

# AVALIAÇÃO DA ADESÃO DOS RECOBRIMENTOS QUÍMICOS DE NiP PELO ENSAIO DE RISCAMENTO<sup>1</sup>

Antônio Nereu Moreira<sup>2</sup>  
Anne Muryel Resende Barros<sup>3</sup>  
Wagner Sade<sup>4</sup>  
Ivete Peixoto Pinheiro<sup>5</sup>

## Resumo

Os efeitos dos tratamentos térmicos sobre a microestrutura e propriedades mecânicas do recobrimento químico autocatalítico de níquel fósforo (NiP) tem despertado interesse estratégico nos segmentos industriais, por exemplo, da indústria têxtil, de petróleo, de gás e minero metalúrgico. A escassez de resultados na literatura quanto às propriedades mecânicas do recobrimento de NiP (com teores médio e elevado de fósforo) e a sua adesão ao substrato motivaram este trabalho. Recobrimentos de NiP foram depositados pelo processo autocatalítico, sobre amostras de aço ABNT 1020, com dimensões de 50 mm de largura, 50 mm de comprimento e 3 mm de espessura, pela empresa Niq-Par Indústria e Comércio Ltda. Tratamentos térmicos foram realizados com o objetivo de promover a precipitação, no intervalo de tempo de 30 minutos a 120 minutos e temperatura de 400°C, dentro de forno a vácuo, para garantir superfícies isentas de oxidação. Mediu-se a microdureza Vickers (HV) nas amostras antes e após tratamentos térmicos. O ensaio de riscamento avaliou os resultados da adesão do NiP com espessura de (29±2)µm para NP1 e (28±2)µm para NP2. Concluiu-se que houve efeito significativo do tratamento térmico e do percentual de fósforo nos resultados de microdureza e na aderência medida por riscamento (*scratch test*) aplicando forças variáveis pela técnica de penetração.

**Palavras-chave:** NiP; Deposição autocatalítica; Resistência ao desgaste; Testes de aderência.

## EVALUATION OF ADHESION OF THE NiP COATINGS CHEMICALS BY SCRATCH TEST

### Abstract

The effects of heat treatment on microstructure and mechanical properties of chemical coating with nickel phosphorous (NiP) has acquired strategic interest into industries like textiles, oil, gas and mining/metallurgical. The lack of results in the literature about mechanical properties of NiP coating (with medium and high phosphorus content) and its adhesion on the substrate motivated this work. NiP coatings were deposited on the steel ABNT 1020, with dimensions of 50mm wide, 50mm long and 3mm thick, by Niq-Par Industry and Trade Ltd. Heat treatments were performed to promote precipitation, within a vacuum furnace to ensure surfaces free of oxidation in the samples, in intervals from 30 minutes to 120 minutes and temperature of 400°C were performed. Then, was took the Vickers hardness (VH) in samples before and after heat treatment. A scratch test was performed to evaluate the results obtained to adhesion of NiP coating with thickness 29±2µm for NP1 and 28±2µm for NP2. The results suggest that was significant effect of treatment and the phosphorous content on the results of microhardness and adhesion measured using scratching and ranging the forces of indentation.

**Key words:** NiP alloys; Autocatalytic deposition; Wear resistance; Adhesion tests.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 68º Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Tecnólogo em Recurso Humano, Mestre, professor, Departamento de Engenharia de Materiais (Demat), Centro Federal de Educação Tecnológica (Cefet-MG), Belo Horizonte, MG, Brasil;

<sup>4</sup> Engenheiro Metalúrgico e de Materiais, Engenharia de Segurança do Trabalho (em andamento), Doutor, Professor do Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG), Campus Ouro Branco, MG, Brasil.

<sup>5</sup> Engenheira Química e Metalúrgica, Doutora, professora, Demat, Cefet-MG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

O desgaste e a corrosão são responsáveis por danos diretos e indiretos causando gastos anuais na ordem de bilhões de dólares. Os trabalhos de Czichos e Habig<sup>(1)</sup> e Jacomine<sup>(2)</sup> apresentam estatísticas realizadas em países desenvolvidos, as quais demonstram que cerca de 5% do PIB (Produto Interno Bruto) são gastos devido ao desgaste e à corrosão. Peças e componentes de equipamentos se degradam devido à ação corrosiva e à interação mecânica, resultando em desgaste, como exemplos podem ser citados os componentes de usinas hidroelétricas, unidade de bombeamento e transporte em plataformas marítimas e sistemas contendo fluidos corrosivos com partículas sólidas. Isso resultará numa redução da vida útil destes componentes ocasionando elevados custos de manutenção. Os diversos segmentos da indústria do petróleo, sem exceção, possuem transporte de fluidos corrosivos, contendo faixas percentuais variadas de partículas sólidas, tal fato gera perdas significativas por desgaste. Como exemplo desses fluidos cita-se: as águas marinhas, lamas marinhas e produtos cáusticos.

Uma das alternativas para minimizar o desgaste é a deposição de uma barreira entre o metal e o meio ambiente por meio de um revestimento metálico.<sup>(3)</sup> Com essa finalidade, os recobrimentos químicos de níquel e fósforo - NiP, assim simbolizado e identificado pela norma ISO 4527 -2003,<sup>(4)</sup> estão sendo alvo de maiores estudos visando aumentar a sua eficiência e a vida útil de componentes como pinos, engrenagens, olhal de ancoragem, umbilicais submarinos, bem como de tubos transportadores de petróleo, conforme observado nos trabalhos de Cardoso.<sup>(5)</sup> O recobrimento autocatalítico de NiP foi desenvolvido por Brenner, em 1946. O processo consiste na redução química, sem a utilização de corrente elétrica, de íons níquel,  $Ni^{+2}$ , reduzidos a  $Ni^0$  e de  $NaH_2PO_2$ , íons  $(H_2PO_2)^-$  reduzidos a  $P^0$ , que são depositados sobre superfícies à temperatura de 90°C. O processo é realizado mais frequentemente em solução de sulfato de níquel e hipofosfito de sódio. Segundo Branco e Sade<sup>(6,7)</sup> o potencial de hidrogenação (pH) da solução deve ser monitorado de acordo com a percentagem de fósforo requerida. Dentre as principais propriedades observadas para os revestimentos de NiP estão a resistência à abrasão e ao riscamento. Além disso, os processos químicos apresentam como vantagem sobre outros processos de deposição, a capacidade de produzir espessuras homogêneas de baixo percentual de porosidade.

Este trabalho procurou estudar os recobrimentos de NiP obtidos pelo processo químico autocatalítico e tratados termicamente. Os tempos dos tratamentos térmicos para endurecimento por precipitação foram investigados, além de pesquisar a influência do teor de fósforo, NP1(Ni -  $8 \pm 1\%P$ ) e NP2(Ni -  $10 \pm 1\%P$ ) na adesão e no desempenho mecânico. Os tratamentos térmicos de endurecimento por precipitação do recobrimento de NiP foram realizados com tempos variando entre 30 a 120 minutos e temperatura de 400°C, dentro de forno a vácuo, para garantir superfícies isentas de oxidação. As amostras foram caracterizadas por diferentes técnicas, envolvendo ensaio de microdureza e ensaio de aderência por riscamento com aplicação de força variável.

### 1.1 Relevância para Realização do Trabalho

A utilização dos aços inoxidáveis nem sempre é economicamente viável, bem como a do aço estrutural de alta resistência à corrosão atmosférica, ou seja, um aço de baixa liga que recebe em sua composição química pequenas quantidades de outros

elementos tais como, níquel, fósforo, cromo, cobre e etc. Neste cenário, surge a possibilidade de uso do recobrimento do substrato metálico como uma forma inteligente de inibir o desgaste e aumentar a resistência superficial, numa tentativa de prolongar a vida útil das ligas ferrosas. O objetivo deste trabalho é pesquisar parâmetros/condições de tratamento térmico para endurecimento por precipitação, que proporcione maior resistência ao desgaste, bem como melhorias na aderência do filme de NiP.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Geral

Modificar a microestrutura do recobrimento químico de níquel fósforo (NiP) sobre a superfície do aço ABNT 1020 por meio de tratamento térmico de precipitação, visando o aumento da resistência ao desgaste.

### 2.2 Específicos

Avaliar a microdureza dos recobrimentos, com dois percentuais de fósforo (médio e alto), antes e após tratamentos térmicos com diferentes tempos e temperatura de 400°C.

Analisar a aderência do recobrimento de NiP sobre o aço ABNT1020 pelo processo de riscamento com carga progressiva pela técnica de penetração.

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Amostras em chapas de aço, perfil quadrado com 50 mm de aresta e 3 mm de espessura foram preparadas para a deposição autocatalítica de NiP, realizada pela empresa NiqPar Indústria e Comércio Ltda, em banhos químicos com pH entre 4 e 5 e adição de fósforo com médio e alto percentual de fósforo, respectivamente denominados NP1 e NP2. As amostras foram analisadas por fluorescência de raios X (FRX).

As amostras com recobrimento de NiP foram submetidas a tratamentos térmicos de endurecimento por precipitação, com tempos variando entre 30 a 120 minutos e temperatura de 400°C, dentro do forno tubular a vácuo com  $1,33 \times 10^{-3}$  GPa, modelo Workhorse Vacuum Furnace no CDTN, para garantir superfícies isentas de oxidação.

Para determinar a espessura da camada de NiP, as amostras foram embutidas em resina acrílica, preparadas em lixas d'água de 240, 320, 400, 600 mesh e posteriormente polidas em pasta de diamante com granulometrias de 3µm e 1µm, utilizou-se o reagente nital a 3% por cerca de 20 segundos. Essas amostras foram visualizadas ao microscópio óptico, modelo Kontrol – IM 713 e ao microscópio eletrônico de varredura modelo SSX – 550 SHIMADZU.

A microdureza Vickers, com carga aplicada de 0,098N (10gf), durante 15 segundos, foi realizada no microdurômetro modelo HNV – 2 – Series – Shimadzu na PUC–Contagem-MG.

### 3.1 Ensaio de Riscamento

Para o ensaio de riscamento por penetração, segundo a norma DIN V ENV 1071 –3 1994<sup>(8)</sup>, utilizou-se um penetrador cônico de diamante (Rockwell) com cargas progressivas ao longo de um risco traçado sobre o recobrimento, conforme figura 1 e que, posteriormente, foi submetido à análise de microscopia óptica e eletrônica de varredura, procedimento semelhante ao usado por Sade<sup>(7)</sup>.

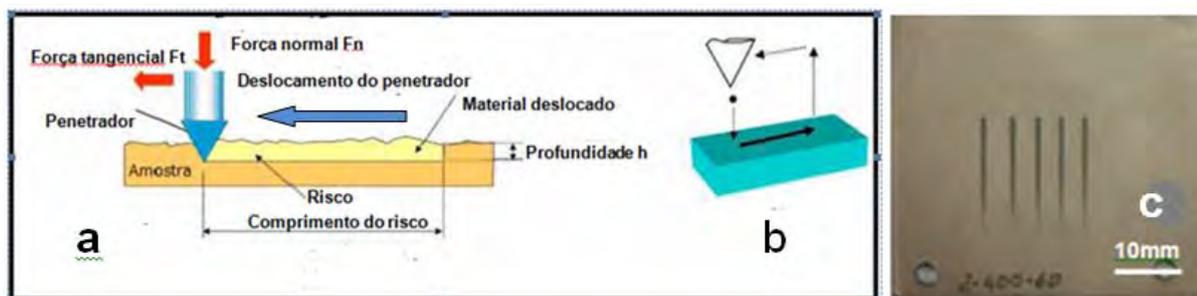


Figura 1. (a) Ensaio por riscamento; (b) ciclo de deslizamento e (c) amostra com os 5 riscos do teste.

Conforme Aguilá<sup>(9)</sup> e Paes,<sup>(10)</sup> a adesão prática é definida pela resistência ao risco em função da carga normal por unidade de área ao longo do riscamento. De acordo com as propriedades das superfícies, o estado de tensão e deformação ao longo do deslocamento dos materiais pode ocorrer como representado na Figura 2.<sup>(9)</sup>

Define-se:

- micro arrancamento: o penetrador provoca deformações plásticas sem provocar perda de material que, deformado, flui lateralmente;
- micro corte: a tensão cisalhante arranca fragmentos na forma de microcavacos; e
- micro deslocamento: grandes fragmentos são subitamente arrancados da superfície da amostra devido à formação e propagação de trincas.

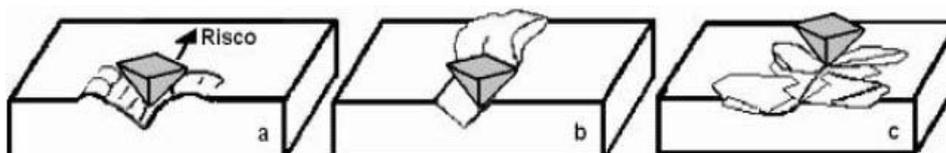


Figura 2. Deformações: (a) micro arrancamento; (b) micro corte e (c) micro deslocamento.<sup>(9)</sup>

Este mecanismo é restrito a materiais frágeis e ocorre quando as tensões produzidas pelo penetrador excedem aos valores críticos. No ensaio de riscamento usou o Revetest CSEM no Cetec - FIEMG, com penetrador Rockwell C, de diamante cônico e ângulo de 120°, com força progressiva até 200N/min e velocidade de 20mm/min, com extensão de 20mm. Foram coletados dados da força normal (N), coeficiente de atrito, força tangencial e emissão de ruído provocado pelo atrito do penetrador durante o riscamento. Na elaboração dos gráficos foi utilizado o coeficiente de atrito e a força normal, o que possibilitou a identificação de limites de resistência e falhas associadas aos recobrimentos tratados termicamente.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As análises de composição química realizadas por ensaio de espectroscopia de fluorescência de raios-X (FRX) são apresentadas na Tabela 1.

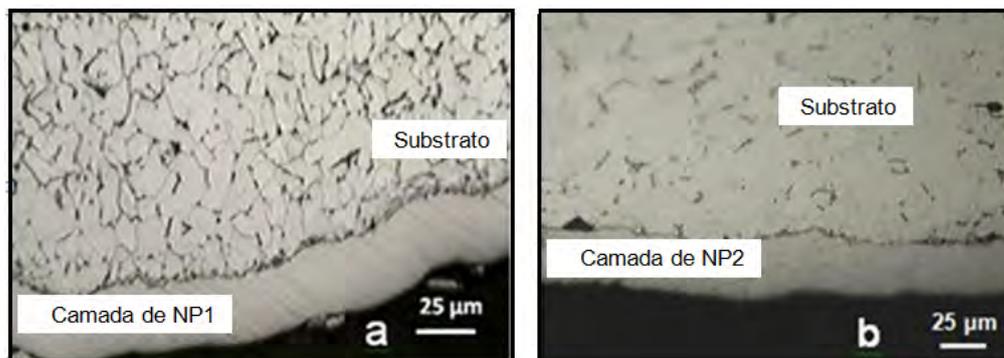
**Tabela 1.** Resultado da análise química realizada por fluorescência de raios-X

Camada	Ni(%)	P(%)	Fe(%)
NP1	92	7	1
NP2	87	11	2

#### 4.1 Avaliação Metalográfica

A microestrutura típica de aço de baixo carbono pode ser visualizada na Figura 3, aço hipoeutetóide com predominância de ferrita e baixo percentual de perlita, nas proporções esperadas para este aço (substrato), sem presença de camada decarbonetada ou quaisquer descontinuidades na interface com o recobrimento. Observa-se que as espessuras dos recobrimentos variaram de  $(29 \pm 2) \mu\text{m}$  para o NP1 (Figura 3a) e  $(28 \pm 2) \mu\text{m}$  para o NP2 (Figura 3b).

Os resultados apresentados por Sade<sup>(7)</sup> mostraram que a microdureza dos recobrimentos NiP aumentaram com a temperatura até 400°C, devido à cristalização das fases presentes de níquel  $\beta$  e fosfetos. A partir de 400°C, com o coalescimento dos precipitados, a microdureza diminui até 650°C, na região de superenvelhecimento.



**Figura 3.** Microestrutura do substrato e camada de recobrimento de NiP: (a) NP1 e (b) NP2.

A microdureza encontrada para os recobrimentos sem tratamento térmico foi de 229HV para NP1 e de 262HV para NP2, portanto, a amostra com maior teor de fósforo apresentou microdureza mais elevada. Neste trabalho, o objetivo era verificar a variação dos resultados de microdureza alcançados no tratamento de precipitação, realizado no forno a vácuo, com diferentes tempos. O gráfico apresentado na Figura 4 mostra os resultados da microdureza para os recobrimentos NP1 e NP2, indicando alterações nas microdurezas obtidas para as duas condições de contorno dos recobrimentos, tratados com tempos variando entre 30 a 120 minutos e temperatura de 400°C, dentro do forno tubular a vácuo. A microdureza aumentou com o tempo, atingindo o máximo com 60 minutos. Após esse tempo, observou-se uma queda de microdureza acentuada para a condição do NP2.

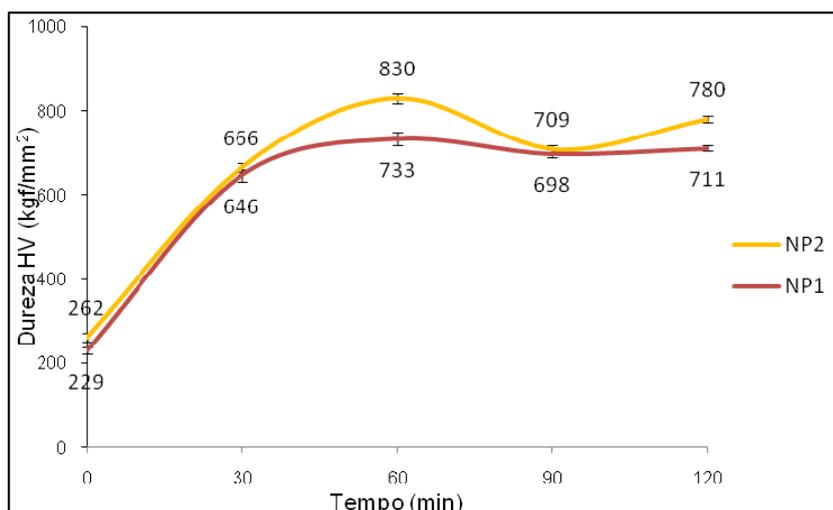


Figura 4. Microdureza de NP1 e NP2 em HV.

## 4.2 Teste de Aderência por Riscamento

Com dados da força normal e o coeficiente de atrito construiu-se o gráfico (Figura 5a) para avaliar a adesão prática dos recobrimentos após riscamento para a condição do recobrimento NP1, com tratamento térmico realizado no forno a vácuo, a 400°C durante 60 minutos. As análises de microscopias ópticas e a emissão acústica determinaram as regiões de transições de cargas críticas (*Critical Load*), de acordo com os trabalhos apresentados por Santos.<sup>(11)</sup> Na qual LC1 indica o surgimento das primeiras trincas no filme de NiP; LC2 indica os primeiros pontos de exposição do substrato e LC3 indica a delaminação total do filme NiP conforme imagem microscópica óptica da Figura 5b. Nos dados da Figura 5a, a carga crítica LC1 (primeiras trincas) ocorreu com a força de 28,0N, a LC2 (ponto de exposição do substrato) ocorreu a  $61,5 \pm 4N$  e a LC3 (desintegração total do filme de NiP) com a carga de 94,5N.

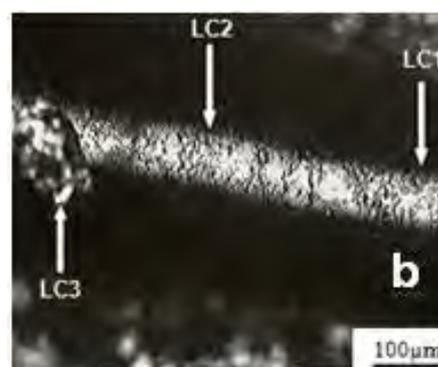
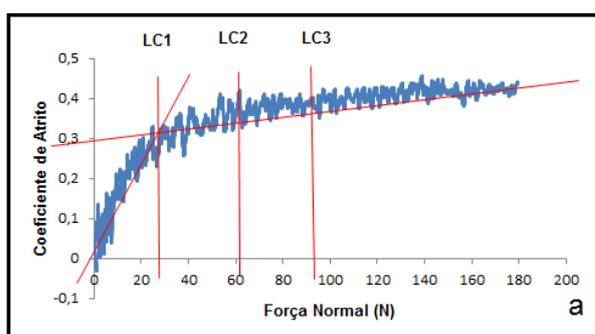
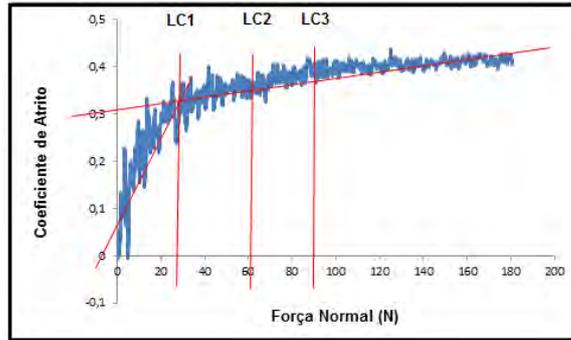
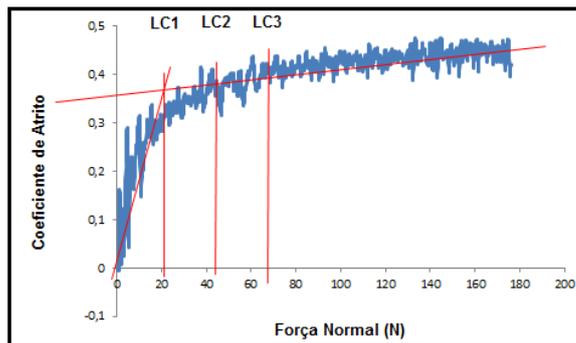


Figura 5. Determinação das cargas críticas do NP1 com tratamento térmico a 400°C, 60min, forno a vácuo: a) com uso do gráfico de força normal X coeficiente de atrito e b) com uso do microscópio óptico.

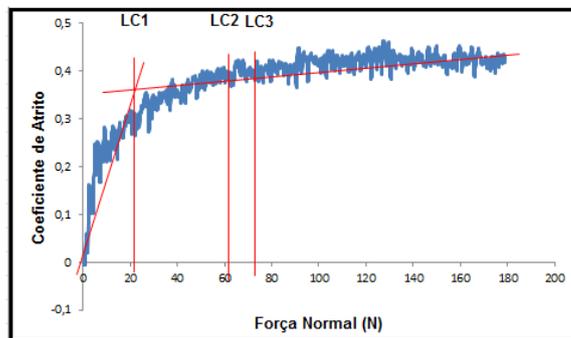
O ensaio de riscamento foi realizado para a condição do recobrimento NP2 com tratamento térmico realizado no forno a vácuo, a 400°C durante 60min, a Figura 6 apresenta a determinação das cargas críticas com uso do gráfico de força normal X coeficiente de atrito. Para as amostras com recobrimento NP1 e NP2 sem tratamento térmico as cargas críticas foram determinadas com uso do gráfico de força normal X coeficiente de atrito, Figuras 7 e 8, respectivamente.



**Figura 6.** Determinação das cargas críticas do NP2 com tratamento térmico a 400°C, 60min, forno a vácuo, com uso do gráfico de força normal X coeficiente de atrito.



**Figura 7.** Determinação das cargas críticas do NP1 sem tratamento térmico, com uso do gráfico de força normal X coeficiente de atrito.

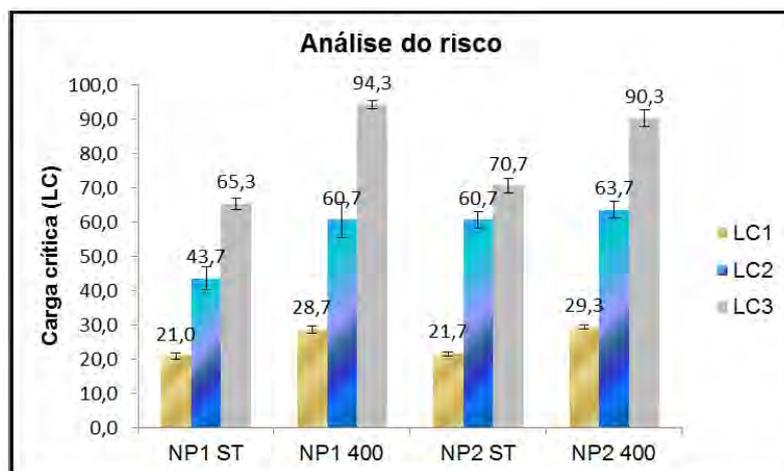


**Figura 8.** Determinação das cargas críticas do NP2 sem tratamento térmico, com uso do gráfico de força normal X coeficiente de atrito.

A Figura 9 mostra os resultados das cargas críticas (LC1, LC2 e LC3) dos ensaios realizados nessa seção para o recobrimento de NP1 e NP2, sem tratamento térmico e com tratamento térmico a 400°C, durante 60min, no forno a vácuo. Foram selecionados três gráficos de força normal X coeficiente de atrito para cada amostra a fim de realizar o cálculo da média e desvio padrão das cargas críticas. As amostras tratadas termicamente mostraram cargas críticas significativamente maiores que as dos recobrimentos sem tratamento térmico. Para o recobrimento NP1 com tratamento térmico a 400°C, durante 60min, o valor da carga crítica LC1 apresentou um aumento de 36,6%; a carga crítica LC2 apresentou um aumento de 38,9% e a carga crítica LC3 apresentou um aumento de 44,4% em relação à amostra NP1 sem tratamento térmico (NP1 ST). Para o recobrimento NP2 com tratamento térmico a 400°C, durante 60min, o valor da carga crítica LC1 apresentou um aumento de 35,0%; a carga crítica LC2 apresentou um aumento de 4,9% e a carga crítica LC3 apresentou um aumento de 27,7% em relação à amostra NP2 sem

tratamento térmico (NP2 ST). O aumento das cargas críticas dos recobrimentos com tratamento térmico pode ser atribuído ao aumento da microdureza devido à precipitação de Ni<sub>3</sub>P, o que aumenta a capacidade de suporte de cargas do recobrimento, ou seja, dificulta a penetração no teste de riscamento. Além disso, ocorre também, uma maior adesão do recobrimento ao substrato devido à difusão do Ni no aço carbono ABNT 1020. Segundo Jacomine<sup>(2)</sup> a espessura da camada interdifundida para o Ni-9%P, no substrato ABNT 1015, com as temperaturas de 600, 620 e 650°C e tempo de tratamento de 1 hora foi semelhante e igual a 1,5µm. Nos trabalhos de Sade,<sup>(7)</sup> verificou-se que a camada interdifundida para Ni-8%P e Ni-10%P foi de aproximadamente de 2µm. Portanto, apesar dessa camada interdifundida não ter sido determinada no presente trabalho, acredita-se que a mesma contribuiu de forma significativa para o aumento da adesão dos recobrimentos tratados termicamente.

Comparando NP1ST com NP2ST a carga crítica LC1 foi praticamente igual, LC2 38,9% maior para o NP2ST e LC3 8,2% maior para NP2ST. Portanto, com os ensaios de riscamento realizados, pode-se concluir que a adesão do NiP no substrato de aço ABNT 1020 ocorre com resultados significativos. Um dos fatores que contribuiu como parte importante nos resultados alcançados foi a preparação da superfície antes de realizar os recobrimentos de NiP.



**Figura 9.** Cargas críticas dos recobrimentos NP1 e NP2 sem tratamento térmico e com tratamento térmico a 400°C, 60 min, forno a vácuo, obtidas com uso do gráfico de força normal X coeficiente de atrito.

A Figura 10 mostra aspecto microtopológicos dos riscos, obtidos por meio do microscópio eletrônico de varredura. Observou-se que as amostras dos recobrimentos sem tratamentos térmicos apresentaram delaminações no interior e ao longo das bordas dos riscos. A morfologia das trincas encontradas foi do tipo semicircular, características de recobrimentos com tensões internas trativas. Trincas semelhantes foram encontradas nos trabalhos de Santos.<sup>(11,12)</sup> O número de trincas semicirculares geradas no recobrimento NP1 sem tratamento térmico foi muito maior que no recobrimento NP2 sem tratamento térmico, tal fato pode ser constatado nas Figuras 10a e 10b. Para as amostras com recobrimento tratadas termicamente (Figuras 10c e 10d), o processo de falha foi diferenciado das amostras sem tratamento térmico (Figuras 10a e 10b), foi verificado que nessas amostras a delaminação ocorreu apenas nas bordas dos riscos. Além disso, as trincas semicirculares não foram detectadas, tal fato já era esperado, uma vez que os tratamentos térmicos geram alívio de tensões internas.

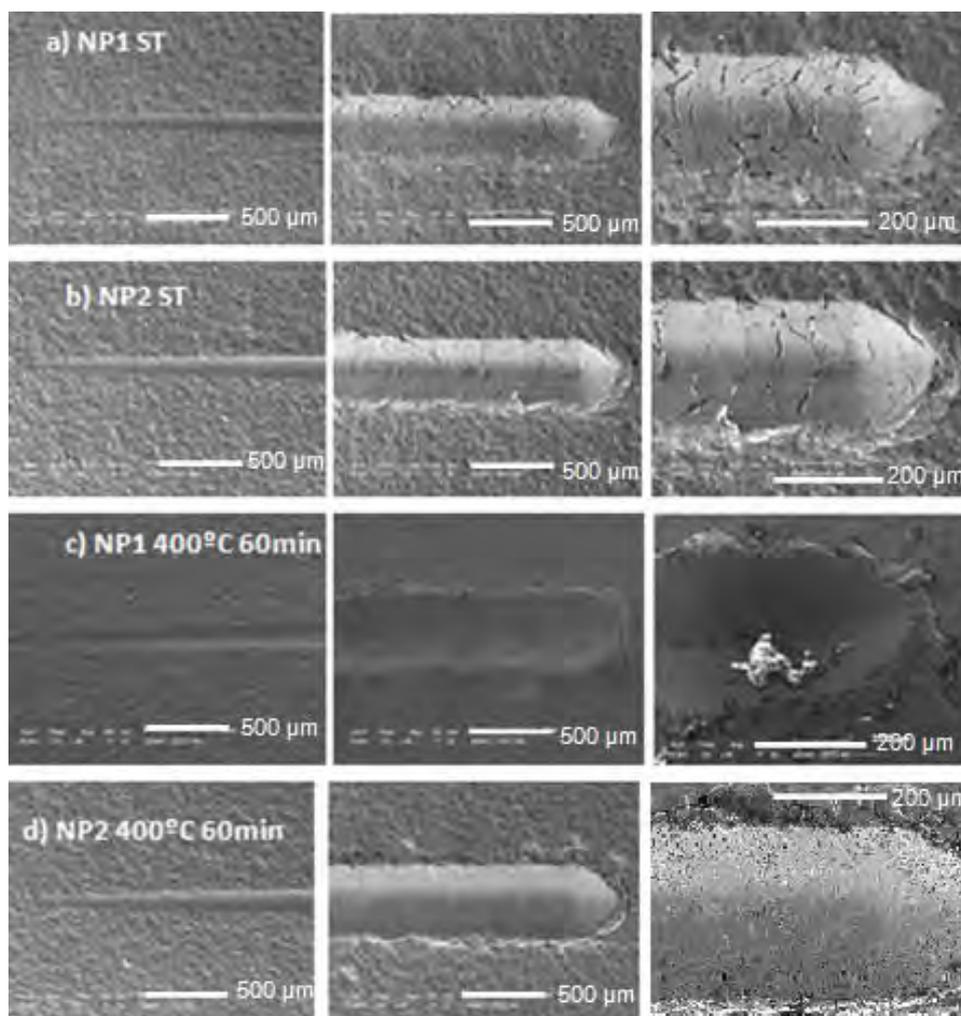


Figura 10. Aspecto microtopológicos do risco. a) NP1ST; b) NP2ST; c) NP1 400°C 60min e d) NP2 400°C 60min.

## 5 CONCLUSÃO

No presente trabalho foram avaliados os efeitos dos principais parâmetros de produção de revestimentos NiP sobre a microdureza e adesão. Os parâmetros de produção analisados foram o teor de fósforo do recobrimento de NiP e os tratamentos térmicos de endurecimento por precipitação. Foram realizados ensaios de microdureza, difrações de raios-X, microscopia eletrônica de varredura e resistência ao riscamento. Os resultados obtidos permitiram concluir que:

- o tratamento térmico do recobrimento de NiP proporcionou aumento da microdureza, possivelmente, devido à formação de precipitados de  $\text{Ni}_3\text{P}$  ao longo da matriz de Ni;
- para as condições de contorno estudadas, o melhor resultado ocorreu para as amostras tratadas termicamente a 400°C, durante 60 minutos, nas quais, o recobrimento com alto percentual de fósforo (NP2) apresentou, no ensaio de microdureza (HV), valor experimental superior ao do recobrimento de médio percentual de fósforo (NP1);
- como resultado do tratamento térmico, observou-se um aumento da adesão do filme de NiP (avaliado por ensaio de riscamento). Tal fato se justifica, em parte, pela transformação da solução sólida supersaturada de NiP nas fases Ni ( $\beta$  e  $\gamma$ ) e na precipitação de  $\text{Ni}_3\text{P}$ . O aumento das cargas críticas dos

recobrimentos com tratamento térmico pode ser atribuído a uma elevação da microdureza (HV) devido à precipitação de Ni<sub>3</sub>P, o que acarreta um incremento na capacidade de suporte de cargas do recobrimento, em outras palavras, dificulta o riscamento realizado pelo penetrador durante o ensaio. Além disso, em conformidade com dados da literatura, a maior adesão dos recobrimentos NP1 e NP2 após tratamento térmico pode ser atribuída, também, aos processos difusionais do Ni no aço carbono ABNT 1020; e

- os recobrimentos NP1 e NP2 após tratamento térmico de precipitação (T= 400°C, 60min.) apresentaram cargas críticas semelhantes.

## Agradecimentos

CETEC/SENAI/FIEMG, Centro de Desenvolvimento e Tecnologia Nuclear - CDTN, Instituto Federal de Minas Gerais – IFMG, Campus Ouro Branco, PUC- Contagem - MG, DEMAT-CEFET-MG.

## REFERÊNCIAS

- 1 CZICHOS, H.; Habig, K.H.; Tribologie handbuch – Reibung und Verschleiß, **Vieweg Verlag**, Braunschweig, 1992.
- 2 JACOMINE, L. **Efeito de parâmetros de produção de recobrimentos de níquel químico sobre a resistência ao desgaste abrasivo**, 148 f. 2004. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2004.
- 3 MAINIER, B. F.; TAVARES, S. S. M.; SANDRES, G. C. Avaliação de revestimentos de níquel-fósforo aplicado em equipamentos utilizados na produção de petróleo. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ENGENHARIA MECÂNICA Cusco. **Anais...** Cusco, 2007.
- 4 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 4527**: metallic coatings: specification and test methods. Geneva, 22p. 2003.
- 5 CARDOSO, Cristiano. **Revestimento de níquel químico para proteção contra corrosão**. 276p. 2006 Dissertação (MESTRADO), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo: 2006..
- 6 BRANCO, J.R.T., NEIVA, E.G., MORAIS, C.M. Desenvolvimento de recobrimentos Ni-P para cardinha têxtil. **Relatório Anual**. Belo Horizonte: CETEC, 2003.
- 7 SADE, Wagner. **Microestrutura e propriedades mecânicas de recobrimentos químicos de Ni-P**. 82f. 2005. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Ouro Preto.
- 8 **DIN V ENV 1071-3** (1994) Advanced Technical Ceramics - Methods Of Test For Ceramic Coatings - Part 3: Determination Of Adhesion By A Scratch Test.
- 9 AGUILA, Jaime F. V. **Avaliação de revestimentos resistentes à corrosão e desgaste, aplicados por aspersão térmica ao arco**: um estudo para proteção de ponteiros de “risers”. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2005. 92 p.
- 10 PAES, M. P. Utilização de revestimentos de níquel químico submetidos a condições de desgaste e corrosão em meio marinho atmosférico severo e submerso. In SEMINÁRIO DA DISCIPLINA MICROESTRUTURA DO DESGASTE, Universidade Federal de Uberlândia, **Anais...** Uberlândia, 2000.
- 11 9 - SANTOS, S. G. **Avaliação do efeito de modificações superficiais a plasma no desempenho frente ao desgaste de um aço baixa liga**: estudo da correlação entre profundidade de endurecimento e melhoria de desempenho. 139f. 2009. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte, 2009.

- 12 SANTOS, Sandra Goulart; PINTO, Daniel Pereira; MANCOSU, Rafael Drumond; GODOY, Cristina. Influência da nitretação a plasma e deposição de filme Cr- Al-N no tempo de incubação e período de erosão da cavitação do aço ABNT 4140. In CONGRESSO DA ABM, 64. 13-17 Julho 2009, Belo Horizonte, **Anais...** Belo Horizonte, 2009.