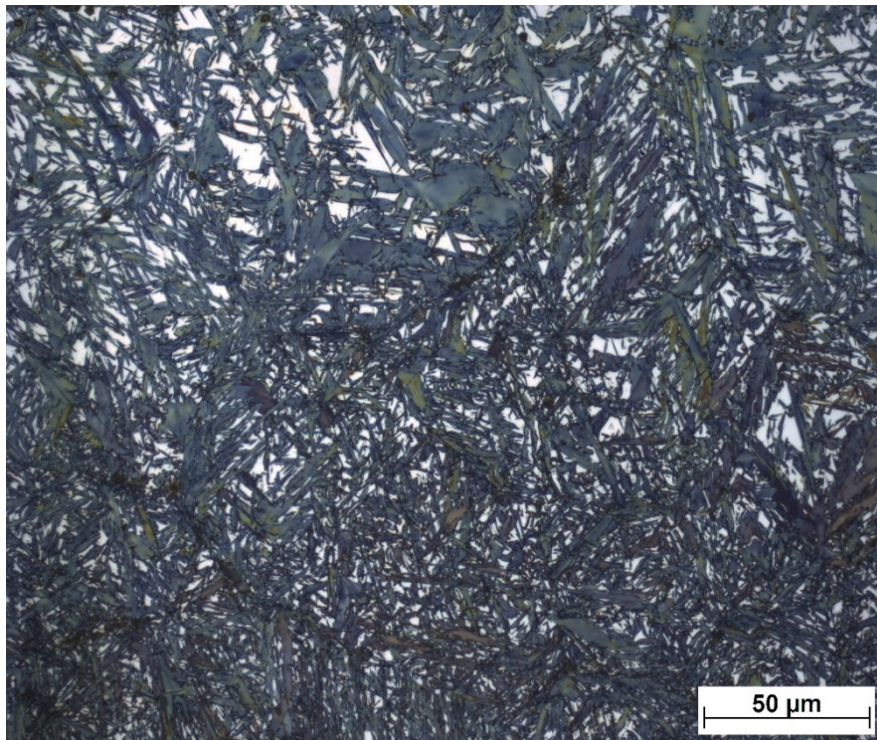


Figura6.Micrografia borda amostra CMT (Aumento 200x). Fonte: Autor.

É possível ver a presença de martensita X na borda (região cementada), seguida de uma mudança de microestrutura gradual da borda ao núcleo, mas mantendo-se a microestrutura martensítica Y, ocasionada pela tempera em água realizada após tratamento a $\sim 920^{\circ}\text{C}$.

Nessa análise, mediu-se a região A para se verificar a penetração do carbono da estrutura do aço, obtendo-se um valor de aproximadamente $325\ \mu\text{m}$ ($0,325\ \text{mm}$), porém esperava-se uma penetração entre 1 e $1,5\ \text{mm}$, de acordo com o Figura 1, que apresenta a influência do tempo e da temperatura na penetração superficial de carbono.

Na Figura 7, pode-se observar com mais detalhes a microestrutura martensítica formada na borda e no centro da amostra CMT.



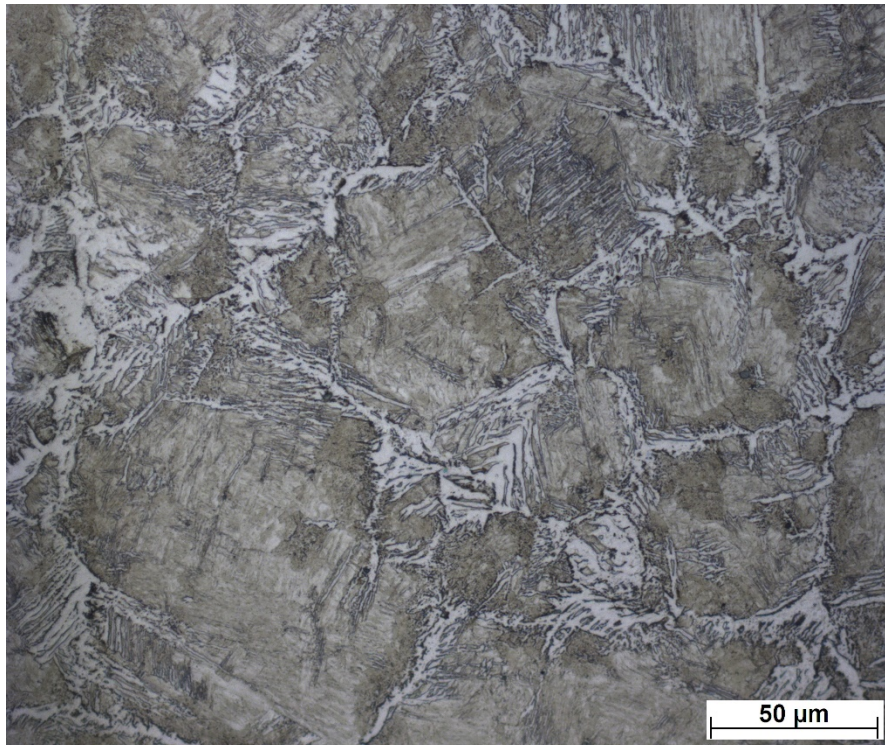


Figura7.Micrografia borda (a) e centro (b) amostra CMT (Aumento 500x). Fonte: Autor.

Também foi realizada uma macrografia, onde é possível observar uma borda/aureola mais escurecida, onde houve penetração de carbono, com um núcleo acinzentado, de acordo com a Figura 8.



Figura8.Macrografia CMT. Fonte: Autor.

3.2 MicrodurezaVickers

A microdurezaVickers foi medida com auxílio do microdurômetroShimadzu, na amostra CR e CMT, sendo feitas as medições da borda da barra ao centro, com carga de 9,81 N, por 10s, obtendo-se o resultado apresentado no Figura 9 abaixo.

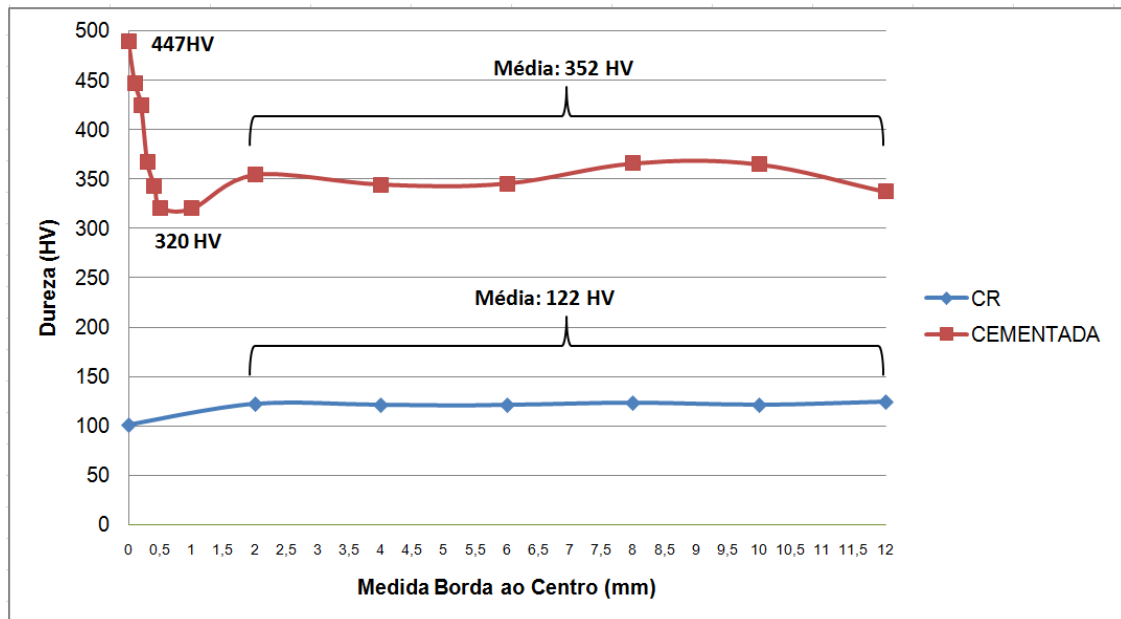


Figura9. Microdureza CRxCMT. Fonte: Autor.

De acordo com o Gráfico de microdureza, tem-se que a amostra CR possuía microdureza média de 122 HV, distribuída uniformemente ao longo da amostra. Em contrapartida, após tratamento de cementação em caixa, seguido de tempera em água, houve um aumento acentuado da microdureza na borda da amostra, chegando a 447 HV, aumento de ~4,5 vezes em relação a amostra CR, caindo para 320 HV depois de percorridos aproximadamente 0,4 mm (medida aproximada da aureola martensítica formada na microestrutura).

Entre 1,5 mm e o centro da amostra, a microdureza mantém-se uniforme de 352 HV, aumento de ~3 vezes em relação a amostra CR, pois houve transformação martensítica independente do tratamento de cementação realizado.

3.2 Análise Química

Utilizando o Espectrometro PDA-7000, foi realizada uma nova análise química na região superficial da amostra cementada, para se analisar o nível de aumento do teor de carbono e demais elementos, chegando-se ao resultado apresentado na Tabela 2.

Tabela 1. Composição Química SAE 1020 CR (%). Fonte: LACAM.

C	Mn	Si	S	P	Fe
0,20	0,48	0,12	0,01	0,02	99,17

Tabela 2. Composição Química SAE 1020 CMT (%). Fonte: LACAM.

C	Mn	Si	S	P	Fe
0,42	0,65	0,18	0,01	0,02	98,65

Comparando ambas composições, é visível um aumento do teor de carbono nas extremidades da amostra de 0,20%C para 0,42%C, característico do tratamento sofrido, seguido de um pequeno aumento no teor de Mn, de 0,48%Mn para 0,65%Mn. Nos demais elementos praticamente não foi observado variação.

4 CONCLUSÃO

Foi possível a introdução de carbono na matriz ferrítica através desse método, atestado e aferido pelas micrografias e ensaio de microdureza, além de reforçado com uma análise química, que nos mostra que a quantidade de carbono na superfície da amostra mudou com o processo.

Também foi concluído que o tempo de processamento, no caso as 8 horas que durou o processo, foi suficiente para criar uma camada de 1 mm de espessura. Com essa cinética, para produzir camadas maiores, precisaria de muito mais tempo, já que a cinética de difusão segue uma equação exponencial.

Concluiu-se também que esse método é rústico, mas bastante eficaz para peças na qual não se requer uma grande penetração de carbono na superfície.

Agradecimentos

Para a realização deste trabalho agradecemos ao auxílio do Laboratório de Caracterização de Materiais – LACAM, por nos ceder espaço e estrutura para preparação das amostras e microscópios; ao Laboratório de Fundição – LAF, por nos ceder os EPI's necessários e o cadinho; ao Laboratório da Professora Janaína, por nos ceder o coque e o carvão vegetal; ao Laboratório de Saneamento – LABOSAN, por nos ceder o forno mufla; especialmente ao Lorinho, por confeccionar uma caixa de aço, pois sem ela não teríamos conseguido realizar o ensaio. E a todos os professores, bolsistas e voluntários que de alguma forma contribuíram para esta realização.

REFERÊNCIAS

- 1 COLPAERT, H. **Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns**. 3ª ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1974.
- 2 CHIAVERINI, V. **Tratamentos Térmicos das Ligas Metálicas**. São Paulo: Associação Brasileira de Metais, 2003.
- 3 SILVA, A. L., MEI, P. R. **Aços e Ligas Especiais**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.
- 4 ASM HANDBOOK. **Vol. 04 HeatTreating**. ASM International The MaterialsInformationCompany, 1991.
- 5 SOUZA, B. M. G. **Avaliação das Diferenças nos Perfis Experimentais de Dureza e nas Concentrações Teóricas de Carbono em Função da Geometria da Peça Cementada**. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2016.