



### **Grupo de Estudo de Geração Hidráulica-GGH**

#### **Evolução Tecnológica da Recuperação por Soldagem e Aspersão Térmica de Rotores de Turbinas de Usinas Hidrelétricas.**

**ROMILDO TRISTANTE(1); RODOLPHO FERNANDO VÁZ(2); ANDERSON GERALDO MARENDA PUKASIEWICZ(3); CARLO GIUSEPPE FILIPPIN(2); LUIZ ALBERTO JORGE PROCOPIAK(1); RAMON SIGIFREDO CORTÉS PAREDES(4); ANDRE RICARDO CAPRA(2); Copel GET(1); LACTEC(2); UTFPR(3); UFPR(4);**

#### **RESUMO**

Rotores em hidrelétricas são solicitados e susceptíveis a falhas e desgastes: trincas, erosão e cavitação. A Copel GeT, Lactec, UFPR e UTFPR têm desenvolvido PeD ANEEL, abordando recuperação de rotores por soldagem e aspersão térmica. Pondera-se a importância desse estudo, visto que os rotores de inox tem cada vez mais aplicação e suas propriedades mecânicas são alteradas pela soldagem.

Avaliaram-se os mecanismos de degradação nos rotores e em revestimentos, sendo desenvolvidas ligas resistentes à cavitação, que demonstram semelhante e até superior resistência ao desgaste que os substratos de aço, sem os prejudiciais efeitos térmicos, típicos de soldagem a arco.

#### **PALAVRAS-CHAVE**

Recuperação; Rotores; Desgaste; Trincas; Cavitação.

#### **1.0 - INTRODUÇÃO**

Rotores hidráulicos são partes de turbinas para geração de eletricidade em centrais hidrelétricas, sejam elas de qualquer tamanho ou capacidade de geração. Esses rotores são de diferentes tipos e formatos, com destaque para rotores dos tipos Pelton, Francis e Kaplan, indicados na FIGURA 1, ponderando que há variações desses com diferentes configurações (1). Esses rotores são comumente fabricados em metais ferrosos, com diversos exemplos de aplicação de aços carbono, aços inoxidáveis e ferros fundidos, sendo que cada um desses materiais tem suas vantagens e desvantagens para justificar o uso. Aços carbono são menos onerosos para fabricação e possuem adequada soldabilidade, já ferros fundidos são mais facilmente envasados para fundição, mas tem soldabilidade limitada e carente de cuidados, e os aços inoxidáveis da família dos martensíticos tem elevada resistência mecânica e ao desgaste, mas são mais caros e carecem de cuidados para soldagem.

A fabricação desses rotores pode ser feita por diferentes técnicas, processo de fundição do rotor em uma única peça – Monobloco –, fabricação por fundição, usinagem ou conformação de diferentes partes do rotor e posterior soldagem dessas partes – Mecano-Soldada – ou usinagem do rotor a partir de um bloco são exemplos de técnicas aplicadas.

Os rotores estão sujeitos a diferentes solicitações, sejam mecânicas, desgaste por erosão ou através de cavitação. Cada um desses fenômenos pode ser analisado individualmente, mas é importante ponderar que podem, e normalmente o fazem, de modo sinérgico, ocorrendo mais de um ao mesmo tempo no rotor.

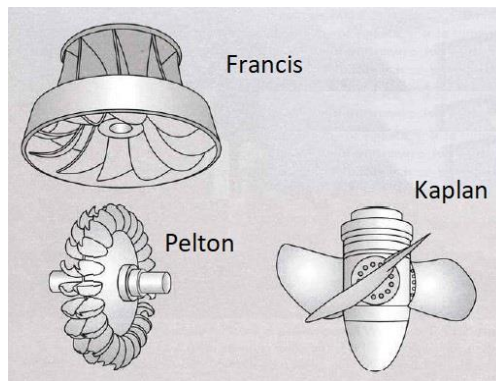


FIGURA 1 – Principais tipos de rotores hidráulicos aplicados em centrais hidrelétricas. Adaptado de (1).

As solicitações mecânicas nos rotores são inerentes à operação, com a passagem da água pelas pás, resultantes de impactos de objetos estranhos, como pedras, madeira ou gelo, para usinas que usam água de degelo, entre outros fatores possíveis. Dessa operação podem surgir sobrecargas no material ou nucleação de trincas em imperfeições, sendo essas trincas propagadas pelo fenômeno da fadiga mecânica, típica em componentes sujeitos à carregamentos cíclicos, como os rotores. Pode-se citar como nucleadores de trincas: pites de corrosão, entalhes oriundos do impacto de corpos duros contra o rotor, desgaste por cavitação ou erosão, defeitos ou descontinuidades de soldagem e alterações metalúrgicas do material, como fases frágeis, por exemplo. Na FIGURA 2 há indicação de uma trinca propagada em rotor tipo Pelton, fabricado em aço carbono e previamente reparado, com deposição de aço inoxidável.

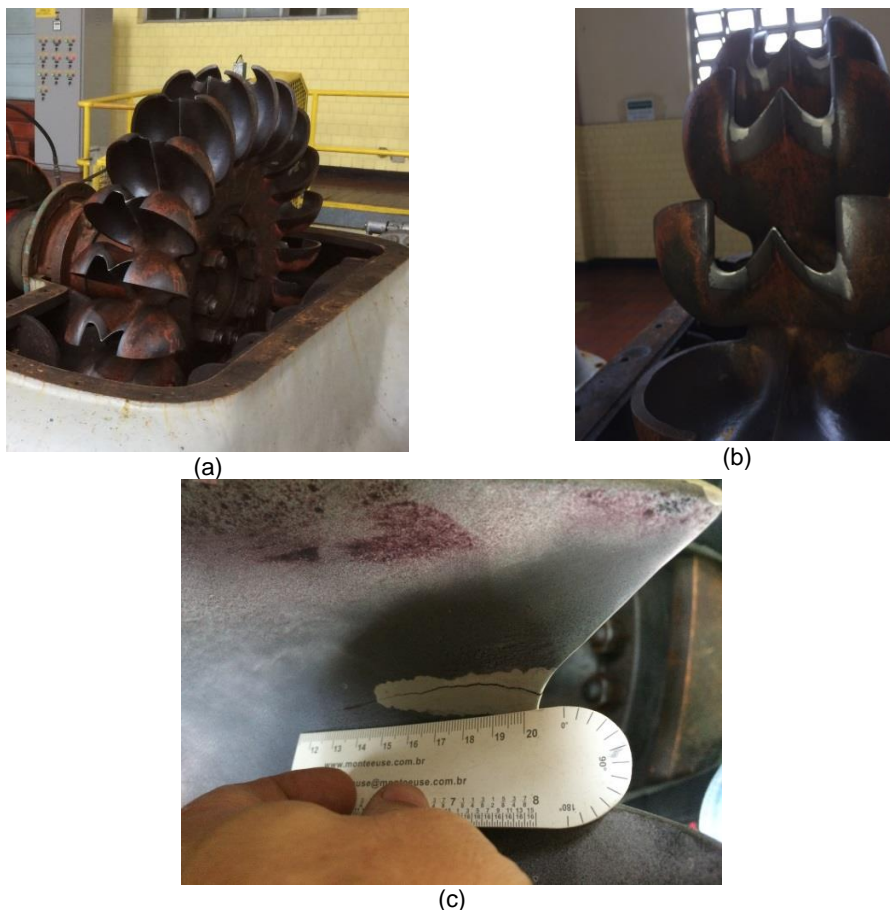


FIGURA 2 - Trinca nucleada e propagada em concha de rotor tipo Pelton da Usina Hidrelétrica Marumbi. (a) vista geral, (b) localização da trinca e (c) detalhe da trinca.

A erosão é a perda de massa de determinadas regiões das turbinas, em virtude da passagem de particulado arrastado pelo fluxo de água. Esse desgaste depende de velocidade da água, tamanho, concentração e dureza das partículas suspensas (2). A perda de massa altera o perfil hidráulico projetado para a pá, reduzindo o rendimento da máquina e provocando vibração além do previsto. Na FIGURA 3 tem-se exemplos de desgaste por erosão.

Define-se cavitação como o desgaste de um corpo com movimento relativo em um líquido, colapsando bolhas em determinadas regiões desse corpo, que pode causar ondas de choque ou microjatos próximos à superfície do metal (3). Esse colapso de bolhas produz esforços elevados o suficiente para danificar o material, causando sua erosão e perda de massa. Na FIGURA 3, ilustra-se o desgaste pelo fenômeno da cavitação em rotor de aço carbono com regiões soldadas com aço inoxidável. Nota-se a severa perda de massa e alteração de perfil hidráulico da pá.

A recuperação de rotores que venham a apresentar esses desgastes pode ser feita por diferentes técnicas, destacando o uso de soldagem a arco elétrico ou de aspersão térmica para reconstituição da geometria do rotor às condições previstas em projeto (4). Alguns materiais carecem de cuidados pré e pós soldagem, para que não haja redução de tenacidade do material após as recuperações, visto que se isso ocorrer, a integridade do equipamento fica comprometida.

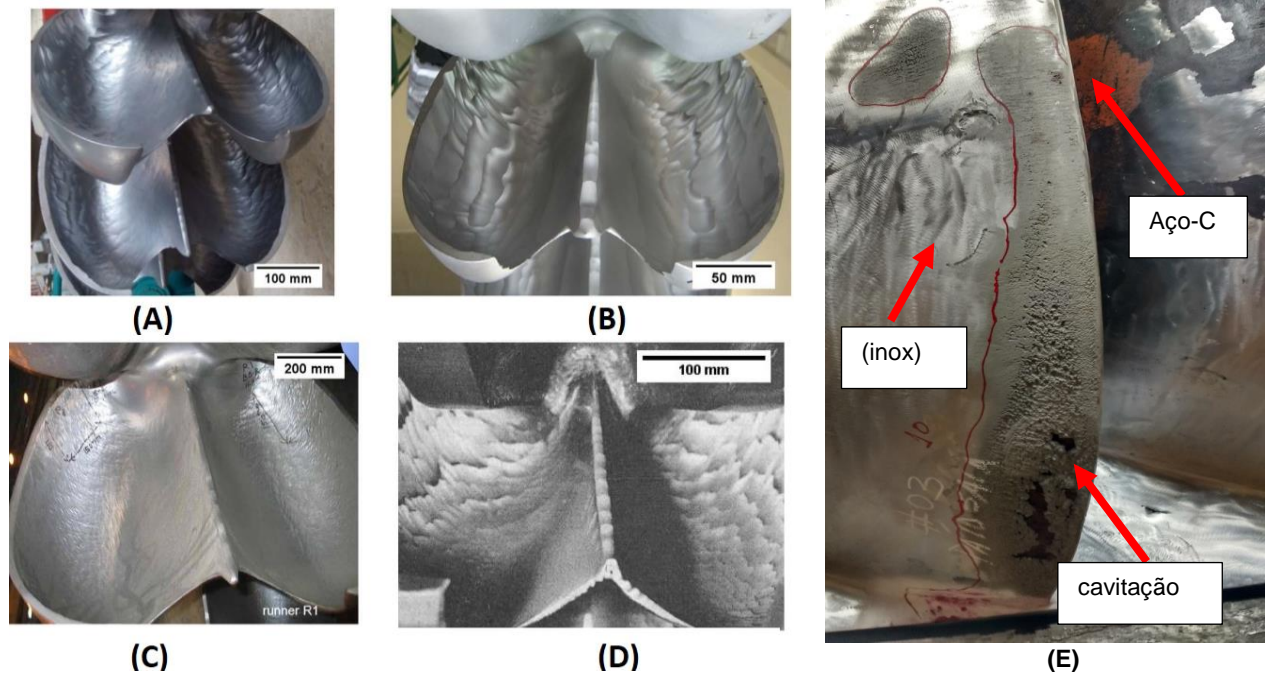


FIGURA 3 – Desgaste por erosão em conchas de rotor tipo Pelton das Usinas Hidrelétricas de (A) Toss – Índia –, (B) Dorferbach – Austria –, (C) Baspa – Índia –, (D) Aletsch – Suíça. Adaptado de (2). (E) Regiões desgastadas por cavitação em pá de rotor tipo Francis da Usina Hidrelétrica GBM.

## 2.0 - HISTÓRICO DE RECUPERAÇÕES

A Copel GeT tem concessão para operação e manutenção de centrais hidrelétricas de diversos tamanhos e capacidades de geração, com rotores de diferentes tipos, materiais de fabricação e idades. Assim, a grande maioria dos exemplos de recuperações a serem citados e discutidos, serão referentes aos rotores sob concessão dessa concessionária. Além disso, Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) foram executados pelo Lactec, sob proposição da Copel GeT, abordando esse assunto de soldagem e aspersão térmica para recuperação de rotores, pautando as discussões (5) (6).

Turbinas tipo Francis, Pelton ou Kaplan de diferentes tamanhos podem apresentar desgaste erosivo por cavitação ou propagação de trincas, que podem ser nucleadas em defeitos de fundição, pites de corrosão ou por impacto de pedras ou outros objetos duros. O mecanismo de propagação das trincas no aço carbono é a fadiga mecânica no modo dúctil, que é característica desse tipo de material. Atualmente, o procedimento de recuperação de trincas segue cronologicamente as seguintes etapas: delimitação da região afetada pela trinca com ensaio não destrutivo ou inspeção visual, eliminação completa dessa descontinuidade por goivagem e/ou usinagem, garantia de isenção de descontinuidades através de ensaio por líquidos penetrantes, soldagem para enchimento do chanfro, acabamento superficial, recuperação de perfil hidráulico e inspeção final por ensaio não destrutivo da região soldada (4). Os mesmos passos são seguidos para recuperação de regiões desgastadas.

Entretanto, há relatos de outras técnicas para essas recuperações, tais como a inserção de peças metálicas para preenchimento do chanfro aberto e posterior soldagem no entorno desses inserts, soldagem sobre trincas não completamente eliminadas, preenchimento de regiões desgastadas com polímeros ou resinas resistentes ao desgaste e outras soluções alternativas.

## 2.1 Rotores de Ferro Fundido

Rotores fabricados em ferro fundido apresentam severas complicações no que tange à recuperação por soldagem, isto porque o ferro fundido usado na fabricação de rotores (tipo cinzento ou nodular) apresenta o microconstituente grafita precipitado no material, seja na forma de esferas ou nódulos, veios ou outro formato. Esse microconstituente garante características desejáveis no tange à resistência à fadiga e ao impacto, mas reduz a soldabilidade desse material, visto que na região da solda, em função das elevadas velocidades de resfriamento do metal de solda e das temperaturas obtidas na zona termicamente afetada, forma-se ferro fundido branco, que é pouco resistente às tensões de contração térmica durante resfriamento da peça soldada ocasionado trincas.

Tal fato foi verificado na soldagem de rotor tipo Francis da Usina Hidrelétrica de Cavernoso. O rotor – FIGURA 4 (a) – apresentou trinca propagada por fadiga mecânica no engaste de uma pá com o cone, revelada em ensaio por líquidos penetrantes – FIGURA 4 (b) –. A microestrutura do material revelou que o cone era fabricado em ferro fundido vermicular – FIGURA 4 (c) – e as pás em aço carbono – FIGURA 4 (d) –, sendo a soldagem foi executada pelo processo Eletrodo Revestido (SMAW), com deposição de ASME SFA 5.15 ENiCl e interpasse abaixo de 50 °C. Entretanto, durante a soldagem, novas trincas propagavam-se na zona termicamente afetada e a recuperação não foi bem sucedida. A solução fora a substituição do cone por um fabricado em aço SAE 1020, com soldagem das pás pelo processo TIG (GTAW) e deposição de AWS A5.1 70S-3, sendo essa solução efetiva, visto que é bastante satisfatória a soldabilidade das duas partes de aço carbono.

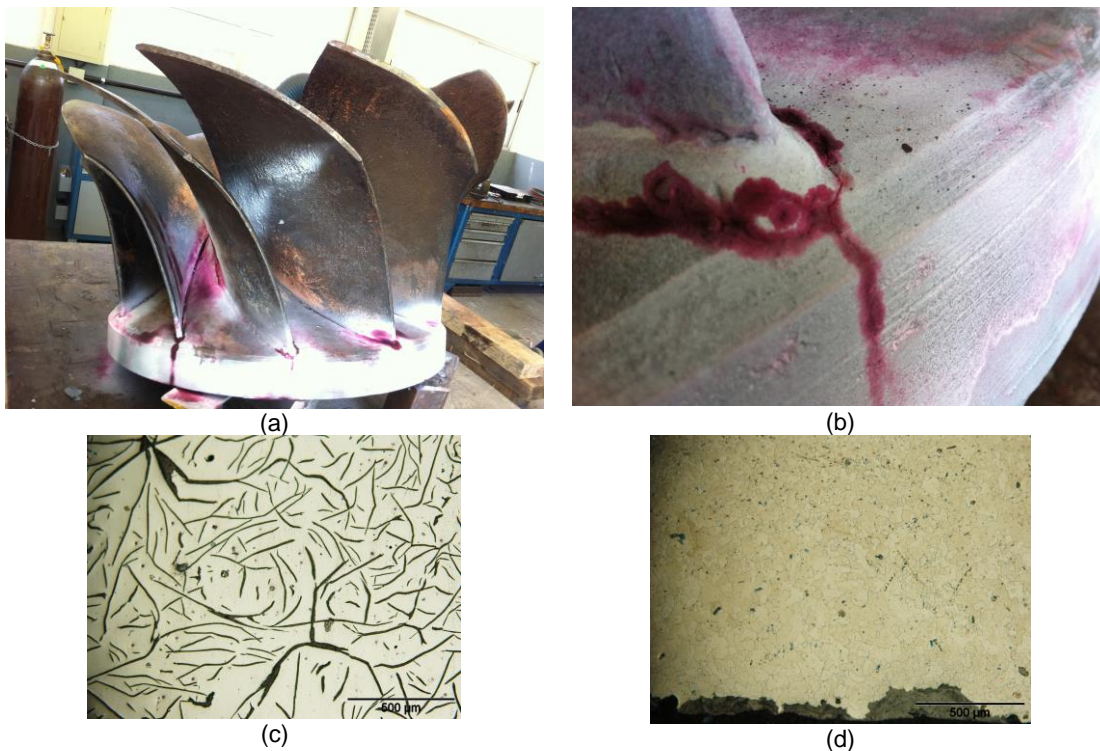


FIGURA 4 – Recuperação de rotor fabricado em ferro fundido. (a) rotor tipo Francis, (b) revelação de ensaio por líquidos penetrantes de trinca propagada no cone, (c) microestrutura do ferro fundido vermicular do cone e (d) microestrutura do aço carbono das pás.

## 2.2 Rotores de Aço Carbono

Para soldagem de recuperação de desgaste ou trincas em rotores de aço carbono, faz-se atualmente a soldagem por processos a arco elétrico (GMAW, SMAW ou GTAW), com deposição de metal de adição de aço carbono e pré-aquecimento para eliminação de umidade, uma vez que empolamento por hidrogênio é um problema para esses aços (7). Há ainda a deposição de aços inoxidáveis da família dos austeníticos, principalmente o 309L, visto que essa classe de materiais apresenta maior resistência ao desgaste pelo fenômeno da cavitação e à propagação de trincas (8), já que a propriedade de perda de massa se relaciona com a propriedade de resistência à fadiga (9), além de possuir elevada soldabilidade, podendo ainda haver a posterior deposição de um revestimento de ligas de aços inoxidáveis austeníticos com adição de cobalto.

As profundidades das camadas são definidas em função da severidade da erosão cavitacional e da espessura dos passes de solda de cada material, de forma a garantir que o revestimento superficial tenha as características do último material aplicado, no intuito de evitar a presença por diluição do metal base na camada superficial, conforme critério apresentado na FIGURA 5.

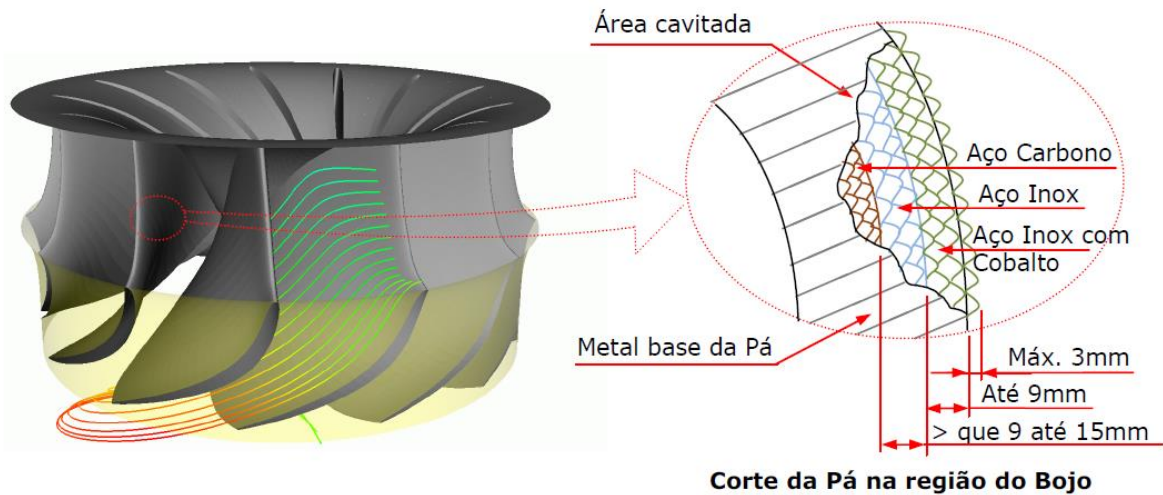


FIGURA 5 - Critério para o revestimento de áreas cavitadas

Quanto a cavitação, houve historicamente o estudo e desenvolvimento de materiais com maior resistência à perda de massa, destacando ligas a base de aços inoxidáveis austeníticos, com adição de Co, como a liga Hydroloy HQ 913, depositada por processo SMAW (10), ligas Cavitaloy e Cavitec, depositadas por processo GMAW convencional, e com pulsação de corrente e plasma (PAW-arame) (11). Experimentalmente, há ainda desenvolvimento de novos materiais, como as ligas FeMnCrSiNi (12) depositadas por soldagem plasma (PAW-pó) (13) e por processos de aspersão térmica arco elétrico ASP (14) e por processo chama de alta velocidade HVOF (15). Há ainda estudos promissores com a refusão usando plasma de revestimentos depositados por aspersão térmica (14). Na FIGURA 6 apresenta-se sequencia cronológica de recuperação das pás por soldagem e na FIGURA 7 tem-se indicação de uso de aspersão térmica em rotor de aço carbono.



FIGURA 6 – Processo de recuperação das pás do rotor da turbina da UHE GBM. (a) mapeamento das erosões cavitacionais, (b) remoção por goivagem do material danificado, (c) esmerilhamento, (d) ensaio por líquido penetrante, (e) soldagem e (f) recuperação do perfil hidráulico e inspeção final por líquido penetrante.

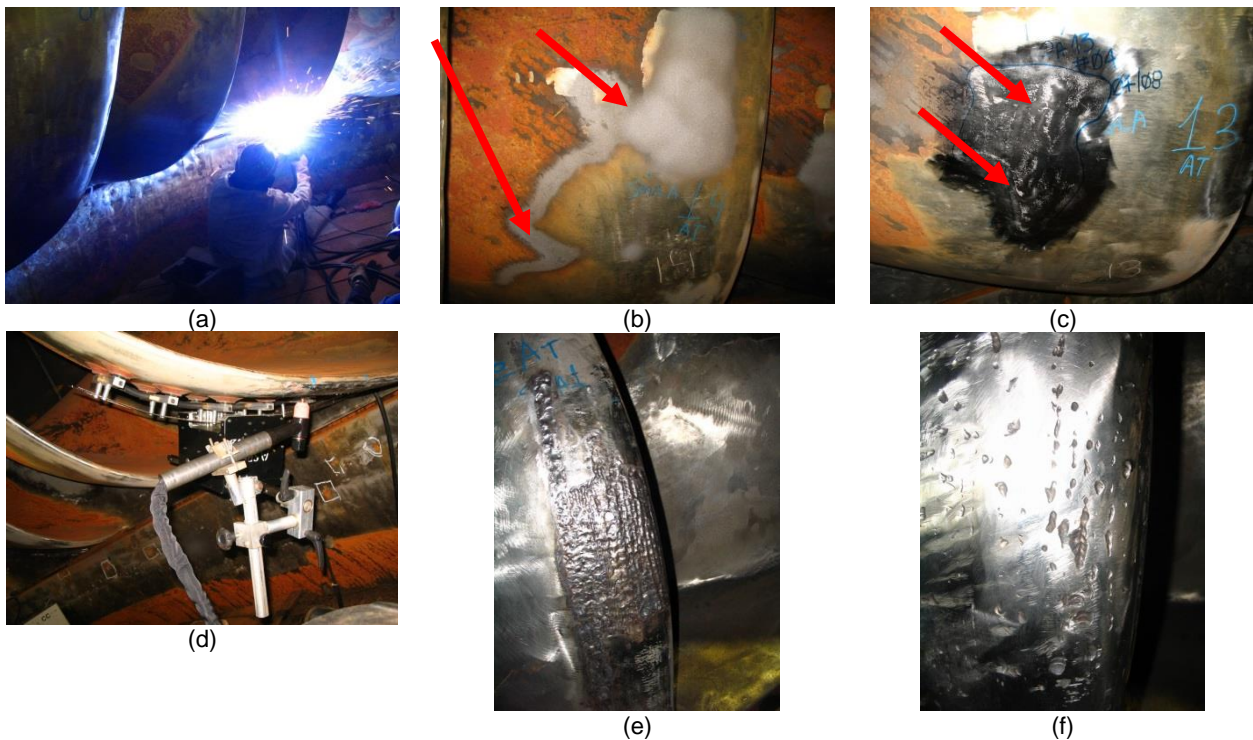


FIGURA 7 – Deposição de revestimentos por aspersão térmica ASP em pás de rotor de aço carbono da Usina Hidrelétrica GBM Resultado de PeD ANEEL (5). (a) operação de deposição, (b) regiões com jateamento e deposição de revestimentos, (c) região com revestimentos polido, (d) equipamento posicionado para refusão do revestimento por soldagem plasma PAW, (e) revestimento refundido e (f) revestimento refundido polido.

### 2.3 Rotores de Aço Inoxidável

A classe dos aços inoxidáveis martensíticos se destaca por sua resistência mecânica, que viabiliza a fabricação de rotores mais delgados e leves. O aço inoxidável AISI 410 teve sua composição química alterada para melhorar processos de fundição e de soldabilidade, culminando nos aços ASTM A743 CA15 e CA6NM. Esse último, largamente utilizado, contém como vantagem o reduzido teor do elemento de liga carbono, máximo de 0,06% (16) em peso, o que reduz a sensibilização e formação de fase martensita não revenida, com elevada dureza e baixa tenacidade em regiões soldadas (17).

Rotores fundidos em aço CA6NM são expostos a tratamentos térmicos posteriores para alívio de tensões, chamado de revenimento, que normalmente é realizado em duas etapas: 620°C e 580°C (18). O tempo de exposição do rotor à essas temperaturas depende de suas dimensões. Se o rotor for do tipo mecano-soldado, essas partes revenidas são soldadas e novo tratamento térmico pós soldagem é aplicado, sendo que normalmente é utilizado somente uma patamar de temperatura (620°C) e não dois, como outrora mencionado.

A soldagem de manutenção em rotores fabricados em CA6NM difere um pouco da soldagem de fabricação desses rotores, principalmente porque o tratamento térmico pós-soldagem mostra-se inviável para rotores de grande porte, que são soldados em campo, sem a desmontagem da unidade geradora. Historicamente, já se estudou os efeitos da variação do metal de adição, interpretando que a aplicação de metal de adição da família dos austeníticos (309L) pode acarretar na formação de fase sigma, de baixa tenacidade (17), indicando-se ser melhor o uso de material similar ao metal de base, o 410NiMo. Estudou-se o efeito do controle de temperaturas, tanto de pré-aquecimento, que deve ser suficiente para eliminar umidade, uma vez que os aços martensíticos são sujeitos a trincas por empolamento de hidrogênio, como os aços carbono (7); quanto o controle de interpasses, concluindo que temperaturas mais baixas reduzem a formação da fase ferrita-delta, indesejável em teor acima de 5%, por reduzir a tenacidade da junta soldada (19) (20).

Uma solução aplicada e com sucesso para fazer o mesmo efeito do tratamento térmico posterior à soldagem de revenimento, é a aplicação de sobre passes de solda, que impõe ao metal depositado no chanfro temperatura elevada e lento resfriamento. Esses sobre passes são nominados passes de revenido e são completamente eliminados posteriormente, numa etapa de ajuste dimensional da junta soldada por esmerilhamento.

Quanto aos métodos de soldagem, utiliza-se para fabricação processos de elevada produtividade, como MIG/MAG (GMAW) ou arco submerso (SAW). Já para recuperação de trincas, busca-se procedimentos com maior controle da

qualidade da solda, através de processos que não formem escória, como TIG (GTAW) ou plasma (PAW); sendo ainda estudada a pulsação de corrente de soldagem, como um fator benéfico à redução do teor de fase ferrita-delta formada no metal de solda (21) (22).

A recuperação de uma trinca propagada em rotor da Usina Hidrelétrica Governador Parigot de Souza foi feita por processo TIG, com adição de AWS A5.9 E410NiMo, pré-aquecimento de 120°C, interpasse entre 80°C e 100°C e adoção de passe de revenido. A avaliação posterior da face da fratura em microscopia eletrônica de varredura, indicou a nucleação de trinca no desgaste por cavitação existente nessa concha – FIGURA 7.

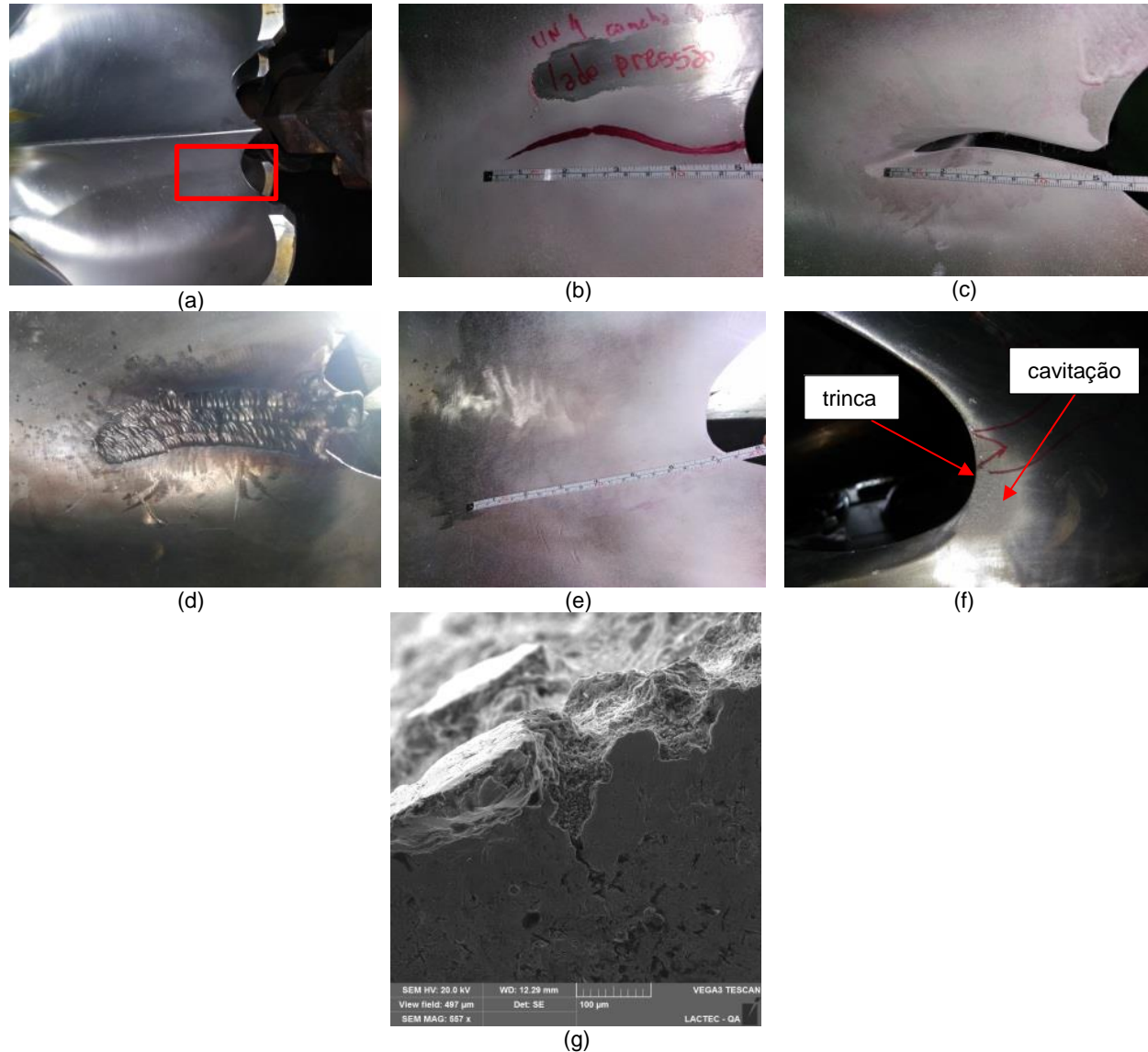


FIGURA 8 – Recuperação de concha trincada em rotor da Usina Hidrelétrica Governador Parigot de Souza. (a) região da trinca, (b) evidência da trinca em ensaio por LP, (c) trinca eliminada e chanfro preparado para soldagem, (d) cordões de solda, (e) condição final da recuperação em ensaio por LP. A análise da falha foi feita com retirada de parte da trinca, (f) cavitação e corte de parte da trinca e (g) trinca nucleada em região de cavitação. O procedimento de recuperação desse tipo de trinca é resultado de PeD ANEEL (6).

Para recuperação de regiões desgastadas, avalia-se qual deve ser o critério na soldagem, visto que o desgaste pode ocorrer em regiões de menor tensão mecânica de operação, o que não é aplicado para trincas, pois sempre se propagam em regiões de elevada concentração de tensão mecânica. Se os valores de tensão são menores, possíveis teores maiores de fase ferrita-delta ou fase sigma, podem não ser tão nocivos. Por isso, aplicam-se processos de soldagem de maior aporte térmico e produtividade, destacando MIG/MAG (GMAW). Havendo ainda a deposição de 410NiMo, como amanteigamento para deposição de Cavitaloy ou Cavitec, que são mais resistentes ao desgaste, que o 410NiMo e o CA6NM. Estudos que comprovam essa maior resistência foram abordados em PeD ANEEL (6).

### 3.0 - CONCLUSÃO

Os defeitos típicos de operação dos rotores continuarão existindo e os projetos de pesquisa, estudos e serviços executados, têm contribuído para a recuperação desses defeitos, com minimização de efeitos nocivos dessas recuperações. A adoção de controle de parâmetros de processos de soldagem e de materiais adequados, são resultados de pesquisas, que minimizam falhas prematuras de regiões recuperadas, principalmente em rotores de inox, que tem redução de tenacidade por efeito da soldagem. Os projetos de pesquisa na área de revestimentos são vanguarda para proteção e necessitam de continuidade para atender as demandas de integridade dos rotores.

### 4.0 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Copel GeT, pelo fomento à pesquisa e liberação dos dados de recuperação apresentados; ao Lactec, pela execução dos serviços de soldagem e deposição por aspersão térmica em rotores de usinas sob concessão da Copel GeT; à UFPR, por ceder equipamentos para deposições e análises; à UTFPR-Ponta Grossa, por ceder equipamentos para análises e ensaios; à ANEEL, pelo Programa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação, que regulamenta os projetos executados; à CNPq, pelo incentivo fiscal na compra de equipamentos importados de ensaios e análises; à Regisoldas e à LW Soldas, em especial ao Sr. Sebastião Lemos, por atuar em parceria com os Engenheiros do Lactec e da Copel GeT na execução de soldas com os devidos cuidados e cautelas exigidos; à IMC, pela parceria na fabricação de fontes de soldagem nacionais para soldagem por processos não convencionais.

### 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) NECHLEBA, M. Hydraulic turbines: their design and equipment. República Tcheca: Artia-Prague, 1957.
- (2) PADHY, M. K.; SAINI, R. P. A review on silt erosion in hydro turbines. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, v. 12, p. 1974-1987, 2008.
- (3) HANSSON, C. M.; HANSSON, I. L. H. Cavitation Erosion. In: *ASM Handbook v. 18: Friction, Lubrication and Wear Technology*. Materials Park: ASM, 1992.
- (4) de MACEDO, R. V. Recuperação de turbinas hidráulicas danificadas por erosão cavitacional por soldagem com aço inoxidável/cobalto. Dissertação. 2014. 93 f. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira: 2014.
- (5) Agência Nacional de Energia Elétrica. Desenvolvimento de procedimentos de reparo de trincas e desgaste por cavitação de rotores de turbinas de aço ASTM A743 CA6NM através de aspersão térmica e soldagem plasma – ANEEL 2864-003/2005. Executante: Lactec. Proponente: Copel GeT.
- (6) Agência Nacional de Energia Elétrica. Desenvolvimento de ligas resistentes à cavitação e novos procedimentos de reparo de trincas e regiões cavitadas de rotores de aço ASTM A743 CA6NM, para deposição por soldagem a plasma MIG e aspersão térmica – ANEEL 6491-0023/2010. Executante: Lactec. Proponente: Copel GeT.
- (7) XU, K. Hydrogen embrittlement of carbon steels and their welds. In: *Gaseous hydrogen embrittlement of materials in energy technologies*. Vol. 2: The problem, its characterisation and effects on particular alloy classes. p. 526-561. Oxford: Woodhead Publishing Limited, 2012.
- (8) SIMONEAU, R.; BOURBON, P. Erosion and impact intensity of vibratory, jet and turbine cavitation. 16<sup>th</sup> Symposium of the IAHR. p. 627-637, Sao Paulo, 14-18 set. 1992.
- (9) RICHMAN, R. H., McNAUGHTON, W. P. Correlation of cavitation-erosion behavior with mechanical properties of metals. *Wear*, v. 140, n. 1, p. 63-82, 1990.
- (10) PROCOPIAK, L. A. J. Resistência à cavitação de três revestimentos soldados. Dissertação. 1997. 77 f. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: 1997.
- (11) WILL, C. R. et al. Estudo comparativo de três ligas austeníticas com cobalto resistentes à cavitação depositadas por plasma pulsado térmico Soldagem e Inspeção, v. 15, n. 1, p. 52-60, 2010.
- (12) CAPRA, A. R. et al. Liga ferrosa contendo manganês, cromo, silício e boro com elevada resistência à cavitação e componente sujeito à erosão por cavitação contendo o mesmo. PI-BR 10 2016 029054 6. 07 out. 2016.



- (13) RIBEIRO, J. Influência do boro na resistência à cavitação de revestimentos processados com pós atomizados e com misturas mecânicas de pós elementares de Fe-Cr-Mn-Si-B. Dissertação. 136 f. Programa de Pós Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais da Universidade Federal do Paraná. Curitiba: 2014.
- (14) PUKASIEWICZ, A. G. M. et al. Influence of Plasma Remelting on the Microstructure and Cavitation Resistance of Arc-Sprayed Fe-Mn-Cr-Si Alloy. *Journal of Thermal Spray Technology*, v. 23, n. 1-2, 51-59, 2014.
- (15) SUCHARSKI, G. B. et al. Optimization of the deposition parameters of HVOF FeMnCrSi+Ni+B thermally sprayed coatings. *Soldagem & Inspeção*, v. 20, n. 2, p. 238-252, 2015.
- (16) American Standard for Testing of Materials. ASTM A743/743M: Standard specification for castings, iron-chromium, iron-chromium-nickel, corrosion resistant, for general application. West Conshohocken: ASTM, 2003.
- (17) LIPPOLD, J. C.; KOTECKI, D. J. *Welding metallurgy and weldability of stainless steels*. Hoboken: Wiley-Interscience, 2005.
- (18) da SILVA, G. A. Efeito das condições de revenido na microestrutura e propriedades mecânicas de um aço inoxidável martensítico fundido CA-6NM. 2004. 71 f. Dissertação. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau: 2004.
- (19) de GOUVEIA, R. R. A influência da temperatura de interpasse na tenacidade do metal de solda na soldagem multipasse do aço inoxidável martensítico CA6NM pelo processo TIG. 2008. 82 f. Dissertação. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Paraná, Curitiba: 2008.
- (20) de GOUVEIA, R. R. et. al. Efeito da temperatura interpasse na microestrutura, tenacidade ao impacto e propagação de trinca por fadiga de uniões soldadas por GTAW do aço ASTM A743-CA6NM. *Soldagem e Inspeção*, v. 18, n. 2, p. 127-136, 2013.
- (21) BEHENE, L. Estudo da alteração de parâmetros do processo de soldagem plasma com alimentação de vareta em substrato de aço CA6NM. Dissertação. 2014. 110f. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Paraná, Curitiba: 2014.
- (22) HENKE, S. L. Efeito da soldagem plasma pulsada na microestrutura e resistência à fadiga de um aço inoxidável supermartensítico. 2010. 121 f. Tese. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Paraná, Curitiba: 2010.
- (23) RAI, A. K.; KUMAR, A.; STAUBLI, T. Hydro-abrasive erosion in Pelton buckets: Classification and field study. *Wear*, v. 392-393, p. 8-20, 2017.

## 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



ROMILDO TRISTANTE, graduado em Engenharia Mecânica pela UP (2009). Atualmente, Engenheiro de Manutenção de Equipamentos da Copel Geração e Transmissão S.A. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica. Atividades: gestão de projetos, manutenção de usinas e acompanhamento de processos de soldagem.