

## Sistema inteligente para ablução de trocadores de calor

### Intelligent system for abluion of heat exchangers

**J. L. Rangel Rios, S.B. Germano, M. N. Frota**

<sup>1</sup> Programa de Pós-graduação em Metrologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 22541-900, Brasil

E-mail: frota@esp.puc-rio.br

**Resumo:** Este trabalho descreve uma alternativa tecnológica inteligente, concebida para desobstruir trocador de calor de hidrogeradores, sem a necessidade de interrupção da geração. Um sistema servo-hidráulico inovador injeta e recupera esferas abrasivas nos tubos do trocador, assim removendo a indesejável incrustação, que tão drasticamente compromete a efetividade térmica do sistema de arrefecimento. A inteligência do sistema resulta da harmonização de dois subsistemas complementares: (i) um dispositivo opto eletrônico, que opera na faixa do infravermelho para captar as esferas, mesmo em meios turvos, e que gera sinais lógicos de comando das eletroválvulas e (ii) um sistema de automação, que gerencia a operação do sistema de eletroválvulas. Validado em laboratório, o sistema está preparado para operar no ambiente de uma usina hidrelétrica.

**Palavras-chave:** alternativa inteligente para limpeza de trocadores de calor; arrefecimento de hidrogeradores; mitigação de fouling por esferas abrasivas.

**Abstract:** This work describes an intelligent technological alternative, designed to unclog heat exchanger of hydro generators, without the need to interrupt generation. An innovative servo-hydraulic system injects and recovers abrasive beads into and from the exchanger tubes, thereby removing undesirable fouling, which so drastically compromises the thermal effectiveness of the cooling system. The intelligence of the system results from the harmonization of two complementary subsystems: (i) an electronic optoelectronic device, which operates in the infrared range to capture the spheres even in turbid media, generating the logic signals to control the solenoid valves and (ii) an automation system, which manages the operation of a group of solenoid valves. Validated in the laboratory, the system is prepared to operate in the environment of a hydroelectric plant.

**Keywords:** *Arrefecimento de hidrogeradores, Contador de esferas; esferas abrasivas; sistemas de limpeza de trocadores de calor.*

## 1. INTRODUÇÃO

As águas que abastecem usinas hidrelétricas normalmente transportam resíduos minerais e impurezas que obstruem trocadores de calor e outros dispositivos que integram o sistema de arrefecimento dos mancais das turbinas e o arrefecimento dos hidrogeradores, drasticamente comprometendo a sua eficácia de operação e colocando em risco a geração. Ainda mais comprometedor são os microorganismos anóxicos, responsáveis pela formação de filmes

de matéria viva, com elevadas taxas de crescimento, dando origem ao que se denomina *biofouling*, podendo obstruir por completo a tubulação, o que normalmente é evitado por onerosas paradas técnicas da unidade geradora para desobstrução mecânica dos tubos por um tedioso processo de varetagem mecânica [1]. Este trabalho descreve uma alternativa metodológica inovadora de limpeza dos trocadores de calor e apresenta o protótipo do dispositivo inteligente construído para injetar/recuperar esferas abrasivas no/do interior dos tubos do trocador. A

originalidade do sistema reside na concepção desenvolvida, que faz uso de artifício *on-line* de limpeza, sem a necessidade de interrupção da geração, que é típico das técnicas convencionais de limpeza. Ao reduzir a interferência humana nos processos de manutenção, reduz o número de onerosas paradas técnicas de manutenção dos trocadores de calor utilizados no arrefecimento dos mancais das turbinas e dos hidrogeradores. No que concerne a sua relevância, o trabalho contribui para o setor elétrico como um todo, já que os resultados encontram ampla aplicabilidade em usinas hidrelétricas hoje em operação no país e que enfrentam problemas similares.

## 2. METODOLOGIA

Denominado pela SIGLA que caracteriza a sua função, o SIREA (Sistema Injetor e Recuperador de Esferas Abrasivas), integra quatro subsistemas: (i) dispositivo mecânico hidráulico, composto por duas câmaras (de injeção e de recuperação de esferas abrasivas); (ii) dispositivo opto eletrônico, que gera sinais lógicos de monitoramento das esferas circulantes; (iii) unidade de medição remota e (iv) sistema de automação, que opera um conjunto de eletroválvulas de ação ativa e passiva.

No que concerne aos aspectos metodológicos, cada desenvolvimento fundamentou-se na observação das dificuldades vivenciadas no dia-a-dia da equipe de manutenção de uma usina hidrelétrica, utilizada como fonte de observação dos processos de limpeza envolvidos, assim inspirando a concepção e desenvolvimento de cada subsistema que integra o SIREA. As próximas seções caracterizam cada um desses quatro subsistemas.

### 2.1. O fundamento da operação

A Figura 1 ilustra o esquemático da operação do SIREA. Um Grupo motor-bomba hidráulica impulsiona a água captada do circuito de resfriamento da usina, usualmente bombeada do canal de fuga das turbinas. Um dispositivo, genuinamente concebido, permite transportar, recuperar e lavar as esferas abrasivas, após sua injeção nos tubos do trocador). Outro circuito hidráulico permite retornar as esferas, da câmara de recuperação de volta à câmara de injeção,

assim preparando o *start-up* de um novo ciclo de limpeza, automaticamente acionado a partir do monitoramento da pressão diferencial imposta ao trocador pela presença do *fouling*.

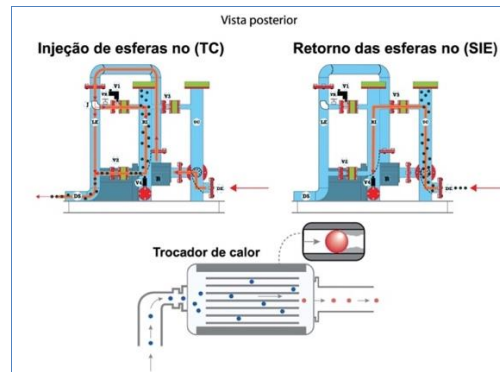


Figura 1. Esquemático da operação

### 2.2 O sistema remoto *on-line* de medição

O sistema de medição (SisMed) cumpre dois propósitos: (i) sistematizar a coleta, transmissão e processamento dos dados de monitoramento dos trocadores de calor e (ii) permitir comunicação digital entre este sistema remoto de medição e a unidade de controle da automação do protótipo desenvolvido do Sistema SIREA. Concebido para permitir o monitoramento remoto das condições térmicas e hidrodinâmicas de operação do trocador, o SisMed, por meio de um algoritmo computacional, processa e armazena os dados da medição. A transmissão digital dos dados ocorre em tempo real, gerando arquivos TXT para análise e sinais analógicos, que são captados pelo sistema de automação dos processos envolvidos. O SisMed, em conexão com o sistema de automação, está capacitado para transmitir grandes massas de dados (temperatura, pressão e vazão), coletados na entrada/saída do trocador.

A medição de temperatura da água de resfriamento é realizada por meio de termo resistências Pt-100, instaladas nas estações de entrada e saída do trocador de calor. Medições típicas em sistemas de trocadores de calor de hidrogeradores indicam uma diferença de temperatura da ordem de 6 °C a 10 °C, em trocadores obstruídos, diferença essa que se reduz para cerca de 2 °C, após o processo de limpeza.

A medição de pressão diferencial entre a entrada e a saída do trocador, constitui-se numa medição do grau de incrustação do trocador, já que o *fouling* impõe resistência ao escoamento.

Medições de vazão da água de resfriamento (fluido transportador das esferas abrasivas) são realizadas por meio de um medidor de vazão do tipo ultrassônico (Krohne Optisonic 6000 Ultrasonic, que dispõe de duas unidades de medição independentes, ambas conectadas à mesma unidade de controle UFC 300 W).

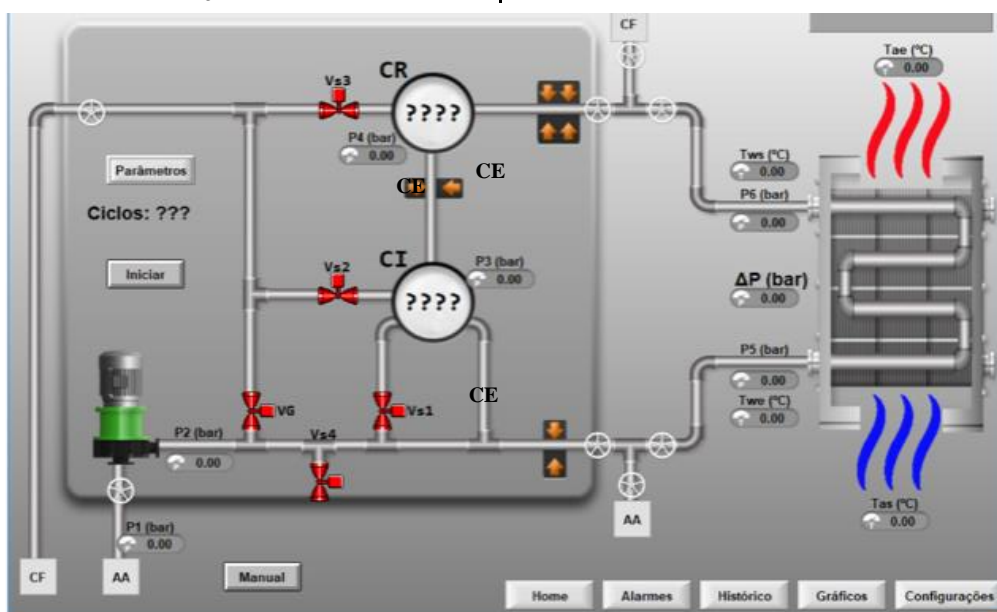
### 2.3 Gerador de sinais lógicos de controle

Um dispositivo opto eletrônico, que opera na faixa do infravermelho, gera sinais lógicos sempre que uma esfera é detectada no fluxo, ainda que em meios turvos, que é tipo do fluido de trabalho de trocadores com incrustação. Por limitação de espaço, este dispositivo contador de esferas (CE), constitui objeto de outro trabalho,

igualmente submetido à esta mesma edição do Congresso Brasileiro de Metrologia [2].

### 2.4 Sistema de automação

Responsável pelo controle do sistema de limpeza dos trocadores de calor, o sistema de automação controla a operação dos seguintes subsistemas: grupo motor-bomba hidráulica; inversor de frequência; eletroválvulas; Controlador Lógico Programável (CLP); Interface Homem-Máquina (IHM); sensores de pressão (membrana), temperatura (PT-100) e vazão (ultrassônico); Detector opto eletrônico infravermelho, de monitoramento das esferas circulantes; o que é viabilizado por softwares especializados embarcados (desenvolvido em linguagem de programação Ladder, para controle, automação e operação da unidade IHM). Esta interface homem-máquina, viabiliza o funcionamento do supervisor do sistema global de automação.



**Figura 2.** Tela do sistema de automação (CF: Canal de Fuga; AA: Anel de alimentação; CR: Câmaras de injeção e recuperação de esferas; CE: Contador de Esferas)

## 3. O PROTÓTIPO DO SIREA

O Sistema de Injeção e Recuperação de Esferas Abrasivas (SIREA), caracteriza-se pelos seguintes atributos: **Concepção.** Sistema inteligente, com mobilidade, concebido para viabilizar a limpeza automatizada de trocadores de calor de hidrogeradores. **Caráter**

**Inovador.** Viabiliza a limpeza de trocadores de calor, sem a necessidade de interrupção da geração. **Benefícios.** Dispositivo de fácil implementação, sem a necessidade de alterações expressivas nos sistemas instalados. Dispensa agentes químicos durante o processo de limpeza e reduz custos de manutenção, já

que o processo *on-line* não interfere na operação do grupo turbina-gerador. **Aplicabilidade.** Embora concebido para realizar a limpeza de trocadores de calor de hidrogenadores, a alternativa tecnológica proposta encontra aplicação em diversos outros processos industriais (*trocadores de calor tubulares de um modo geral; Fan coils, coolers de sistemas de refrigeração e condensadores de condicionadores de ar.*)

**Tecnologia embarcada** – Esta versão compacta do SIREA incorpora: (1) um sistema

de automação das eletroválvulas e (2) um dispositivo opto-eletrônico que desempenha três funções: (i) Contar as esferas injetadas e recuperadas; (ii) Medir a velocidade das esferas (parâmetro crítico para assegurar a eficácia do processo de limpeza) e (iii) Gerar os sinais lógicos para instruir o sistema de automação das eletroválvulas.

As imagens da Figura ilustram, respectivamente, o projeto de concepção (imagem da esquerda) e o protótipo automatizado construído (à direita) do SIREA.

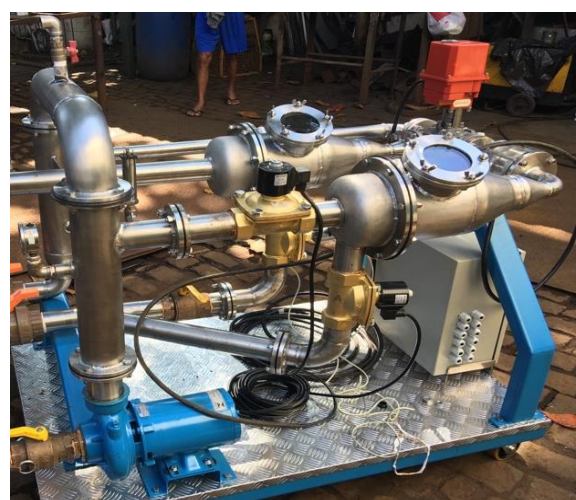
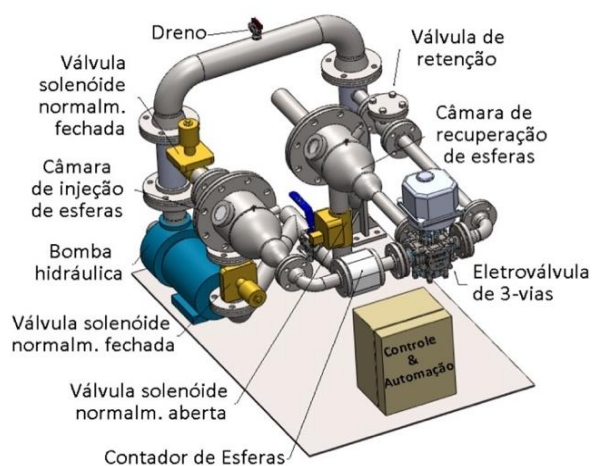


Figura 3. Concepção e Protótipo construído do SIREA

#### 4. CONCLUSÕES

Ensaio realizados no ambiente laboratorial confirmaram a factibilidade de operação do SIREA; i.e.: sua capacidade de introduzir e recuperar esferas em trocadores de calor, de forma automática, em ciclos, sem a necessidade de interromper a geração. Articulações encontram-se em curso, para testar o protótipo, diretamente acoplado a um grupo gerador turbina-hidrogenador, no ambiente de uma usina hidrelétrica.

#### 5. AGRADECIMENTOS

À Henrique Olcese, pelos desenhos e animação criados com o software *Sólid Works*. À Equipe da Empresa CETEM Automação Industrial Ltda., pelo profissionalismo do apoio técnico e

parceria construída em torno deste projeto. À Oficina Maroni Ltda., pela exatidão dos serviços de mecânica de precisão.

#### 6. REFERÊNCIAS

- [1] M.N. Frota; Ticona E. M.; Neves, A. V.; R.P.M. Silva; Braga, S.L.; G.P.Valente Jr. *On-line cleaning technique for mitigation of biofouling in heat exchangers: A case study of a hydroelectric power plant in Brazil.* Experimental Thermal and Fluid Science, v. 53, p. 197-206, 2014.
- [2] J. Nunes, C. R. Hall Barbosa, M. N. Frota, Gilson Valente. *Infrared Optoelectronic System for Counting Spheres in Turbid Media.* Congresso Brasileiro de Metrologia (CBM), Fortaleza 2017.