



## GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRÁULICA - GGH

### ANÁLISE DA FALHA E PROCESSO DE RECUPERAÇÃO DO ROTOR DA TURBINA TIPO PELTON, DA UHE GPS.

**ROMILDO TRISTANTE (1); ANDRÉ CHICOSKI  
COPEL GERAÇÃO E TRANSMISSÃO S.A.(1)**

#### RESUMO

A UHEGPS (260 MW) está localizada em Antonina-Pr sendo composta por quatro unidades geradoras, movimentadas por turbinas verticais tipo Pelton operando em uma queda de aproximadamente 740 m. Durante parada para inspeção, foi constatado que uma concha do rotor da turbina da UG01 estava fraturada. Este trabalho relata as atividades realizadas durante o processo de reparo, levando em conta o histórico de intervenções no rotor, as particularidades do material de fabricação, ASTM A743 CA6NM, e as dificuldades relacionadas às dimensões e geometria do componente. Também, é feita uma avaliação do aspecto da fratura, a qual indicou crescimento de trinca por fadiga antes da ruptura final.

**PALAVRAS-CHAVE:** Turbina, Pelton, Fratura, Recuperação.

#### 1.0 INTRODUÇÃO

A Usina Hidrelétrica Governador Pedro Viriato Parigot de Souza (UHEGPS), localizada no município de Antonina – PR, opera com quatro unidades geradoras que utilizam turbinas Pelton de eixo vertical em uma queda aproximada de 740 metros, capazes de produzir uma potência de 260 MW. Os rotores das turbinas, de diâmetro aproximado de 2,7 m, são compostos por 20 conchas, sendo fabricados em aço inoxidável ASTM A743 CA6NM. Durante inspeção de rotina realizada no rotor da unidade geradora (UG) 01 da usina, foi verificada a fratura de parte de uma de suas conchas. Este fato gerou uma mobilização para imediata análise da falha e definição de procedimento de reparo. A dimensão da área fraturada, entretanto, inviabilizou qualquer tipo de intervenção em campo, sendo assim decidido pela desmontagem do componente para recuperação em local apropriado. Este artigo busca descrever as atividades realizadas e resultados obtidos ao longo das análises da falha e do processo de reparo, considerando os desafios relacionados às características físicas do rotor e do seu material de fabricação, o qual demanda de cuidados específicos para que se tenha sucesso durante uma recuperação por soldagem.

#### 2.0 ETAPAS DO REPARO

De forma resumida, o processo de reparo se deu através das etapas de análise da falha, posicionamento da seção fraturada e preparação para solda, soldagem e acabamento, e, tratamento térmico. Cada etapa citada envolveu uma série de atividades, as quais foram acompanhadas por avaliações dimensionais e por ensaios não destrutivos.

##### 2.1 Análise da Falha

Antes de iniciar qualquer atividade de reparo, foi realizada uma avaliação visual do componente, com o intuito de identificar o início da fratura, a sua forma de crescimento, o local da ruptura final e a presença de eventuais defeitos no material que pudessem ter influenciado na ocorrência da falha. Tal avaliação foi realizada inicialmente no rotor ainda instalado e, posteriormente, após a desmontagem deste e o resgate da seção fraturada, a qual foi encontrada no canal de fuga da usina. Após a análise visual, foi realizado corte através de serra manual da região de início da fratura para verificação mais detalhada em microscópio eletrônico de varredura (MEV). Para tal foi utilizado equipamento Tescan Vega, instalado no Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – Lactec, em Curitiba – PR, onde também foi realizado o reparo do componente.

Além da análise da falha em si, foi também levantado e avaliado o histórico de intervenções no rotor, mais especificamente na concha 5. O objetivo aqui foi verificar possíveis eventos que possam ter contribuído para a ocorrência da fratura.

##### 2.2. Posicionamento e Preparação para Soldagem

Uma das principais preocupações durante o reparo da concha 5 foi a necessidade do correto posicionamento da seção fraturada ao restante da concha, para a posterior soldagem. Este posicionamento se torna ainda mais difícil

após a preparação do chanfro para a soldagem, pois perdem-se as superfícies fraturadas que servem como referência na montagem da seção rompida. Portanto, para que se tivesse uma superfície de apoio e referência mesmo após a abertura de chanfro, decidiu-se pela fabricação de um molde em fibra de vidro que copiasse a superfície interna superior da concha fraturada.

Para a confecção do molde foi realizado o posicionamento provisório da seção fraturada ao restante da concha, o qual foi realizado através de fita adesiva, verificado na Figura 1. Para que isso fosse possível, após a análise da fratura, a região desta que apresentava deformação plástica e que, consequentemente, não permitia o encaixe com a seção fraturada, foi eliminada através de desbaste abrasivo, mantendo apenas a superfície caracterizada por fratura frágil, sem deformação e onde era possível a união correta com a seção rompida.

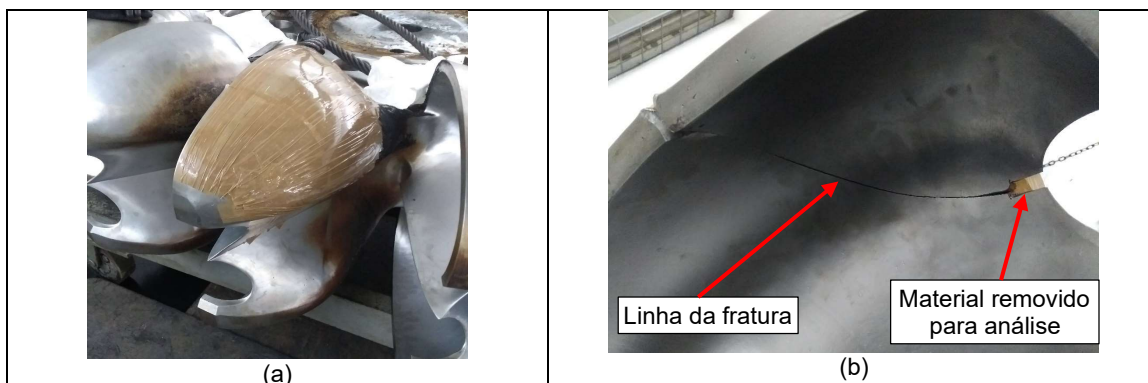


FIGURA 1: (a) Lado externo da concha após fixação provisória da seção fraturada e (b) Lado interno após fixação provisória.

Para possibilitar a soldagem com penetração total e considerando a região com maior espessura chegando a valores acima de 70 mm, foi decidido pela utilização de chanfro em "X". Entretanto, devido ao difícil acesso para soldagem pelo lado interno da concha, optou-se pela proporção 75/25 no chanfro, ou seja, a parte interna deste corresponderia a 25% da espessura, enquanto que os 75% restantes seriam soldados pelo lado externo da concha – com melhor acesso para o soldador.

Visando novamente a facilidade de posicionamento da seção fraturada, a abertura do chanfro e a soldagem foram realizadas separadamente para cada lado da concha. Inicialmente foi preparada apenas a porção interna do chanfro, mantendo o restante de espessura com a superfície original da fratura. Apenas após a soldagem e acabamento pelo lado interno o restante da preparação foi realizado.

### 2.3 Soldagem e Acabamento

Para a soldagem do rotor foi utilizado processo TIG (GTAW) conforme dados abaixo:

- Processo de Soldagem: 100% TIG (GTAW). Utilizada fonte eletrônica multiprocesso IMC MTE Digitec 450, equipada com tocha TIG refrigerada a água;
- Gás de Proteção: Argônio puro, vazão de 12 l/min.
- Corrente elétrica: 150 – 210 A;

O rotor da UHEGPS é confeccionado em aço inoxidável martensítico macio ASTM A743 CA6NM, com composição química indicada na Tabela 1 e propriedades mecânicas indicadas na Tabela 2.

TABELA 1: Composição química do metal de base ASTM A743 CA6NM (ASTM, 2003). % em peso.

C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S
0,06	11,5	3,5	0,4	1,00	1,00	0,04	0,03
Max	14,0	4,5	1,0				

TABELA 2: Propriedades mecânicas do metal de base ASTM A743 CA6NM. Condição de ensaio: aquecido e mantido em 600°C por 1 h e resfriado ao ar. (ASTM, 2003).

Tensão de escoamento		Tensão de ruptura		Elongamento
ksi	MPa	ksi	MPa	[%]
135	930	140	965	15

Para o preenchimento do chanfro utilizou-se como metal de adição o AWS A5.9 E410NiMo na forma de vareta de 1m de comprimento e Ø2,4mm (Ø3/32") e Ø3,2mm (Ø1/8"), com especificações constantes nas Tabelas 3 e 4. Para evitar a adição de contaminantes na solda, o chanfro e as varetas foram previamente limpos com acetona.

TABELA 3: Composição química do metal de adição AWS A5.9 E410NiMo. (AWS, 1993).

C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	Cu
0,06 max	11,0 12,5	4,0 5,0	0,4 0,7	0,6	0,5	0,03 max	0,03 máx.	0,75 Max

TABELA 4: Propriedades mecânicas do metal de adição AWS A5.9 E410NiMo. Condição de ensaio: aquecido e mantido em 600°C por 1 h e resfriado ao ar. (AWS, 1993).

Tensão de escoamento	Elongamento
ksi	MPa
110	760
	15

Para o início da soldagem adotou-se pré-aquecimento de 120 °C, o qual foi executado com através de maçarico oxi-acetilênico. Durante a soldagem, para evitar o aquecimento excessivo do material e consequentes alterações metalúrgicas indesejadas como crescimento de grão, assim como permitir a transformação martensítica (ainda que parcial) do material entre cada passe, foi adotada uma temperatura de interpasse de aproximadamente 130 °C. O controle de temperatura foi realizado com uso de termopar de contato.

Para evitar deformações durante a soldagem, após o posicionamento, foi efetuado o travamento da seção fraturada, através de chapas e barras de aço inoxidável AISI 304.

Ao longo da soldagem e após preparação do chanfro pelo lado externo, foram realizados ensaios não destrutivos por líquido penetrante, com o intuito de identificar possíveis descontinuidades superficiais nas regiões trabalhadas e também para atestar a ausência de defeitos na raiz da solda do lado interno.

A remoção dos reforços de solda e ajuste do perfil hidráulico nas regiões reparadas foi feita através de desbaste, utilizando discos abrasivos e lixas rotativas, sendo que ao final da soldagem, por ambos os lados, foi verificada a dureza ao longo do metal de solda e do metal original do componente.

## 2.4 Tratamento Térmico

Tendo em vista a soldabilidade do material que compõe o rotor e a considerável tensão residual gerada em função do grande volume do chanfro soldado, se fez necessária a realização de tratamento térmico pós-soldagem do componente. O objetivo desse tratamento foi, portanto, aliviar as tensões de soldagem e reduzir a dureza do metal de solda e da zona termicamente afetada (ZTA). Tal redução de dureza se dá porque, logo após a soldagem, a microestrutura nessas regiões tende a ser composta principalmente por martensita não revenida (alta dureza e fragilidade). Porém, a permanência em alta temperatura provoca o revenimento dessa martensita, reduzindo sua dureza e aumentando a tenacidade do material. Abaixo são detalhados os parâmetros do tratamento:

- Taxa de Aquecimento: 38 °C/h;
- Temperatura de Patamar: 580 °C (+- 10 °C);
- Tempo de Permanência no Patamar: 8 h;
- Taxa de Resfriamento: 15 °C/h (até 60 °C);
- Atmosfera: sem controle.

O tratamento térmico foi realizado com o componente ainda com os travamentos, sendo esses removidos após o resfriamento completo do rotor.

Retirados os travamentos, foi realizado acabamento final do componente e nova rodada de ensaio por líquido penetrante e medição de dureza ao longo das regiões soldadas.

## 3.0 RESULTADOS

### 3.1 Análise da Fratura e do Histórico do Componente

A Figura 2 exibe a face fraturada na concha 5. Analisando esta superfície, foi possível concluir que a fratura não ocorreu de forma instantânea. Esta se deu através da nucleação de uma trinca na borda frontal da concha, onde a espessura é bastante reduzida. A partir daí o aspecto macroscópico da superfície indica um crescimento da trinca por fadiga mecânica ao longo de grande parte da seção, até a região superior da concha (indicada pela linha tracejada na imagem), onde o aspecto mais rugoso e com deformação plástica evidente indica a região de ruptura final, por sobrecarga em função da reduzida área remanescente.

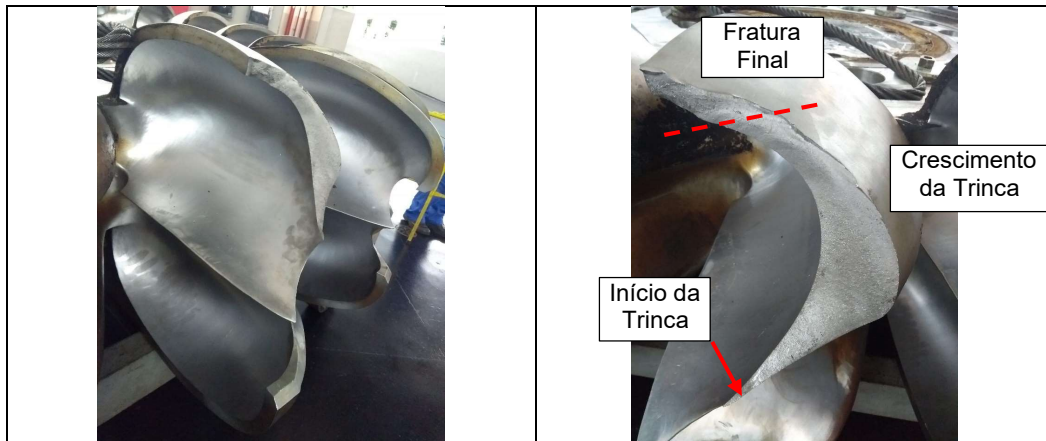


FIGURA 2: Aspecto geral da superfície fraturada na concha 5.

A Figura 3 mostra a extremidade que se rompeu do restante da concha. A superfície fraturada exibe o mesmo aspecto já detalhado, porém, neste caso, em função dos impactos sofridos pela peça logo após esta se soltar do restante da concha, a mesma apresentou regiões consideravelmente amassadas.

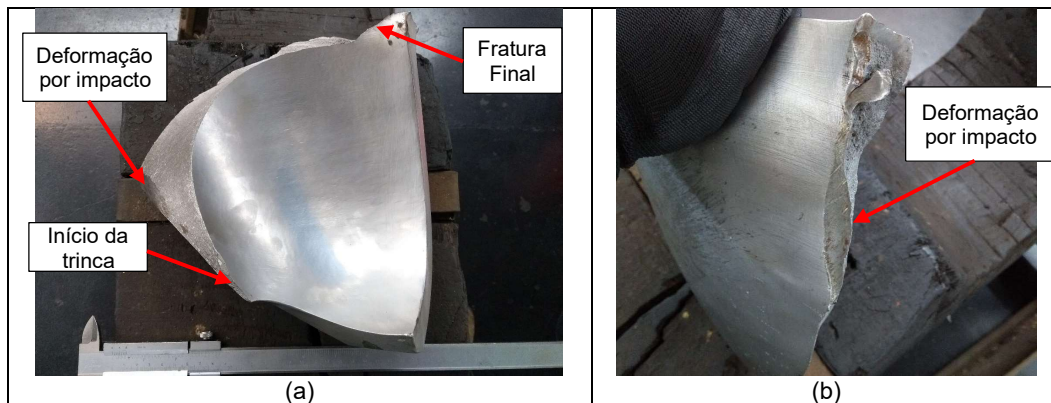


FIGURA 3: (a) Extremidade fraturada da concha e (b) área amassada na extremidade rompida da concha 5.

Ao longo das superfícies fraturadas, não foram identificados defeitos macroscópicos, como porosidades ou vazios de fundição que pudessem ter favorecido a ocorrência da falha. Nas superfícies ao redor da extremidade onde se iniciou a trinca pôde-se visualizar pequenos riscos e também presença de desgaste leve por cavitação, os quais geram concentradores de tensão que favorece a nucleação de trincas por fadiga.

Para possibilitar análise mais aprofundada, foi realizado o corte manual da região inicial da fratura, tanto do lado da concha como do lado da seção fraturada. A Figura 4(a) exibe imagem de MEV da superfície fraturada, onde a região superior corresponde ao lado interno da concha. Na superfície pode-se notar a presença de “marcas de rio” que se irradiam a partir da superfície interna, indicando que o início da trinca se deu por este lado. O ponto exato de nucleação não é visível, uma vez que a face fraturada se encontra bastante polida em função do fluxo de água passante pela trinca durante a operação da turbina. Mais na extremidade da concha, Figura 4(b) observa-se pequenos vazios no material. Este tipo de descontinuidade também pode agir como nucleador de trinca, porém, neste caso, em função do desgaste na superfície, não é possível afirmar que tenham agido como tal.

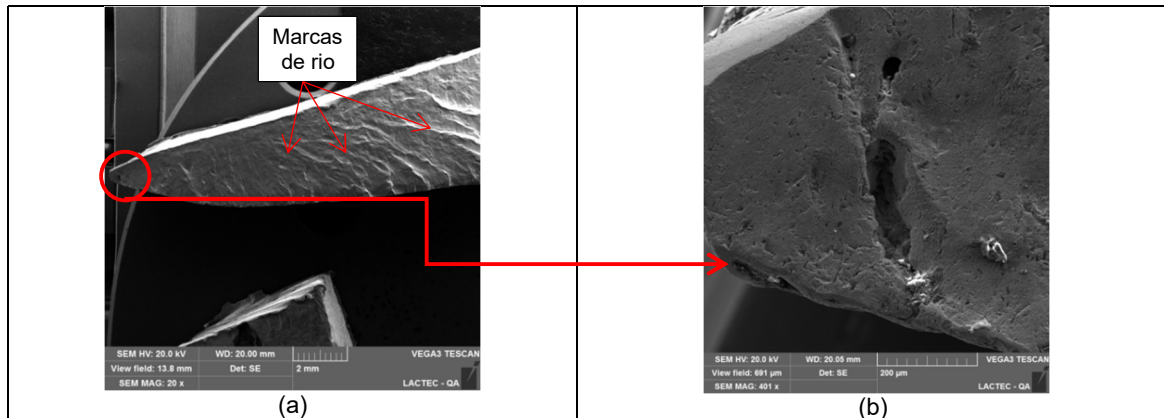


FIGURA 4: Imagens de MEV da superfície do início da fratura.

Outro fator que pode ter influenciado na ocorrência da falha é presença de reparos anteriores na região. Um eventual reparo por soldagem próximo ao local pode ter afetado metalurgicamente o material ou ter gerado tensões residuais que contribuem para a formação e crescimento de trincas por fadiga. Neste sentido, fez-se uma análise do histórico de reparos neste rotor, através da qual se verificou a realização de uma intervenção em março de 2019, no qual foram recuperadas por soldagem áreas cavitadas em várias conchas do componente. Dentre os pontos recuperados, destaca-se a ponta do septo da concha 5, a qual apresentava perda severa de material, conforme exibe a Figura 5(a).

O reparo do local demandou de uma quantidade considerável de material soldado, como se verifica na Figura 5(b) e (c), que exibe a região da ponta após a preparação e após a soldagem, respectivamente.

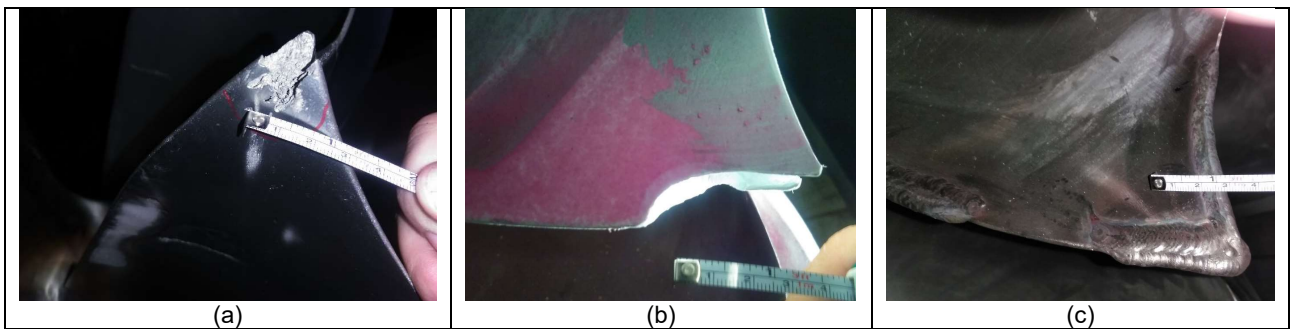


FIGURA 5: Septo da concha 5 – (a) perda de material, (b) após preparação para soldagem e (c) após soldagem em março de 2019.

A soldagem realizada em 2019 se deu a uma distância relativamente grande – cerca de 35 mm – do local da fratura para que se pudesse considerar uma possível alteração metalúrgica como fator decisivo para nucleação da trinca. Entretanto, considerando o grande volume de material depositado naquela atividade, a tensão residual gerada no componente pode ter contribuído para a origem e crescimento da trinca que levou à fratura.

### 3.2 Posicionamento da Seção Fraturada

Conforme citado anteriormente, uma das principais preocupações durante o reparo da concha 5 foi a necessidade do correto posicionamento da seção fraturada ao restante da concha. O posicionamento inicial foi conferido verificando-se o alinhamento entre as faces inferior e superior da concha, conforme mostra a Figura 6(a), a distância da abertura entre elas (205 mm) e o alinhamento da face superior visto na Figura 6(b).



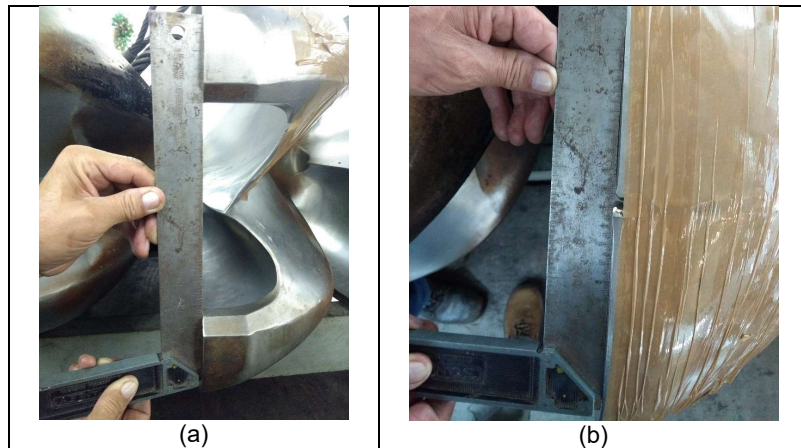


FIGURA 6: Verificação do posicionamento e alinhamento.

Após o posicionamento foi confeccionado um molde em fibra de vidro, utilizando como referência a superfície interna da concha 5. O objetivo deste molde foi servir de apoio e referência no momento do posicionamento definitivo e fixação da seção rompida já chanfrada, ao restante da concha.

### 3.3 Preparação, Soldagem e Acabamento

#### 3.3.1 Posicionamento e Preparação do Chanfro para Soldagem

Tendo-se definida a geometria do chanfro, optou-se pela preparação prévia (antes do posicionamento definitivo da seção fraturada ao restante da concha) apenas do lado interno do chanfro. Dessa forma, com parte das superfícies fraturadas ainda originais, torna-se mais fácil o posicionamento correto da seção fraturada.

Finalizada a preparação do chanfro interno, tanto na concha como na seção fraturada, fez-se novamente o posicionamento entre as duas partes, desta vez utilizando o molde de fibra de vidro e barras de aço inoxidável AISI 304 para auxiliar na correta fixação. A Figura 7(a) exibe a concha com o molde instalado, antes da colocação da seção fraturada. Na Figura 7(b) observa-se novamente o molde, juntamente com a barra de apoio e a seção fraturada posicionada sobre estes. A Figura 7(c) exibe o lado externo da concha, com a seção fraturada posicionada e pré-fixada com auxílio de cinta e catraca, para ponteamto e posterior instalação das travas que manteriam o conjunto na posição correta.

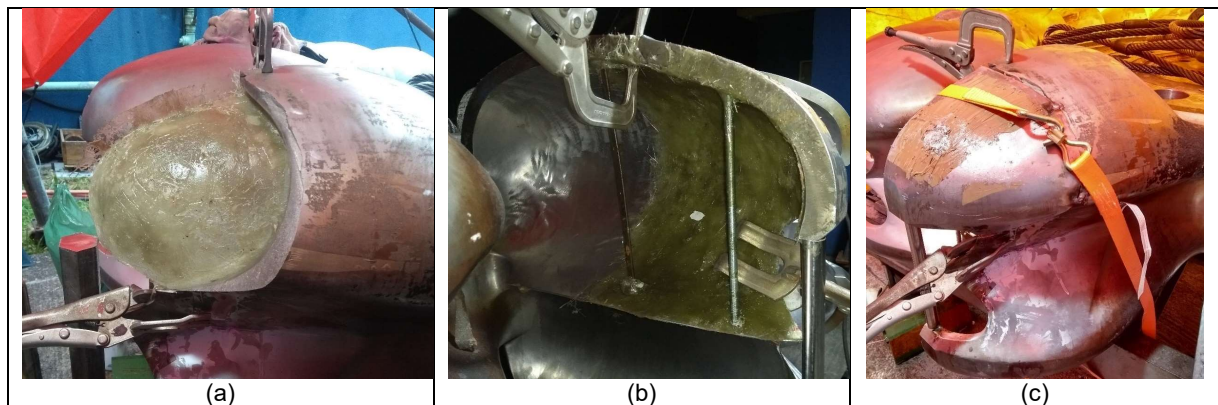


FIGURA 7 – (a) após posicionamento do molde de fibra de vidro, (b) Posicionamento da seção fraturada sobre o molde e barra de apoio e (c) Posicionamento e ponteamto da seção fraturada ao restante da concha.

Finalizado o posicionamento, foi removido o molde de fibra de vidro, sendo então possível visualizar o chanfro pelo lado interno da concha, Figura 8(a). Na sequência foram instaladas as travas para evitar deformações do componente durante a soldagem, Figura 8(b).

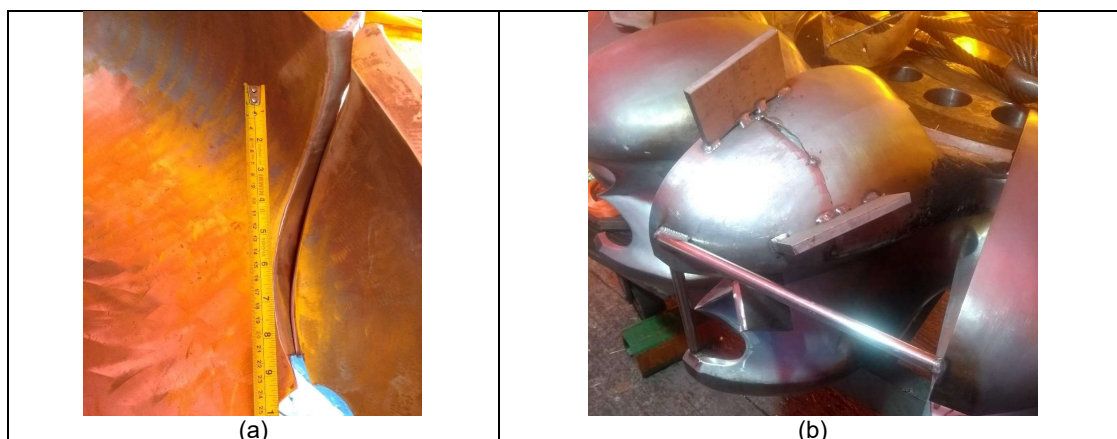


FIGURA 8: (a) Chanfro no lado interno da concha e (b) Travas instaladas para a soldagem pelo lado interno.

### 3.3.2 Soldagem e Acabamento – Face Interna

Finalizado o posicionamento, travamento e a preparação do chanfro interno da concha, iniciou-se a soldagem. Nesta etapa foi realizado o enchimento total deste lado, com exceção da região da borda onde se iniciou a trinca. Este local, de menor espessura e maior abertura em função da remoção de material para análise de falha, foi soldado posteriormente para evitar que a tensão residual pudesse gerar trincas nessa região mais fina.

Ao término da soldagem interna, para que se possibilitasse o trabalho no lado externo, seria necessário o reposicionamento das travas instaladas no componente. Porém tal isso afetaria o acesso para o trabalho pelo lado interno. Portanto, antes de iniciar qualquer atividade na superfície de fora da concha, foi realizado o desbaste dos reforços dos cordões de solda e o acabamento prévio da superfície interna. O objetivo do desbaste foi readequar a superfície interna ao padrão mais próximo possível do perfil hidráulico original. Ao final, foi realizado ensaio por líquido penetrante para avaliar o local quanto à presença de descontinuidades superficiais. A Figura 9 exibe a superfície interna antes e após acabamento e revelação do ensaio, o qual não identificou defeitos.



FIGURA 9: Enchimento completo do chanfro no lado interno da concha – (a) antes do acabamento e (b) após acabamento.

### 3.3.3 Soldagem e Acabamento – Face Externa

Tendo a superfície interna acabada e livre de descontinuidades, foram instaladas as novas travas na concha, de forma a possibilitar a remoção daquelas que inviabilizavam o trabalho na superfície externa. Na sequência foi iniciado o desbaste para preparação nessa face. Este foi feito até que se atingisse o passe de raiz depositado internamente, removendo qualquer descontinuidade presente neste. A abertura do chanfro variou ao longo do comprimento da junta, sendo mais estreito nas regiões finas e mais aberto nos locais de maior espessura. Ainda assim, o objetivo foi sempre reduzir o volume total a junta, para que, consequentemente, se reduzisse o volume de metal soldado e as tensões inerentes à solidificação e contração deste material. O desbaste do passe de raiz interno foi considerado concluído quando, através de ensaio por líquido penetrante, não foram identificadas descontinuidades. A Figura 10 exibe o chanfro formado e o resultado do ensaio por líquido penetrante. O ponto mais profundo do chanfro chegou a cerca de 50 mm, com abertura de aproximadamente 30 mm, na superfície.



FIGURA 10: (a) Ensaio por líquido penetrante e (b) finalização do chanfro externo.

Após a soldagem de um volume considerável do chanfro externo visto na Figura 11(a), porém ainda sem terminar o enchimento deste, fez-se a soldagem da região da borda frontal da concha, onde haviam sido retiradas as amostras da fratura para análise de falha. Em função da grande abertura existente nesse local, para facilitar o início da soldagem foi utilizado uma pequena barra de cobre como cobre-junta mostrado na Figura 11(b). Primeiramente foi realizada a soldagem pelo lado interno da concha, utilizando o cobre-junta posicionado pelo lado externo. A Figura 11(c) exhibe o aspecto final após soldagem completa da extremidade pelo lado interno.

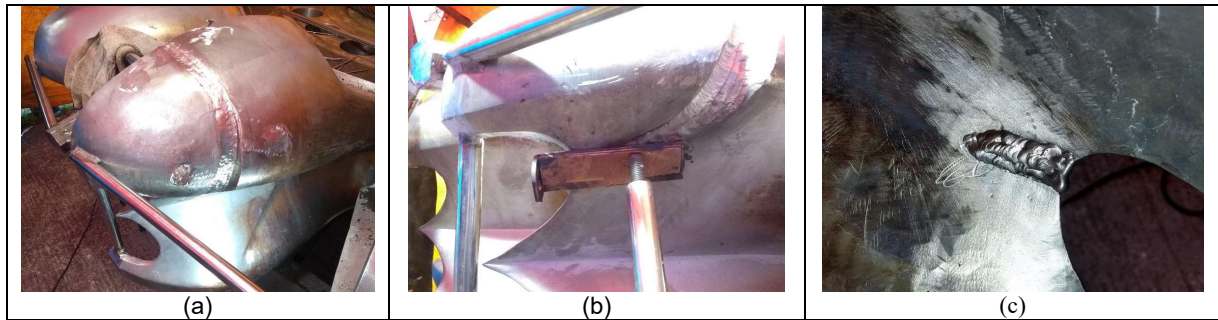


FIGURA 11: Posicionamento do cobre-junta durante a soldagem da borda frontal da concha.

Finalizada a soldagem externa, assim como da borda frontal da concha, foi realizado desbaste dos reforços de solda e acabamento para adequação do perfil hidráulico. Especial cuidado foi tomado no acabamento da borda frontal, para que esta ficasse com perfil adequado e livre de marcas ou riscos que gerem concentradores de tensão na região. A Figura 12 mostra o aspecto final do lado externo após desbaste e acabamento.



FIGURA 12: Lado externo da concha após desbaste e acabamento da solda – Região superior.

Finalmente, para certificar a ausência de descontinuidades superficiais após a soldagem e acabamento, foi realizado novo ensaio por líquido penetrante, pelos lados interno e externo da concha.

#### 3.3.4 Tratamento Térmico e Inspeção Final

A Figura 13 exhibe o rotor após o tratamento térmico, onde se percebe a coloração azul em função da oxidação ocorrida em alta temperatura (forno sem controle de atmosfera).





FIGURA 13: Rotor após o tratamento térmico.

Visando verificar a influência do tratamento térmico sobre a tenacidade da região soldada, foram realizadas medições de dureza antes e depois deste. Foram realizadas também medições de dureza das regiões referentes ao metal de solda e ao metal de base, pelos lados interno e externo da concha 5. Para isso foi utilizado durômetro portátil Proceq Equotip 3

Percebe-se que, antes do tratamento, a dureza do metal de solda é consideravelmente superior à do metal de base. Isso é esperado, pois a microestrutura predominante na solda tende a ser de martensita não revenida.

A Figura 14 exibe o comportamento da dureza antes e após o TTPS no metal de base e metal de solda, onde se observa a redução dos valores do metal de solda para níveis próximos ao do metal de base. Isso comprova a eficácia do tratamento térmico para, além do alívio de tensões, o aumento da tenacidade da junta soldada.

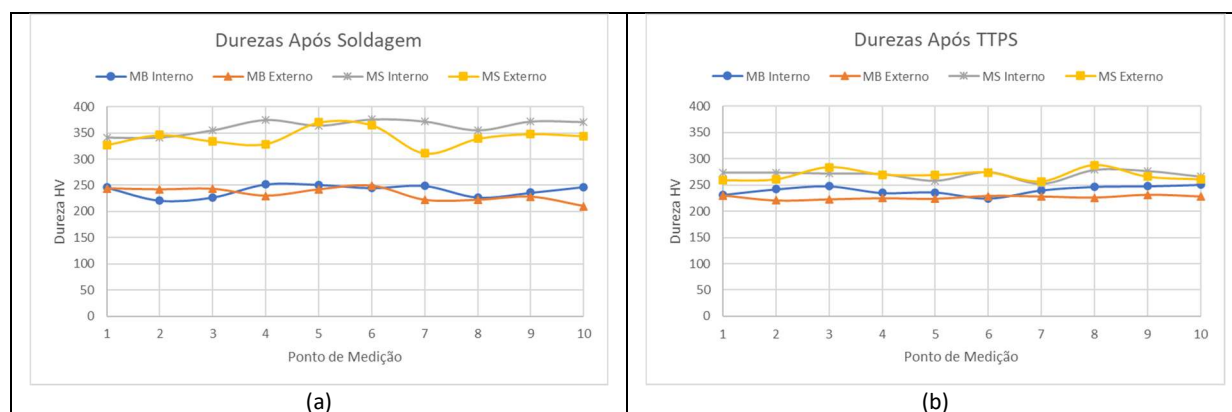


FIGURA 14: (a) Variação da dureza após soldagem e (b) Variação da dureza após TTPS

A Figura 15 exibe a concha 5 após remoção das travas e acabamento final. Na sequência, para certificar a ausência de descontinuidades superficiais, tanto na concha recuperada como nas demais conchas do rotor, foram realizados novos ensaios por líquido penetrante, os quais não identificaram problemas.

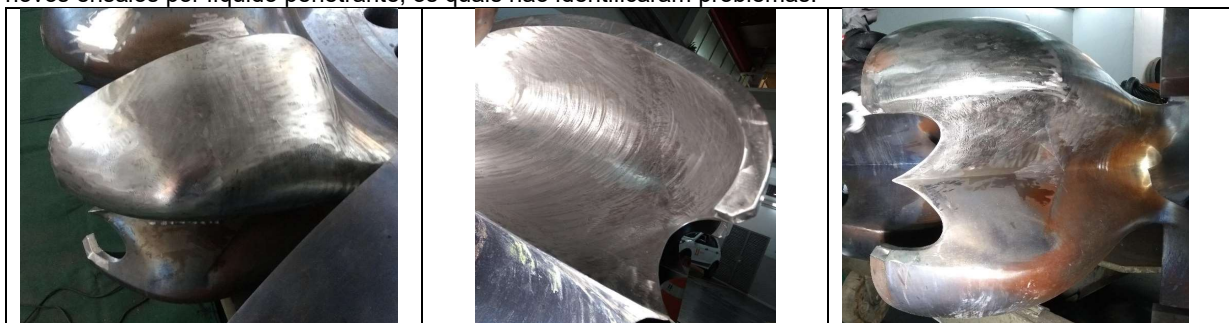


FIGURA 15: Aspecto final da concha 5 após reparo.

#### 4.0 CONCLUSÃO

Concluída a união da seção fraturada através de soldagem, assim como o tratamento térmico pós-soldagem e as demais atividades de acabamento e inspeção, o rotor tornou-se apto para a reinstalação e operação. Todo o processo de preparação e soldagem foi executado conforme procedimentos bem estudados e definidos que tiveram como objetivo gerar o menor impacto possível ao componente. Não obstante, optou-se pelo tratamento térmico do rotor inteiro, em forno, o qual gerou resultados positivos, principalmente na redução da dureza no metal de solda, levando à valores mais próximos aos do metal de base. Isso significa maior tenacidade da região soldada e, em conjunto com

o alívio de tensões também gerado pelo tratamento térmico, redução do risco de formação de novas trincas no local. Tendo em vista que foi o primeiro reparo de tamanha magnitude realizado no componente, foi realizada inspeção criteriosa na concha 5 após um mês de operação. Após isso as inspeções passaram para a periodicidade normal de inspeção de manutenção de quatro meses, sem que o equipamento apresentasse qualquer problema.

#### 4.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Standard of Welding Society. AWS A5.9: specification for bare stainless steel welding electrodes and rods. Miami: AWS, 1993.

American Standard for Testing of Materials. ASTM A743/A743M: Standard Specification for Castings, Iron-Chromium, Iron-Chromium-Nickel, Corrosion Resistant, for General Application. West Conshohocken: ASTM, 2003.

de GOUVEIA, R. R. A influência de temperatura de interpasse na tenacidade do metal de solda na soldagem multipasse do aço inoxidável martensítico CA6NM pelo processo TIG. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica UFPR. Curitiba, 2008.

HATTORI, S.; ISHIKURA, R.; ZHANG, Q., Construction of database on cavitation erosion and analyses of carbon steel data, Proceedings of the 5th International Symposium on Cavitation, Osaka, Japão, GS-11-002, 1-4 nov. 2003.

PUKASIEWICZ, A. G. M. Desenvolvimento de Revestimentos Fe-Mn-Cr-Si-Ni Resistentes à Cavitação Depositados por Aspersão ASP. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais UFPR. Curitiba, 2008.

PUKASIEWICZ, A. G. M. Propagação de trincas por fadiga em juntas soldadas do aço inoxidável martensítico tipo CA6NM. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais UFPR. Curitiba, 2002.

WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELLO, Wanderley O. Soldagem: Processos e Metalurgia, 2ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1995.

#### DADOS BIOGRÁFICOS



##### (1) ROMILDO TRISTANTE

Possui graduação em Tecnologia em Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (2005) e graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Positivo (2009). Atualmente é engenheiro de manutenção de equipamentos da geração, na Empresa Copel Geração e Transmissão. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, atuando principalmente nos seguintes temas: manutenção de usinas hidrelétricas, turbinas hidráulicas, soldagem, aspersão térmica e cavitação.

##### (2) ANDRÉ CHICOSKI

Formado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Paraná – UFPR (2010), com especialização em Engenharia da Soldagem pela mesma instituição (2013) e MBA em Gestão de Projetos pela ESIC Business e Marketing School (2018). Até o ano de 2021 atuou como pesquisador do LACTEC, trabalhando em projetos de PD&I aplicados aos setores de geração de energia e petróleo e gás, com aplicação das tecnologias de soldagem e aspersão térmica. Atuou também na supervisão de serviços de reparo por soldagem em componentes de usinas hidrelétricas e termelétricas. Atualmente faz parte da engenharia de processos na WEG Energia.