



EVALUATION OF GREEN COCONUT SHELL AS A CARBURIZER FOR CEMENTATION PROCESS IN SAE 1020 LOW CARBON STEEL

De Sousa, D.D. – *Federal University of Maranhão*

denise.ds@discente.ufma.br

Miranda, N.T. – *Federal University of Maranhão*

nahieh.miranda@ufma.br

Cruz, G. – *Federal University of Maranhão*

cruz.glauber@ufma.br

Rezende, A.B. – *Federal University of Maranhão*

andrei.rezende@ufma.br

Av. dos Portugueses, 1966 - Vila Bacanga, São Luís - MA, 65080-805

RESUMO

Este estudo avaliou a viabilidade do uso da biomassa de coco verde como agente cimentante do aço SAE 1020, com base em ensaios de dureza e análise de superfície. Seis amostras foram submetidas a diferentes condições de cimentação. O carvão vegetal da casca do coco verde foi utilizado como agente cimentante, com a adição de Na_2CO_3 como catalisador. Os testes de dureza mostraram resultados satisfatórios, com a amostra de carvão de coco verde e catalisador tendo atingido o valor de dureza mais elevado de 308,9 HV. As imagens de microscopia ótica revelaram camadas cimentadas homogêneas e transições claras entre a camada endurecida e o núcleo macio, especialmente nas amostras com tempos de tratamento mais longos. Estes resultados sugerem que o uso do coco verde como agente cimentante é uma alternativa promissora e sustentável para a cimentação do aço SAE 1020.

Palavras-chave: cimentação, reflorestamento homogêneo, biomassa, sustentabilidade

ABSTRACT

This study evaluated the feasibility of using green coconut biomass as a cementing agent for SAE 1020 steel, based on hardness tests and surface analysis. Six samples were subjected to different cementation conditions. Green coconut shell charcoal was used as the cementing agent, with the addition of Na_2CO_3 as a catalyst. The hardness tests showed satisfactory results, with green coconut shell charcoal as carburizer and catalyser achieving the highest hardness value of 308.9 HV. Optical microscopy images revealed homogeneous cemented layers and clear transitions

between the hardened layer and the soft core, especially in samples with longer treatment times. These findings suggest that using green coconut as a cementing agent is a promising and sustainable alternative for the cementation of SAE 1020 steel.

Keywords: Cementation, homogeneous reforestation, biomass, sustainability.

1 INTRODUÇÃO

Impulsionadas pela competitividade do mercado, as revoluções industriais, marcadas pela exploração dos recursos da natureza, deixaram como legado as mudanças climáticas, a geração de resíduos e o desmatamento. Atualmente, essas questões são tratadas com urgência, destacando a necessidade de um mundo mais sustentável. A busca por uma produção mais limpa encontra nas biomassas uma aliada, que ao serem integradas às cadeias produtivas, reduzem impactos ambientais e promovem a economia circular, dando novo uso a produtos que seriam descartados (1) (2).

Geralmente descartada de forma irregular, a casca de coco verde é atrativa como biomassa devido à abundância, baixo custo e alto teor de carbono. Quando aquecida em altas temperaturas sem oxigênio, gera carvão vegetal, oferecendo uma solução promissora e ecologicamente viável para usos industriais (2).

No contexto da indústria metalúrgica, o uso de biomassas nos processos de cementação tem se destacado como uma solução inovadora e sustentável. A cementação, um tratamento termoquímico de difusão de carbono em materiais, que visa aprimorar as propriedades mecânicas dos materiais, utiliza agentes cementantes, ricos em carbono (3). Esses agentes, muitas vezes derivados do extrativismo em favor de reflorestamentos sem diversidade de espécies, ou até mesmo de desmatamento, têm um impacto ambiental significativo. Essas ações pouco sustentáveis comprometem o equilíbrio ecológico, tornando a adoção de biomassas reutilizadas uma alternativa que reduz esses danos e promove maior responsabilidade ambiental (4).

No caso do aço SAE 1020, que é pobre em carbono, a cementação ocorre na temperatura de austenitização, por volta de 850 °C. A absorção de carbono depende da sua concentração inicial no material, do limite de solubilidade, da temperatura, tempo de encharque, presença de agentes ativadores e da composição do cementante (5) (6) (7). Nesse contexto, o processo de cementação sólida em caixa é um tipo de cementação voltado para a otimização de materiais metálicos. As variáveis

de temperatura, tempo de aquecimento e resfriamento são fatores cruciais para esse processo termoquímico, já que influenciam diretamente na qualidade final do produto (8) (9) (10).

Para verificar a eficiência de um tratamento termoquímico, como a cementação sólida em caixa, são realizados ensaios que comparam as propriedades do material antes e depois do processo, tais como análises de dureza e de metalografia, permitindo a avaliação dos grãos constituintes do material em estudo (10) (11) (12).

O presente trabalho teve como objeto analisar a viabilidade da aplicação da biomassa de coco verde como cementante para o aço SAE 1020. Ao longo do desenvolvimento do estudo, foram analisados os parâmetros de tempo de encharque e presença de agente ativador, além da comparação com o meio de cementação convencional, empregado na indústria.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Neste trabalho, utilizou-se o aço SAE 1020 em forma de barra redonda, com 12,70 mm de diâmetro. Os corpos de prova foram seccionados em formato cilíndrico, com comprimento médio de 25 mm. A tabela 1 demonstra a composição química do aço utilizado.

Table 1. Chemical composition of SAE 1020 (13).

Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Fe
Average content (%)	0,180	0,097	0,530	0,023	0,028	0,063	<0,002	0,041	99,036

A caixa metálica para cementação foi confeccionada em aço inoxidável A316L, com dimensões de 100x100x80 mm. Para vedação da caixa durante o processo de cementação, utilizou-se argila umedecida. Como meio cementante, testou-se cascas de coco verde (*Cocos nucifera*), coletadas em locais de descarte irregular, em pontos estratégicos da ilha de São Luís, Maranhão.

Conforme os estudos de Nasution 2020, como elemento catalisador, adicionou-se carbonato de sódio (Na_2CO_3), na proporção de 10% da massa de carvão de coco verde (14).

2.2 PROCESSAMENTO DA BIOMASSA DE CASCA DE COCO VERDE

As cascas de coco foram limpas em água corrente, cortadas e secas em estufa a 60 °C por 48 horas, com o objetivo de remover a umidade da biomassa e demais compostos voláteis (Figura 1). Em seguida, as cascas foram levadas a um forno tipo mufla a 400 °C por 30 minutos. As cascas, após serem transformadas em carvão vegetal, foram moídas e peneiradas até que as partículas alcançassem granulometria de 250 μm (Figura 2).



Figure 1. Green Coconut Shell after dry.



Figure 2. Green Coconut Shell Charcoal Powder.

2.3 REALIZAÇÃO DO PROCESSO TERMOQUÍMICO DE CEMENTAÇÃO EM CAIXA EM AÇO SAE 1020

No processo de cementação em caixa, a quantidade de carvão vegetal foi fixada em 144 g para cada batelada, levando em conta o volume da caixa e a vedação com argila úmida. Para a condição de tratamento em que o Na_2CO_3 foi utilizado como catalisador, foram adicionados 10% da massa do carvão vegetal de Na_2CO_3 . Para comparação, além da amostra controle, também foi realizado cementação em caixa com o cementante tradicional da marca Duraço Brasil, seguindo as orientações do fabricante na montagem da caixa (14).

A temperatura do forno mufla foi ajustada em 900 °C, e o tempo de imersão variou entre 2 e 4 horas. A tabela 2 apresenta os parâmetros utilizados em cada batelada de testes.

Table 2. Parameters of experiments.

Sample	Carburizer	Addition of Na_2CO_3 (Wt)	Soaking time (h)	Temperature (°C)
1	Green Coconut Shell Charcoal	0	2	900

2	Green Coconut Shell Charcoal	0	4	
3	Green Coconut Shell Charcoal	10%	2	
4	Green Coconut Shell Charcoal	10%	4	
5	Conventional carburizer Duraço	0	2	
6	Conventional carburizer Duraço	0	4	
Control (no heat treatment)	-	-	-	-

Após o tempo de imersão, a caixa com as amostras cementadas foram retiradas do forno e resfriadas à temperatura ambiente (25 °C). Posteriormente, foram submetidas à têmpera com resfriamento em óleo diesel. O corpo de prova utilizado como controle não foi submetido a qualquer tratamento térmico ou termoquímico e serviu para fins de comparação com as amostras cementadas.

2.4 AVALIAÇÃO DE MICRODUREZA E ANÁLISE SUPERFICIAIS

Uma vez realizados os tratamentos térmicos, as amostras foram embutidas a quente. A partir disso, fez-se lixamento, com lixas de granulometrias de 320, 600, 1200, 2000 e 2500 µm. Após isso, realizou-se polimento das amostras, alumina 1 µm, para que se realizassem os testes de microdureza e análise metalográfica.

Os testes de dureza Vickers foram realizados em um microdurômetro DIGIMESS, para medir a dureza de cada uma das amostras. Foram aferidos pontos desde a borda das amostras até o núcleo, para verificação da camada cementada. As amostras foram submetidas ao ataque químico com solução de nital 3% para as análises da microestrutura com auxílio de um microscópio óptico OPTIKA.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ENSAIOS DE DUREZA VICKERS

Na figura 3, é possível observar o perfil de dureza das amostras analisadas no experimento, incluindo a amostra controle, sem tratamento. Nota-se que, em todas as amostras cementadas, é visível um comportamento típico de endurecimento superficial, com os maiores de dureza próximos à superfície, seguidos por uma diminuição gradual à medida que se avança ao centro das amostras.

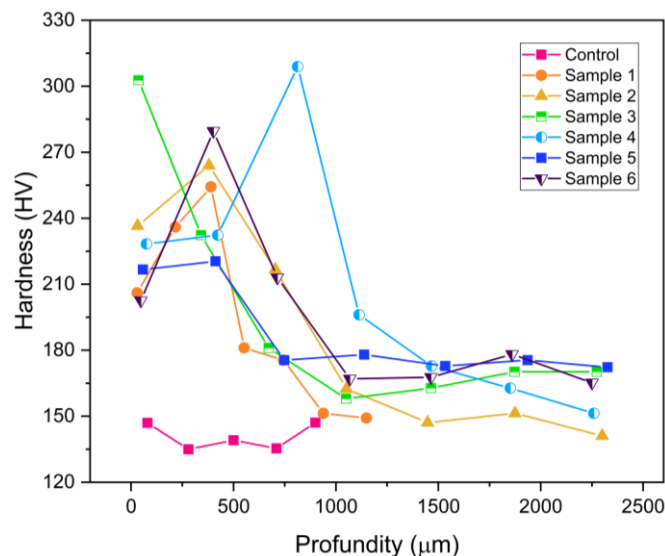


Figure 3. All samples – hardness. Hardness profile of the samples.

Nota-se que, em comparação com a amostra controle, cuja dureza média foi de 140,7 HV, todas as amostras cementadas apresentaram valores superiores de dureza. Isso evidencia a relação direta entre o aumento da dureza e o processo de difusão de carbono, que é o principal mecanismo da cementação, o que também demonstra a efetividade do processo termoquímico, conforme previsto na literatura (16). Além disso, é possível observar que, em todas as amostras cementadas, exceto na amostra 3, as regiões imediatamente próximas às bordas de cada amostra apresentam uma dureza menor em comparação com as áreas ligeiramente mais internas, onde foram encontrados os maiores valores de dureza. Segundo a literatura, a têmpera posterior à cementação previne a descarbonetação do material, pois auxilia na fixação do carbono absorvido. No entanto, como a baixa concentração de carbono está associada à menor dureza, a têmpera a 900 °C, pode ter contribuído para a perda de carbono na superfície das amostras e consequentemente para a redução da dureza nessas regiões específicas (10).

Nesse contexto, também é relevante analisar a influência do tempo de permanência a 900 °C, que, para cada meio cementante, foi de 2 h e 4 h. A Figura 4 mostra a condição em que o meio cementante utilizado foi exclusivamente o carvão de coco verde. Observa-se que o tempo de permanência de 4 h produziu resultados superiores, corroborando com os estudos de Oluwafemi *et al.* (2015), indicando que, quanto maior o tempo de permanência na temperatura de austenitização, maiores são as taxas de difusão do carbono, o que afeta a dureza e outras propriedades mecânicas do material (19).

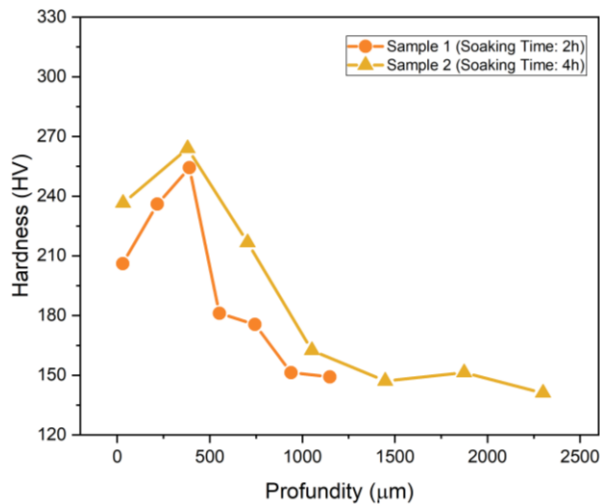


Figure 4. Samples 1 and 2: Green Coconut Charcoal media – Hardness.

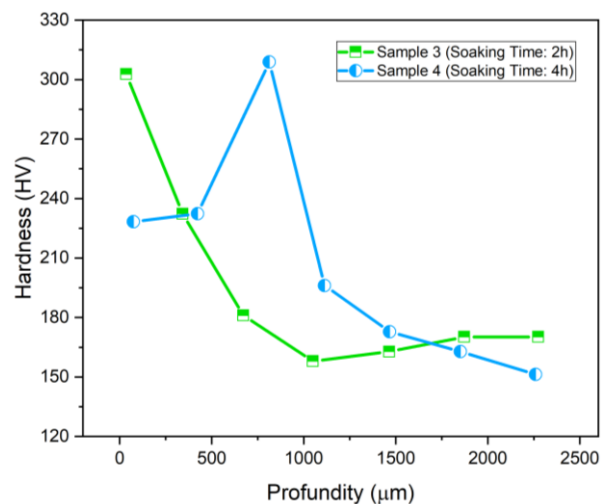


Figure 5. Samples 3 and 4: Green Coconut Charcoal media and Na_2CO_3 – Hardness

As amostras 3 e 4 (Figuras 4 e 5), que tiveram os melhores resultados de dureza em comparação com todas as outras, são correspondentes à cementação realizada com carvão de cascas de coco verde, acrescido de Na_2CO_3 como catalisador. Para Umunakwe (2017) e Adzor, Ihom e Edibo (2018), a presença de carbonatos, como Na_2CO_3 e CaCO_3 , adicionados aos carburantes, facilitam a dissolução do carbono na austenita, o que contribui para melhoria da dureza (302,7 HV para a amostra 3 e 308,9 HV para a amostra 4). Este efeito é observado nas figuras 3 e 5, ao comparar as amostras que foram cementadas na presença de Na_2CO_3 com aquelas cujos meios cementantes foram exclusivamente o carvão de biomassa ou até mesmo o cementante tradicional, utilizado na indústria que só teve resultados consideráveis no tempo de permanência de 4 h (6) (17).

3.2 ANÁLISE METALGRÁFICA

A figura 6 exibe a análise superficial da amostra controle, que não foi submetida à cementação ou têmpera. Indica a presença de perlita disposta em uma matriz ferrítica, o que, aliado à baixa concentração de carbono, explica a baixa dureza superficial (6).

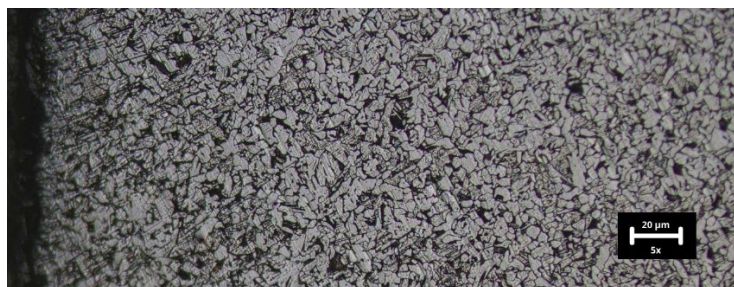


Figure 6. Micrograph of control sample (untreated) steel. Chemical attack: 3% Nital.

Já as figuras 7-8, representam as micrografias obtidas das amostras 1 e 2, respectivamente, relativas à condição em que o carvão de coco verde foi utilizado como meio cementante.



Figure 7. Micrograph of sample 1 (Green Coconut Charcoal media, soaking time of 2 hours) steel. Chemical attack: 3% Nital.



Figure 8. Micrograph of sample 2 (Green Coconut Charcoal media, soaking time of 4 hours) steel. Chemical attack: 3% Nital.

Para as duas amostras cujo meio cementante foi unicamente carvão de coco verde, é perceptível a formação da camada cementada, de coloração escura, sendo que na amostra 2 (Figura 8) nota-se uma homogeneidade de camada maior do que em 1, e uma extensão maior também. Esses resultados corroboram com os resultados de microdureza, que sabidamente foram melhores na segunda amostra, cujo tempo de permanência foi de 4 h. Além disso, a transição entre a camada cementada e o núcleo, que preserva a estrutura original, tem fronteiras mais nítidas na segunda amostra.

Para a segunda condição, carvão de coco verde acrescido de um agente catalisador, as figuras 9-10 exibem as micrografias das amostras 3 e 4, respectivamente. As amostras 3 e 4 se destacaram por apresentarem os maiores valores de microdureza e exibiram camadas cementadas particularmente homogêneas. Nas Figuras 9a e 10a, é possível observar camadas de grande extensão, sendo que a Amostra 4, em especial, apresenta uma camada bem definida e de espessura uniforme. Na Figura 10c, a transição entre a camada cementada e o núcleo é clara e bem delimitada, indicando uma boa penetração de carbono, fator que contribui para as excelentes propriedades de dureza. Além disso, as mesmas

amostras mostraram evidências marcantes de descarbonetação nas bordas (Figuras 9b e 10b) (18).

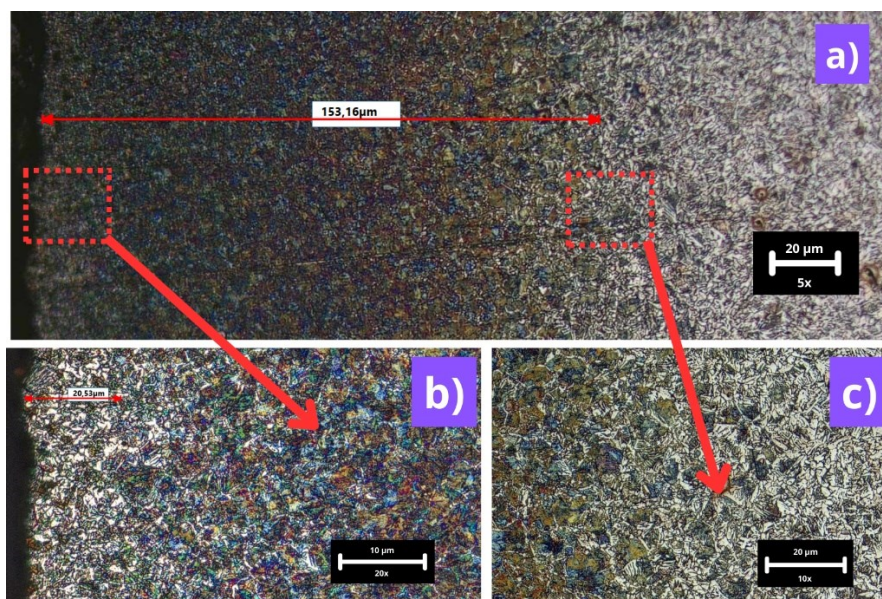


Figure 9. Micrograph of sample 3 steel (Green Coconut Charcoal media and Na_2CO_3 , soaking time of 2 hours). a) overview of the cemented layer (5x); b) sample edge detail (20x); c) detail of the transition from the cemented layer to the non-cemented region (10x). Chemical attack: 3% Nital.

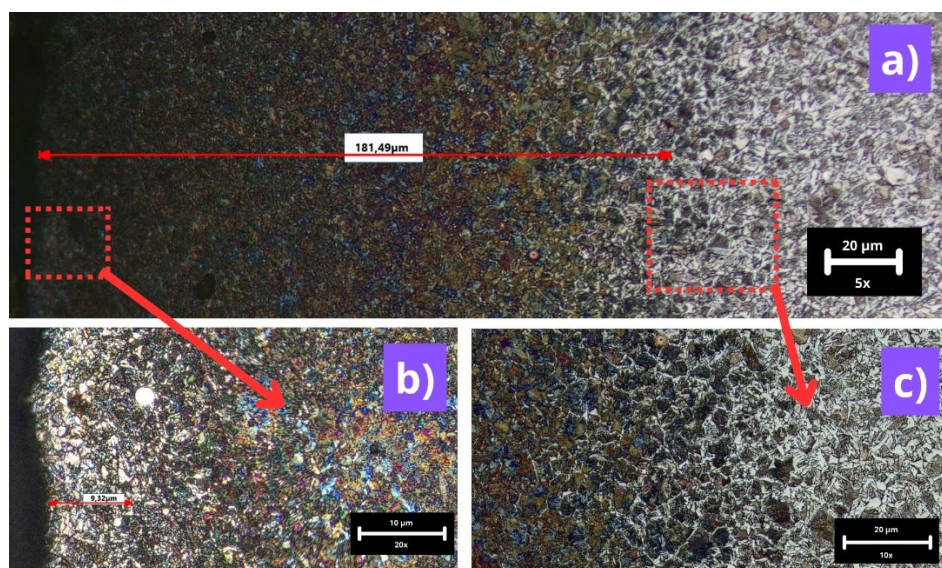


Figure 10. Micrograph of sample 4 steel (Green Coconut Charcoal media and Na_2CO_3 , soaking time of 4 hours). a) Overview of the cemented layer (5x); b) sample edge detail (20x); c) detail of the transition from the cemented layer to the non-cemented region (10x). Chemical attack: 3% Nital.

As Figuras 11 e 12 apresentam as análises microscópicas das amostras que utilizaram o cimento convencional. A amostra 6, cujo tempo de permanência foi de 4 h, apresenta uma boa extensão da área em que foi difundido o carbono. Outro aspecto a ser considerado (Figuras 11 b) e 12 b)) é a presença de marcas

características de descarbonetação, o que indica que esse processo está ligado à tempera e não à natureza do cementante. A região de transição entre camada cementada e regiões não atingidas se mostra mais gradual e suave, comportamento parecido com o que ocorreu nas amostras 1 e 2.

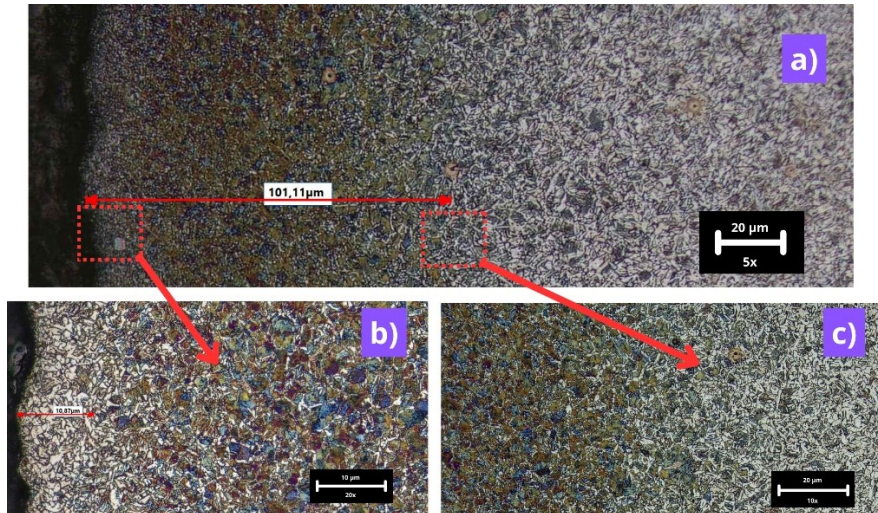


Figure 11. Micrograph of sample 5 (conventional carburizer, soaking time of 2 hours) steel. Chemical attack: Nital: a) overview of the cemented layer (5x); b) sample edge detail (20x); c) detail of the transition from the cemented layer to the non-cemented region (10x).

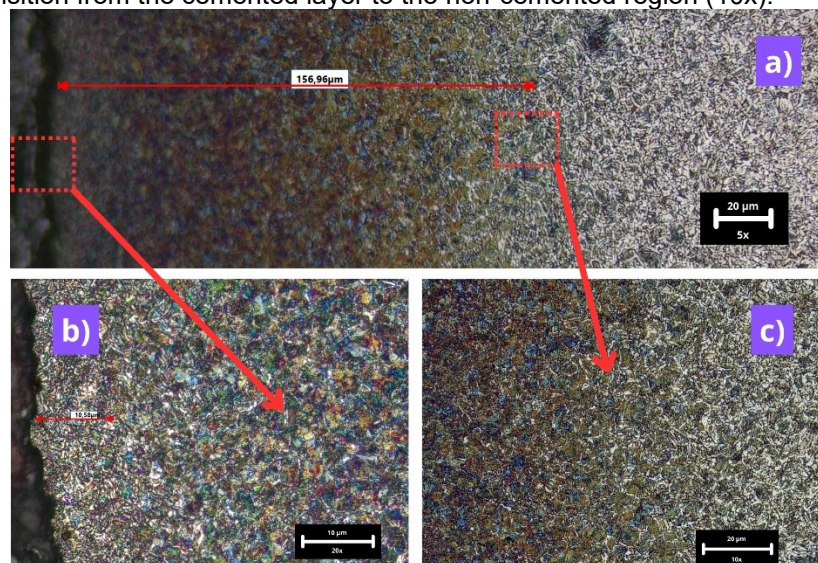


Figure 12. Micrograph of sample 6 (conventional carburizer, soaking time of 4 hours) steel. Chemical attack: Nital. a) overview of the cemented layer (5x); b) sample edge detail (20x); c) detail of the transition from the cemented layer to the non-cemented region (10x).

Assim, nota-se que o tratamento térmico de cementação com 2 horas de permanência obteve-se profundidade de penetração de 97,63, 153,16 e 101,11 μm para as condições com casca de coco, casca de coco com catalizador e cementante tradicional, respectivamente. Para o tratamento térmico de cementação com 4 horas de permanência obteve-se profundidade de penetração de 166,77, 181,49 e 159,96 μm para as condições com casca de coco, casca de coco com catalizador e

cementante tradicional, respectivamente. Pelos resultados obtidos, é nítido que a utilização da casca de coco como agente cementante foi superior que o agente tradicional, em ambas os tempos de permanência testados.

4 CONCLUSÃO

Este trabalho avaliou a viabilidade de utilizar a biomassa de coco verde como agente cementante para o aço SAE 1020, com base em ensaios de dureza e análises de superfície. Os resultados indicaram que o uso do coco verde como cementante foi satisfatório. As melhores condições de processo foram observadas na amostra 4, que utilizou carvão de cascas de coco com 10% em massa de Na_2CO_3 como catalisador, promovendo uma difusão mais eficiente do carbono. O tratamento foi realizado por 4 horas a 900 °C, resultando em uma dureza de 308,9 HV, uma camada endurecida extensa e um núcleo macio. Além disso, foi identificado o fenômeno de descarbonetação nesta e em outras amostras.

A comparação entre as amostras tratadas com o cementante convencional, utilizado amplamente na indústria, e aquelas tratadas com o carvão de cascas de coco verde mostrou que este último, combinado com o catalisador, pode ser uma alternativa viável, resultando em propriedades de dureza e uniformidade da camada cementada competitivas com as técnicas bem estabelecidas.

Dessa forma, os resultados obtidos indicam que o uso de biomassas alternativas, como o coco verde, pode ser explorado como uma solução sustentável e eficaz para processos de cementação, oferecendo boas propriedades mecânicas ao aço SAE 1020 de baixo carbono. No entanto, estudos adicionais, focando em aspectos como a otimização do processo e o controle da descarbonetação, são necessários para garantir o desempenho ideal em aplicações industriais.

5 REFERÊNCIAS

- (1) TARRENTO, G. E.; JUNIOR, C. F. J. Avaliação do panorama da distribuição das certificações das normas iso 9000 e iso 14000 em empresas nacionais e estrangeiras. Tekhne e Logos, v. 1, n. 3, p. 78-95, 2010.
- (2) DO NASCIMENTO, P. H. M., SEDANO, C. T. S. Estudo experimental para estimação da temperatura da combustão de resíduos urbanos de coco verde. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 9, p. 86608-86624, 2021.

- (3) BAUMGARTEN, J. F. Cementação empregando granulados elaborados a partir de carvão vegetal reciclado e ativador de carbonato de cálcio (CaCO_3). Dissertação Mestrado – Joinville: Universidade do Estado de Santa Catarina, 2003.
- (4) SILVEIRA, M. S. Aproveitamento das cascas de coco verde para produção de briquete em Salvador – BA. Dissertação Mestrado – Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2008.
- (5) CHIAVERINI, V. Tecnologia Mecânica – Materiais de Construção Mecânica. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986. v. II
- (6) ADZOR, S. A., IHOM, P. A., EDIBO, S. Utilization of melon and snail shell waste mixtures in the carburization of mild steel. *Int J Trend Sci Res Dev*, v. 2, p. 1032-40, 2018.
- (7) GOMES, V. R. estudo comparativo do potencial de ativação do carbonato de sódio e carbonato de cálcio na cementação sólida.
- (8) ALVIM, M. B., Cardoso, R. A., FARIA, G. L., MOREIRA, P. S. Estudo comparativo das características do tratamento termoquímico de cementação sólida de aço baixo carbono realizado com carvão vegetal e coque de baixa qualidade metalúrgica. Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas. Vol. 17. ISSN, p. 2594-4711. 2017.
- (9) CHANDRA, H. et al. The Carburizing Process of Low Carbon Steel with Charcoal Media. *Journal of mechanical science and engineering*, v. 1, n. 1, p. 001-006, 2013.
- (10) BISINELI, A. R., DA SILVA, L. R., ZANCANELLA, A. C. B., MAZIERO, R. Influência da concha de ostra como ativador do carvão vegetal para cementação sólida em caixa do aço abnt/sae 1020. *Acta Mechanica et Mobilitatem*, v. 5, n. 1, p. 11-18, 2020.
- (11) GARCIA, A.; SPIM, J. A.; SANTOS, C. A. Ensaio dos Materiais. Rio de Janeiro: LTC, 2000.
- (12) RHODE, R. A. Metalografia preparação de amostras: uma abordagem prática. Santo Ângelo, 2010.
- (13) ZANCANELLA, A. C. B.; Silva, L. R. R.; Faria, D. D. Influência da Granulometria do Carvão Vegetal no Tratamento Termoquímico do Tipo Cementação Sólida em Caixa do Metal Aço SAE 1020. In: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, X., 2018, Salvador. Anais... Salvador: Conem, 2018. p. 1-6
- (14) NASUTION, M. Hardness And Micro Structure Analysis Of Aisi 1020 Steel With Carburizing Treatment Using Coconut Shell Charcoal. *International Journal of Scientific & Technology Research* vol. 9, 2020.

- (15) OKONGWU, D., PARANTHAMAN, V. Assessment of the Efficacy of Some Carbonate Mineral as Energizers in Pack carburization of Mild Steel. *Nigerian Journal of Technology*, 11(1), 28-43. 1987.
- (16) OLUWAFEMI, O. M., OKE, S. R., OTUNNIYI, I. O., ARAMIDE, O. Effect of carburizing temperature and time on mechanical properties of AISI/SAE 1020 steel using carbonized palm kernel shell. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, v. 14, n. 27, p. 41-56, 2015.
- (17) UMUNAKWE, R., OKOYE, O. C., MADUEKE, C. I., KOMOLAFE, D. O. Effects of carburization with palm kernel shell/coconut shell mixture on the tensile properties and case hardness of low carbon steel. *FUOYE Journal of Engineering and Technology*, v. 2, n. 1, p. 101-5, 2017.
- (18) KRAUSS, G. Deformation and fracture in martensitic carbon steels tempered at low temperatures, *Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci.*, 2001. 861–877. <http://dx.doi.org/10.1007/s11661-001-0344-y>