

# INFLUÊNCIA DA NITRETAÇÃO A PLASMA NA DUREZA DAS LÂMINAS DA PRENSA-FACA DE UM PICADOR DE TORAS INDUSTRIAL \*

Ralillie Lopes Carvalho<sup>1</sup>  
João Paulo Calixto da Silva<sup>2</sup>  
Adonias Ribeiro Franco Júnior<sup>3</sup>  
João Alberto Fioresi Altoé<sup>4</sup>

## Resumo

O presente trabalho apresenta um estudo da influência do tratamento de nitretação a plasma sobre a dureza de lâminas utilizadas em prensa-facas de um picador de toras industrial. Tais peças são fabricadas em ligas com alto teor de Cromo e Carbono, assemelhando-se quimicamente aos aços para trabalho a frio AISI da série D. Para o estudo em questão, pequenas amostras das lâminas receberam tratamento térmico de têmpera e duplo revenido, e posteriormente foram nitretadas a plasma por 30, 90, 180, 360 minutos, em temperatura de 450°C, com pressão fixada em 2 Torr e mistura gasosa de 20%N<sub>2</sub> e 80%H<sub>2</sub>. Logo após foram realizadas análises metalográficas com auxílio de microscópio óptico, ensaio de dureza superficial e perfil de dureza com microdurômetro em escala Vickers. Os resultados mostraram que para todos os tempos de tratamento houve endurecimento superficial em relação ao material não tratado, onde o tempo de 180 minutos propiciou a formação de camada com maior valor médio de dureza superficial “1171,20 HV”.

**Palavras-chaves:** Lâminas; Nitretação a plasma; Dureza.

## INFLUENCE OF PLASMA NITRIDING ON HARDNESS FROM BLADES OF THE COUNTER-KNIFE OF INDUSTRIAL CHIPPER WOOD

### Abstract

This paper studies the influence of the plasma nitriding treatment on the hardness of blades used in counter-knives of industrial chipper wood. These parts are manufactured in alloys with high content of Chrome and Carbon, similar in chemical to cold work steels AISI Series D. For this study, small samples of the blades received heat treatment of quenching and double tempering, and were then nitrided by plasma 30, 90, 180, 360 minutes at a temperature of 450 ° C, pressure of 2 Torr fixed and gas mixture from 20%N<sub>2</sub> and 80%H<sub>2</sub>. Soon after metallographic analyzes with an optical microscope aid, surface hardness and hardness profile test with microhardness in Vickers scale. The results showed that all treatment hardening time was compared to the untreated material, where time 180 minutes led to the formation of the layer with a higher average value of surface hardness - 1171.20 HV.

**Keywords:** Blades; Plasma nitriding; Hardness.

<sup>1</sup> Bacharel em Engenharia Mecânica das Faacz - Faculdades Integradas de Aracruz, Operador na Fibria Celulose S/A. Aracruz, ES, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Mecânico, Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pelo IFES – Instituto Federal do Espírito Santo, professor do curso de Engenharia Mecânica das FAACZ – Faculdades Integradas de Aracruz. Aracruz, ES, Brasil

<sup>3</sup> Engenheiro Metalurgista, Mestre em engenharia de materiais, Doutor em Engenharia metalúrgica Professor Doutor, IFES, Vitória, ES/Brasil.

<sup>4</sup> Engenheiro Mecânico, Professor, IFES, Aracruz, ES/Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

A nitretação a plasma destaca-se por ser um tratamento termoquímico que confere endurecimento pela introdução de nitrogênio à superfície da peça sob temperaturas relativamente baixas [1].

Devido à possibilidade de aplicação da nitretação a plasma em peças acabadas sem causar instabilidade dimensional, deformações ou danos à superfície, o método de tratamento se mostra como alternativa para o endurecimento superficial de peças de picadores de toras [2]. Tais picadores são equipamentos utilizados na indústria de celulose com a finalidade de transformar a madeira em pequenos fragmentos denominados cavacos [3].

Devido ao alto desgaste que o processo de produção de cavacos na indústria de Celulose e Papel proporciona, o disco do picador de toras é protegido por peças de sacrifício [4]. Dentre as peças utilizadas, a prensa-facas - também chamado de suporte de facas - é o componente responsável pela fixação da faca ao disco do picador, pelo fracionamento da madeira e orientação dos cavacos para a parte traseira do disco [4]. É dotada de uma lâmina de desgaste, responsável pela vedação da faca, confeccionada em um aço ferramenta com elevada resistência ao desgaste [4,5].

O objeto de estudo para o presente trabalho foram lâminas utilizadas em picadores de toras Andritz, utilizados na Fibria Celulose S/A – Unidade Aracruz, onde cada equipamento utiliza 12 lâminas.

Tais peças foram fabricadas por uma empresa sul-rio-grandense de facas industriais e mereceram atenção e estudo para melhorias em função da redução da vida útil das mesmas, seu impacto negativo na qualidade dos cavacos e no aumento do tempo de reposição das mesmas.

Uma vez que não foram cedidas informações do fabricante sobre o material utilizado, observou-se similaridade química mais próxima com o aço AISI D6 do que com outros aços da série D, em virtude da composição da peça analisada.

Os aços AISI da série D são vastamente utilizados para fabricação de ferramentas de conformação e corte a frio, por apresentar excelentes resultados de resistência mecânica, dureza e desgaste associados com a tenacidade [1,6,7]. Geralmente são comercializados no estado recozido, apresentando dureza média 250 HB e composição química nominal basicamente de Fe, e altos teores de Cr e C. Quando adicionado o molibdênio (Mo) e vanádio (V) em pequena quantidade melhora-se a resposta do material ao revenimento, já a presença de manganês (Mn) e tungstênio (W) têm forte efeito na temperabilidade e na formação de carbonetos respectivamente [1,6-10].

Para a produção de peças e ferramentas em aço AISI série D6 é necessário um controle acurado dos parâmetros de austenitização para que a temperabilidade, a quantidade de austenita retida e o comportamento do revenimento apresentem o resultado esperado na formação de carbonetos e no tamanho do grão austenítico. [12].

Temperaturas de revenimento na ordem de 300°C a 600°C são aplicadas em ferramentas que posteriormente sofrerão tratamentos superficiais, como Nitretação a Plasma. Também utiliza-se o mínimo de 2 revenimentos para tais aços [10-13].

As condições de austenitização no aço ferramentas influenciam diretamente na resposta ao tratamento térmico posterior, pois definem a quantidade de elementos de ligas dissolvidos na austenita e presentes nos carbonetos, a quantidade de carbono e o tamanho do grão austenítico [14,13].

Na análise das microestruturas formadas após tratamento de têmpera e duplo revenido observa-se martensita revenida com presença de carbonetos do tipo  $M_7C_3$  e outros carbonetos complexos [15,9]. Tais carbonetos quando associados aos nitretos e carbonitretos – formados na nitretação a plasma – são responsáveis pelo aumento na dureza e resistência ao desgaste do material nitretado [15,16].

Diante do exposto, o presente trabalho propõe avaliar a influência da nitretação a plasma sobre a dureza nas lâminas utilizadas em picadores de toras, com informações detalhadas sobre o material, os procedimentos e os parâmetros de tratamentos nas seções a seguir.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A lâmina utilizada neste trabalho foi concedida pela empresa Fibria Celulose – Unidade Aracruz. O material foi recebido no formato de barra chata, com dimensões de 31 mm de altura, 9 mm de espessura e 993 mm de comprimento.

Foram retiradas cinco amostras com dimensões aproximadas de 25 mm x 25 mm x 9 mm, os quais foram lixados até a lixa 1200#. Apenas 4 peças foram submetidas aos tratamentos térmicos.

A composição química da lâmina foi obtida através de espectrometria de emissão óptica.

A tabela 1 apresenta a composição da liga em questão:

**Tabela 1** - Composição química da lâmina de desgaste.

C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	W	V	Co
---	----	----	----	----	----	---	---	----

A composição química da lâmina atualmente utilizada apresenta teores de elementos de liga próximos ao aço AISI D6, em especial o Cromo e Carbono.

As amostras foram austenitizadas a 1080°C por 30 minutos, seguido de resfriamento rápido em óleo (têmpera) e submetidas a um duplo revenido a 540°C por 2 horas.

A preparação metalográfica iniciou-se com o lixamento das superfícies com lixas 180#, 220#, 300#, 400#, 600# e 1200#. As amostras foram polidas com pasta de alumina de granulometria 1 e 0,5  $\mu\text{m}$ , desengraxadas com álcool etílico 92,3%, e o ataque químico foi realizado com solução de 95% álcool etílico e 5% ácido nítrico (solução conhecida como Nital 5%).

A nitretação foi realizada pela empresa SDS Plasma, utilizando para o processo o reator de plasma modelo Thor NP 600, de fabricação própria. O equipamento possui potência de 60 kW, capacidade útil interna de 740 mm de diâmetro X 1.400 mm de altura.

A medição da temperatura interna é feita por um termopar do tipo K. O controle de fluxo de gás é feito de forma automática.

A temperatura dos tratamentos foi de 450°C, com atmosfera gasosa composta por 80% hidrogênio e 20% nitrogênio. O valor de pressão de trabalho da câmara foi definido em 2 Torr, com base em estudos realizados para o aumento da dureza do aço AISI D2 [1, 9, 15].

Para o experimento, o tempo de nitretação foi o parâmetro variado a fim de investigar as condições para a formação de uma zona de difusão com maior resistência ao desgaste. A tabela 2 apresenta os tempos estabelecidos para o processo.

**Tabela 2** - Tempos de nitretação utilizados por amostra.

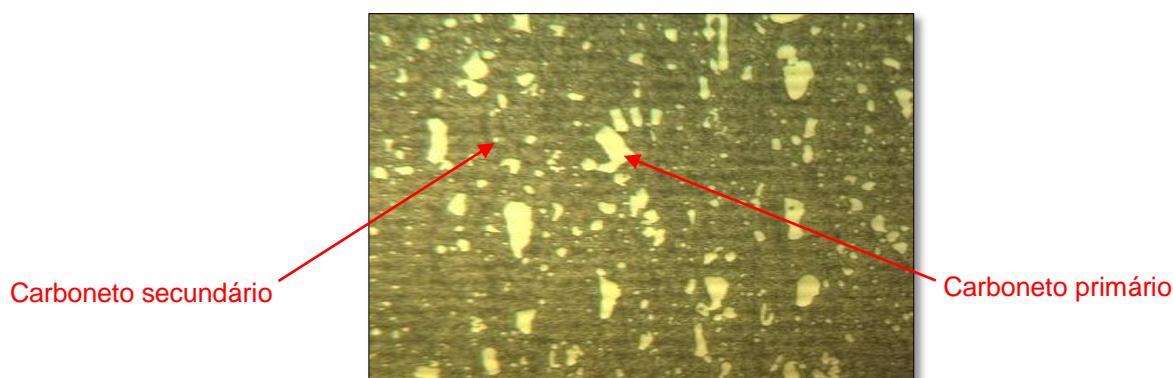
Amostra	Tempo
1	30 minutos
2	90 minutos
3	180 minutos
4	360 minutos

Os ensaios de dureza foram baseados na norma ASTM E384-11, onde as amostras nitretadas a plasma foram cortadas na seção transversal ao tratamento termoquímico e embutidas em baquelite.

Para o ensaio de dureza superficial foi utilizada uma carga de 0,5 kg por 20 segundos. Já para obtenção dos perfis de dureza foi utilizada uma carga de 0,05 kg, aplicadas durante 20 segundos e com distância lateral de 50  $\mu\text{m}$  para que não ocorresse interferência nas indentações, realizadas a partir da superfície da peça com medidas de 10, 20, 40, 60, 80 e 100  $\mu\text{m}$ .

### 3 RESULTADOS

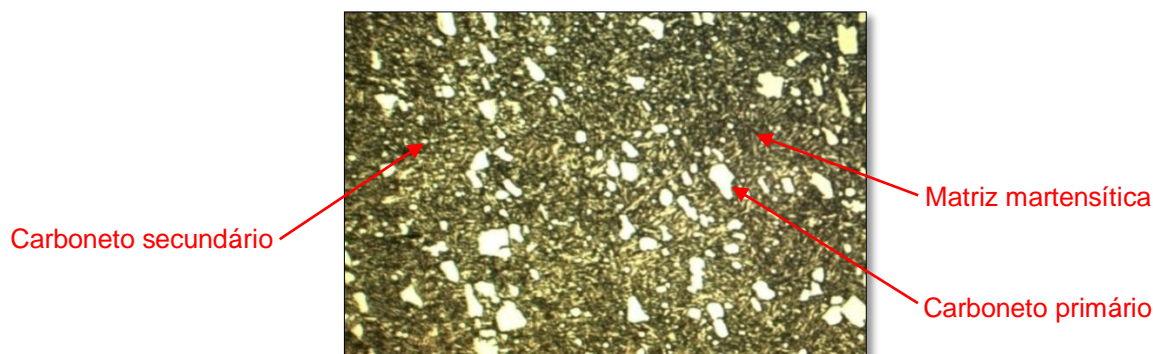
A figura 1 apresenta a microestrutura de uma amostra da lâmina utilizada no picador de toras como recebida para montagem e operação:



**Figura 1** - Amostra de lâmina de prensa-faca no estado como recebida. Aumento de 250X. Ataque químico: Nital 5%.

É possível identificar carbonetos primários e secundários na microestrutura, porém não é possível afirmar apenas por meio da microscopia óptica qual é a microestrutura da matriz em função da ausência de informações sobre do tratamento térmico realizado pelo fabricante. A dureza medida foi de 49 HRC  $\pm$  2 nas amostras analisadas, o que sugere que a peça tenha sofrido algum tratamento após confecção.

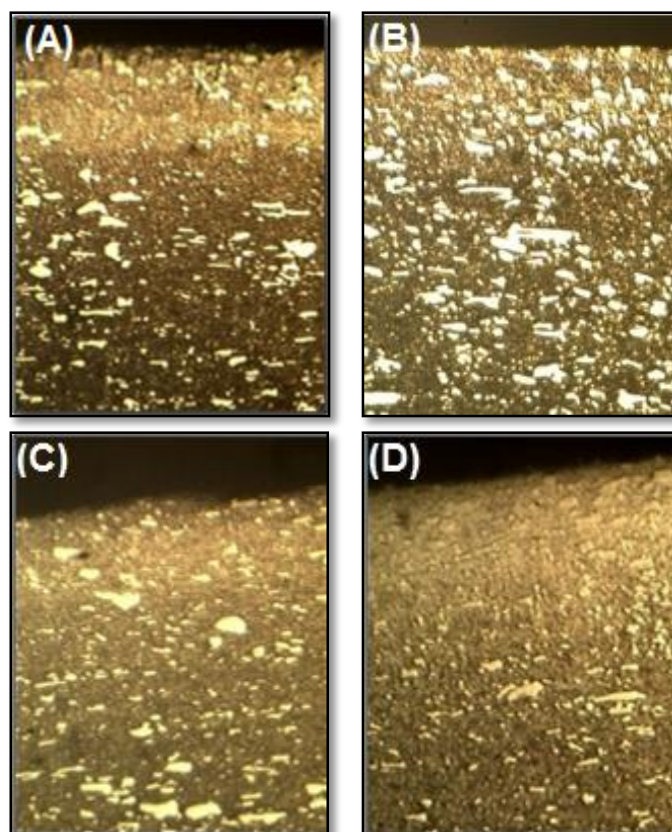
A figura 2 apresenta a microestrutura das amostras após tratamentos térmicos – austenitização, têmpera e duplo revenimento.



**Figura 2** - Amostra da lâmina após tratamentos térmicos. Aumento de 250x. Ataque químico: Nital 5%.

Novamente a presença de carbonetos primários e secundários, porém distribuídos em uma matriz martensítica. A dureza verificada após os tratamentos térmicos foi de 59 HRC  $\pm$  2.

A figura 3 apresenta as microestruturas obtidas através de microscopia óptica das amostras nitretadas nos tempos propostos. É possível observar diferentes espessuras e micrografias de camadas nitretadas em função da variação do tempo de nitretação.

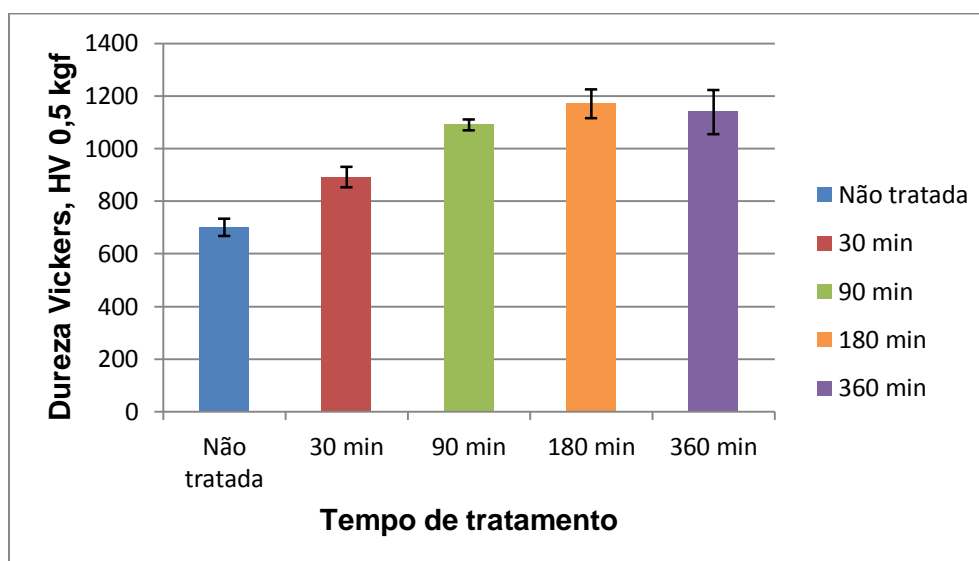


**Figura 3** – Micrografias das amostras nitretadas por (A) 30 minutos, (B) 90 minutos, (C) 180 minutos e (D) 360 minutos. Aumento de 250x. Ataque químico: Nital 5%.

A dureza superficial do material antes da nitretação, e das amostras nitretadas em diferentes tempos podem ser observadas na tabela 3 e na figura 4. Os valores representam uma média de 5 indentações em cada amostra.

**Tabela 3** - Dureza superficial das amostras da lâmina com e sem tratamento

Amostra	Tempo (minutos)	Microdureza (HV 0,05)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (DP/MED)
Sem tratamento	-	700,50	32,83	5%
1	30	892,30	38,45	4%
2	90	1090,40	21,09	2%
3	180	1171,20	54,9	5%
4	360	1139,00	84,10	7%

**Figura 4** - Dureza superficial Vickers das amostras.

Verificou-se o endurecimento superficial das amostras nitretadas em relação à amostra sem tratamento. As mudanças ocorridas próximas às superfícies relacionam-se à formação de nitretos e/ou carbonetos e à presença do hidrogênio em solução sólida [1, 17], levando ao aumento da dureza, sendo que as maiores durezas observadas foram obtidas nas amostras tratadas por 90, 180 e 360 minutos.

A tabela 4 apresenta os resultados obtidos para os perfis de dureza na camada endurecida das amostras nitretadas a plasma, com a variação de tempo de tratamento. Os valores representam uma média de 5 indentações em cada amostra.

**Tabela 4** - Resultados dos perfis de dureza

Espessura (µm)	30 minutos (HV)	60 minutos (HV)	180 minutos (HV)	360 minutos (HV)
0	892,30	1090,40	1171,20	1139,00
10	708,10	720,70	776,80	1001,25
20	561,30	567,20	648,30	642,70
40	538,20	635,90	614,80	687,40
60	562,10	528,80	571,70	688,60
80	600,20	518,40	592,60	674,90
100	585,50	568,40	593,90	667,30

Afigura 5 apresenta os perfis de dureza das amostras nitretadas a plasma. O espaçamento lateral entre as indentações foi de 50  $\mu\text{m}$ . O primeiro ponto corresponde à dureza superficial das amostras.

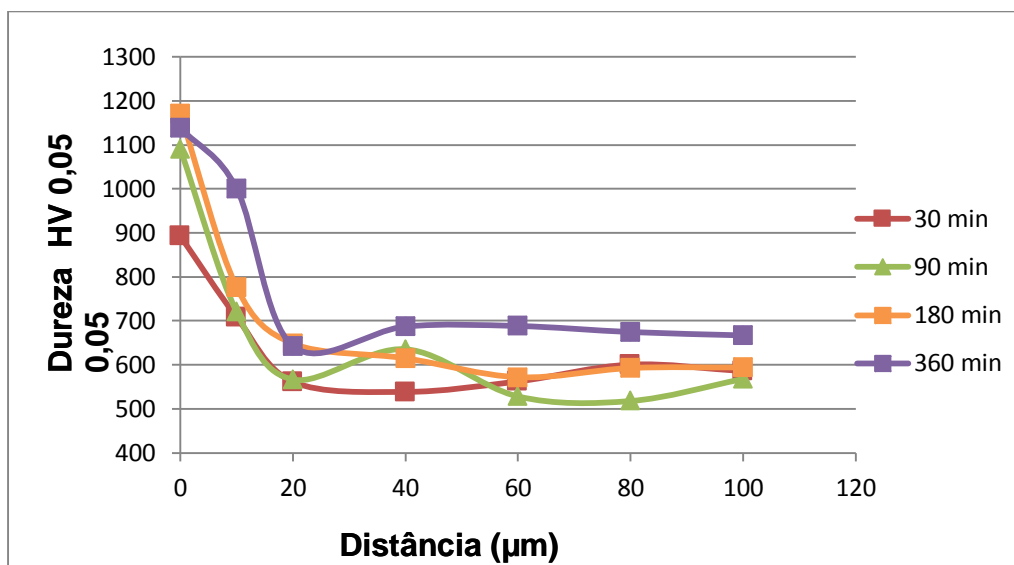


Figura 51 - Perfis de dureza da camada nitretada com variação do tempo

#### 4 DISCUSSÕES

A microestrutura das amostras no estado como recebido e após tratamento térmico de têmpera e duplo revenido comportou-se de forma semelhante ao aço AISI D6 após têmpera e revenido conforme a literatura [12, 17].

A partir das microestruturas apresentadas na figura 3 é possível verificar que o tratamento de nitretação a plasma proporcionou mudança no material próximo à superfície. A coloração diferenciada provavelmente representa a zona de difusão de nitrogênio no substrato.

A presença de carbonetos primários, secundários, e a matriz martensítica em direção ao núcleo das amostras nitretadas a plasma foram semelhantes às apresentadas nas mesmas peças após têmpera e duplo revenido. Tal resultado pode ser justificado em função da temperatura de tratamento de nitretação a plasma ser inferior à temperatura de revenimento do material. O que significa que não houve influência da temperatura do tratamento sobre a microestrutura do substrato, o qual poderia alterar as propriedades mecânicas do mesmo, diminuindo também a tenacidade da camada endurecida [1].

Também é possível observar que os resultados de dureza superficial variam em função do tempo de nitretação.

Em relação ao perfil de dureza realizado, verificou-se que a uma distância de 20  $\mu\text{m}$  da superfície as durezas de todas as amostras apresentaram uma queda acentuada, tendendo a manter-se com pequenas variações à medida que as indentações seguem para o núcleo da peça. O que sugere que a camada nitretada é inferior a 20  $\mu\text{m}$ , mais fina do que resultados encontrados na literatura para o aço D6 temperado e revenido antes da nitretação [12, 17].

Os altos valores de dureza e o pequeno aprofundamento da camada endurecida podem ser atribuídos ao alto teor de elementos como carbono (2,21%) e cromo (11,6%), que possuem grande afinidade com o nitrogênio para formação de nitretos e carbonitretos, dificultando a difusão do mesmo para o interior do material. Às

variações nas concentrações dos elementos de liga formadores de nitretos em relação ao aço D6 comercial, ao percentual de gases N<sub>2</sub> e H<sub>2</sub> utilizados para a liga em questão ou ainda ao tempo de tratamento aliado às demais condições citadas [15, 18].

## 5 CONCLUSÃO

O tratamento de nitretação a plasma proporcionou aumento da dureza superficial para todos os tempos analisados, situando-se na faixa de 892,30 a 1171,20 HV - semelhante aos resultados encontrados em pesquisas da área. A amostra tratada por 180 minutos apresentou resultados médios de dureza superficial superiores às demais, possivelmente em função da saturação de nitrogênio na superfície da amostra, apesar da ocorrência da camada de compostos não ser evidenciada nos testes realizados no presente trabalho. Tal saturação de N resulta na formação de nitretos de ferro, entre outros nitretos de elementos de liga, os quais são mais duros e frágeis.

## Agradecimentos

Ao professor Me. George Simoneli pelo apoio à produção acadêmica. Aos companheiros de pesquisa, Eng<sup>o</sup> Ricardo Gardiman Savacini e Eng<sup>a</sup> Vera Lúcia Soprani, por todo o esforço e dedicação durante o desenvolvimento do trabalho de conclusão de curso.

## REFERÊNCIAS

- 1 Gobbi, V. J.; Influência da Nitretação a Plasma na Resistência ao Desgaste Microabrasivo do Aço Ferramenta AISI D2, Tese de Mestrado, Universidade de Brasília, 2009.
- 2 Vantagens Do Processo De Nitretação A Plasma Em Relação Aos Processos De Nitretação: Site SDS Plasma, Paraná, 2014. Disponível em: <<http://www.sdsplasma.com.br/vantagens.php>>. Acesso em: 29 Jul. 2014.
- 3 Santiago, F.L.S. Estudo da Viabilidade Técnica e Econômica para Aproveitamento de Cascas de *Eucalyptus* Gerados do Processo de Fabricação de Painéis de Madeira. Tese de Mestrado, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” - Faculdade De Ciências Agrônômicas, Rio de Janeiro, 2007.
- 4 Geração E Qualidade Dos Cavacos De Madeira Para O Processo De Produção De Celulose. Área de Produção de Cavacos - Aracruz Celulose, Espírito Santo, 2006.
- 5 Açokorte Novas Ideias Soluções Eficientes. Madeira, Catálogo técnico. Disponível em: <<http://www.youblisher.com/p/726673-Catalogo-Virtual-Acokorte/>>. Acesso em 01 Set. 2014.
- 6 Silva, A. L. C; Mei, P.R. Aços e ligas especiais. 2ªed. Sumaré – São Paulo, 1988.
- 7 Silvano, M. B. Avaliação de Desempenho de Navalhas de Corte. Tese de Mestrado, PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
- 8 Gerdau. Aços Ferramenta Gerdau-D2. Disponível em: <<http://www.gerdau.com.br/produtos-e-servicos/produtos-por-aplicacao-detalhe-produto.aspx?familia=277>>. Acesso em: 08 Dez. 2014.
- 9 Simonelli, G. Uso das Técnicas de Planejamento Experimental de Otimização de Processos Na Nitretação a Plasma em Gaiola Catódica do Aço Ferramenta Aisi D2. Tese de Mestrado, Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.



- 10 Villares Metals. Aços para trabalho a frio. Jul. 2003. Disponível em: <[http://www.villaresmetals.com.br/portuguese/files/FT\\_13\\_VD2.pdf](http://www.villaresmetals.com.br/portuguese/files/FT_13_VD2.pdf)>. Acesso em: 30 Ago. 2014.
- 11 Hubei Rising Technology CO., LTD - Manufacturer of mold steel tool steel and alloy steel. Disponível em: <[http://www.risingsteel.com/details\\_p.asp?id=2&cid=33](http://www.risingsteel.com/details_p.asp?id=2&cid=33)>. Acesso em 18 Jun. 2015
- 12 Sousa, R.R.M.; Mendes, M.L.M.; Valadão, E.M.; Brandim, A.S.; Oliveira, M.D.; Alves Jr, C.; Aço Ferramenta para Trabalho a Frio Aisi D6 Tratado Termicamente e Nitretado em Plasma com Gaiola Catódica. Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo, v. 27, n. 4, 223-227, 2008.
- 13 Mendanha, A.; Goldenstein, H.; Pinedo, C. E. Tenacidade do Aço Ferramenta para Trabalho a Frio Aisi D2 – Parte I Influência da Microestrutura de Partida. 1º Encontro de Integrantes da Cadeia Produtiva de Ferramentas, Moldes e Matrizes. São Paulo/SP, 2003.
- 14 Metals Handbook. Properties and selection of materials. v. 2. ASM Metals Park, 1975.
- 15 Conci, M. D.; Franco Jr., A. R. Tribologia do Aço Ferramenta Aisi D2 Nitretado a Plasma. Artigo acadêmico - II workshop de ciência e tecnologia em engenharia metalúrgica e de materiais do propemm, Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012.
- 16 Valadão, E. M.; Avaliação do Desempenho do Aço AISI D2 Tratado Termicamente e Nitretado em Plasma com Gaiola Catódica Visando Aplicação Industrial, Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2008.
- 17 Mendes, M. L. M.; Avaliação do Desempenho do Aço D6 Tratado Termicamente e Nitretado a Plasma com Gaiola Catódica Visando Aplicação Industrial. PPGCEM, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.
- 18 Alves Jr., C. - Nitretação a plasma: Fundamentos e Aplicações. Natal. EDUFRRN. 2001. Disponível em: < <http://www.labplasma.ct.ufrn.br>>. Acesso em Jan. 2014.