

## Controle e monitoramento de uma unidade de processamento de pinos por atrito para o reparo de dutos e tubulações de transporte de derivados de petróleo

**Camila Monteiro Formoso**  
camilaformoso@yahoo.com.br  
Universidade Federal de  
Uberlândia

**Gabriela Mendes Santos**  
gmsgabriela@gmail.com  
Universidade Federal de  
Uberlândia

**Henry Fong Hwang**  
henryfhwang@yahoo.com.br  
Universidade Federal de  
Uberlândia

**Ricardo Reppold Marinho,**  
reppold@petrobras.com.br  
PETROBRAS/CENPES/PDT/  
TMEC

**Sinésio D. Franco** sdfranco@  
ufu.br  
Universidade Federal de  
Uberlândia

**Vera Lúcia D. S. Franco**  
vlfranco@ufu.br  
Universidade Federal de  
Uberlândia

### Resumo

As indústrias de exploração de petróleo têm crescido substancialmente diante da economia atual e, com isso, há o aumento de equipamentos e instalações. Na mesma proporção, há a necessidade de efetuar a manutenção de elementos. No entanto, para que tal operação seja executada, existem certas dificuldades na realização de reparos de trincas e defeitos em dutos e tubulações. Isso ocorre, devido à operação em área classificada, em ambiente molhado e em ambiente contendo resíduos de hidrocarbonetos. Também pode-se citar a necessidade de parada e limpeza de um longo trecho de um duto para a troca de segmentos, no caso de trincas passantes. Tais fatos fomentaram o desenvolvimento de um processo de soldagem denominado Friction Hydro Pillar Processing (FHPP) ou Processamento de Pinos por Atrito (PPA). Esse consiste em fazer um furo na região da trinca e posteriormente preenchê-lo com um pino, o qual é submetido a altas rotações e forças axiais. A fim de aplicar o processo mencionado, foi proposta a construção de um equipamento portátil, capaz de efetuar a furação em dutos e tubulações e executar reparos através do movimento relativo entre o substrato e pinos, o que é produzido por meio de rotação e forças de compressão ou de tração. Com a inserção desse equipamento no processamento de pinos por atrito, surge a necessidade da automação do mesmo. Dessa forma, foi desenvolvido, através do software LabView®, versão 8.5, um programa de controle e monitoramento das operações realizadas pelo equipamento e das variáveis do processo, as quais são: velocidade de rotação, força axial, torque e “comprimento de queima”. Além disso, por meio da instrumentação adequada e de uma placa de aquisição de dados instalada em um computador, pôde-se adquirir os dados provenientes de sensores de pressão, posição e rotação, possibilitando aquisição e controle em tempo real dos parâmetros durante a execução de testes.

**Palavras-chave:** processamento de pinos por atrito. Controle. Instrumentação. Automação.

### Abstract

The oil and gas industries have experienced recently a significant growth worldwide. On the same rate has increased the need for maintenance on their process parts and installations. When repairing defects in pipelines, as for example cracks, some difficulties appear. The main difficulty is due to the fact that it is an area with risk of explosion (classified area), and it has been performed underwater. An alternative method to the conventional arc welding processes is the so called Friction Hydro Pillar Processing (FHPP). It is a technique in which a hole is drilled at the damaged area and filled with a consumable rod of the same material. The rod is rotated and pressed against the hole with very high axial forces, leading to frictional heating and as a consequence the material flows along the shear planes. In order to repair pipe by using this technique, a portable equipment has been designed and built. To control and monitor this repair process, a program was developed using the software LabView®, version 8.5. The automation included: axial force, pin rotation, burn-off length and torque. Additionally, the processing parameters were acquired and displayed on-line on a monitor, allowing the operator to follow the process.

**Keywords:** Friction Hydro Pillar Processing. Control. Instrumentation. Automation.

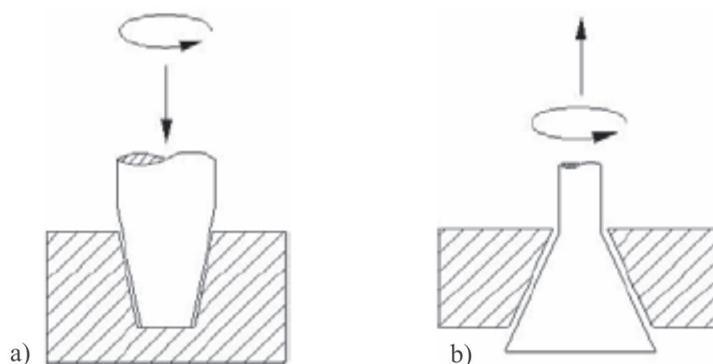
## 1 Introdução

É notável o crescimento das indústrias de extração petróleo e, com isso, a ampliação do parque industrial, de plataformas e da quantidade de equipamentos utilizados nas mais variadas aplicações. Operações que visam à manutenção dos equipamentos em tais ambientes geram grandes preocupações, uma vez que implicam uma série de dificuldades de execução. Dentre elas, podem-se citar: operação em área classificada, ambiente molhado, ambiente contendo resíduos de hidrocarbonetos, como no caso de trincas passantes em dutos, e necessidade de parada e limpeza de um longo trecho de um duto para a troca de segmentos, no caso de trincas ou furos. Tais dificuldades tornam os processos de reparo por soldagem a arco-elétrico, solução geralmente escolhida, especialmente crítico.

Com o intuito de facilitar a execução bem como reduzir o custo de tais manutenções, foi desenvolvida uma técnica de reparo alternativa, conhecida como Friction Hydro Pillar Processing (FHPP) ou Processamento de Pinos por Atrito (PPA), a qual consiste numa variação da soldagem por atrito. A soldagem por atrito é um processo de união do material no estado sólido, onde é produzida a união metalúrgica do material através da rotação ou movimento relativo entre as partes sob forças compressivas, a fim de produzir calor e fluxo plástico a partir das superfícies em contato (Andrews, 1990; Thomas and Nicholas, 1992; Nicholas, 1995; e Thomas and Tempel-Smith, 1997).

O PPA tem como objetivo a restauração de defeitos ou trincas em equipamentos metálicos. Este processo apresenta como etapa fundamental a realização de um furo na superfície danificada para, posteriormente, preenchê-lo com um pino submetido a altas rotações e forças axiais. Devido ao atrito entre o pino e a superfície do furo, há o aumento da temperatura das superfícies de contato, o que leva a uma redução do limite de escoamento do material, favorecendo, desta forma, o fluxo plástico do material do pino e a formação de ligações metálicas ao término do movimento relativo (Meyer, 2002).

A fim de aplicar o PPA, foi proposta a construção de uma Unidade de Processamento de Pinos por Atrito (UPPA) portátil por meio do Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste (LTAD) da Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Este equipamento é capaz de efetuar reparos em dutos e tubulações através da compressão ou da tração de pinos consumíveis na região danificada. A Figura 1 mostra ilustrações do processamento de pinos por atrito em ensaios de compressão e tração.



**Figura 1:** Ilustração do processamento de pinos por atrito em ensaios de (a) compressão e (b) tração.

**Fonte:** Arquivos do Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste.

Para a realização de ensaios de maneira controlada e segura, foi desenvolvido um projeto de instrumentação e controle para automação do equipamento. Através do software *LabView®*, versão 8.5, foi desenvolvido um programa responsável pelo gerenciamento dos parâmetros envolvidos no processo, tais como: rotação, força axial, torque e “comprimento de queima”, que consiste no comprimento consumido do pino durante o preenchimento. O programa permite ainda a visualização em tempo real de tais parâmetros através de indicadores gráficos, além do salvamento de dados em arquivo e paradas de emergência. Para permitir este controle e monitoramento, foi necessária uma instrumentação adequada através da instalação de sensores de rotação, pressão e posição no equipamento e, através de testes em laboratório, pôde-se validar o sistema desenvolvido.

## 2 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um programa de controle e monitoramento das operações realizadas por uma Unidade de Processamento de Pinos por Atrito, por meio do software *LabView®*, versão 8.5. É importante salientar que a implementação deste sistema na unidade portátil permitirá a otimização do processo e o reparo de dutos e tubulações no transporte de derivados de petróleo em campo.

## 3 Metodologia

Para o desenvolvimento de um sistema de controle e monitoramento da UPPA, foi necessário implementar uma instrumentação adequada para a aquisição de dados referentes aos parâmetros usados para a realização de ensaios de preenchimento por atrito. Com isso, foi possível modelar uma seqüência lógica coerente com as operações necessárias para o reparo de dutos e tubulações de transporte de derivados de petróleo.

### 3.1 Equipamento

A Unidade de Processamento de Pinos por Atrito pode ser dividida em duas partes, sendo uma parte referente ao sistema mecânico e, a outra, referente ao sistema eletro-eletrônico do equipamento, descritas a seguir.

O sistema mecânico é constituído por Pórtico, Cabeça de Reparo e Unidade Hidráulica.

O pórtico foi desenvolvido com o intuito de sustentar a cabeça de reparo e, ainda, fixar a amostra ou peça a ser reparada para testes realizados tanto em laboratório como em campo.

A Cabeça de Reparo é constituída por um motor hidráulico e uma haste ou cilindro hidráulico. O motor hidráulico é responsável por transmitir o movimento de rotação para o eixo através de um acoplamento deslizante. O eixo, por sua vez, é inserido em uma haste hidráulica vazada, responsável por transmitir movimentos de translação vertical ao eixo através de mancais. Dessa forma, o eixo possui dois movimentos distintos: de rotação e de translação. Na ponta do eixo é acoplado o mandril, no qual é fixado o pino consumível a ser processado.

A unidade hidráulica tem por finalidade básica prover energia tanto ao motor hidráulico, quanto à haste hidráulica.

Dentre os componentes da unidade hidráulica, pode-se destacar como mais importantes o reservatório de óleo com capacidade de 400 litros, três conjuntos de moto-bombas e o bloco de válvulas, responsável pelo controle lógico de pressão e vazão do fluido que aciona o motor hidráulico e o cilindro hidráulico (Souza, 2006)

O sistema elétrico é responsável pelo acionamento dos motores, controle do bloco de válvulas e envio e aquisição de sinais durante a realização de ensaios. É constituído por elementos diversos de automação, como disjuntores, relés e contadores, inseridos em um painel elétrico. Neste painel encontram-se também elementos que fazem parte da malha de controle da UPPA, como um Controlador Lógico Programável (CLP), cartões de controle PID para controle da força axial e rotação, além de circuitos eletrônicos para condicionamento de sinais.

### 3.2 Instrumentação

Para a automação do equipamento, foi desenvolvido, através do software *LabView®*, versão 8.5, um programa responsável por gerenciar os parâmetros de ensaio, tais como: rotação, força axial, torque e “comprimento de queima”.

Este gerenciamento se dá através do envio de valores de referência (*setpoints*) aos Cartões PID que se encontram no painel elétrico, responsáveis por controlar a rotação e a força axial durante um ensaio. Além disso, o programa ainda permite o monitoramento destes dois parâmetros, além do torque e “comprimento de queima”, que podem ser visualizados através de uma interface gráfica.

Esta comunicação entre o programa desenvolvido e os elementos do painel elétrico, é realizada através de uma placa de aquisição de dados PCI-DAS 1200, AD/DA, resolução de 12 bits, 330 kHz, da Measurement Computing Corporation. As portas analógicas da placa operam em nível de tensão contínua (DC), de -10V a +10V, e as portas digitais operam em nível TTL (0V a +5V).

Para realização do monitoramento das variáveis, foram inseridos junto ao equipamento sensores de pressão, posição e rotação.

O sensor de posição é um sensor do tipo potenciométrico que tem como saída, um sinal de tensão contínua, proporcional à variação de seu comprimento, em função do valor máximo da tensão de alimentação de 6V.

Para leitura da força e do torque, foram utilizados transdutores de pressão. O cálculo da força é realizado a partir da diferença entre as pressões de entrada e saída do fluxo hidráulico da haste, responsável por aplicar a força axial ao eixo. Já o torque pode ser calculado a partir da pressão de saída do motor hidráulico, uma vez que a pressão de entrada apresenta-se sempre constante e a pressão de saída é variável de acordo com o processo.

Para a leitura da rotação, utilizou-se um sensor indutivo, o qual funciona a partir do princípio de relutância magnética. Para a medição desta variável, foi utilizada uma roda dentada metálica que, quando próxima do sensor (em torno de 2 mm), este apresenta na saída um sinal máximo de 15V, correspondendo à tensão de alimentação do mesmo.

Quando o vale da roda passa pelo sensor (distância bem maior que 2 mm), o sinal de saída é igual a 0 V. No entanto, o sinal gerado pelo sensor, correspondendo a um sinal pulsado, mostra-se incompatível com a entrada analógica da placa de aquisição de dados e entrada de *feedback* do cartão PID. Para adequar o sinal do sensor de rotação, foi necessária a construção de um circuito analógico conversor de frequência em tensão, em que a frequência lida pelo sensor indutivo pode ser convertido em uma tensão contínua proporcional à rotação do eixo. Para a construção deste, utilizou-se o circuito integrado VFC320, da Burr Brown. A saída de tensão do conversor foi limitada em um valor máximo de 9V, compatível com o valor máximo de leitura das entradas analógicas envolvidas no processo (Formoso *et al.*, 2005).

O cartão PID DIFF P/Q e o cartão VT-HACD são responsáveis respectivamente por manter a força e a rotação, de acordo com os valores definidos, durante a realização de ensaios. O controle é feito a partir do envio do *setpoint* para o cartão. Há o constante monitoramento das variáveis por meio de sinais provenientes dos sensores (*feedback*) e, posteriormente, uma correção do sinal de saída enviado ao bloco de válvulas.

Durante todo o ensaio, os parâmetros podem ser visualizados em tempo real através de indicadores gráficos que compõem a tela principal do programa desenvolvido, o qual permite ainda interromper manualmente o processo através de uma tecla STOP.

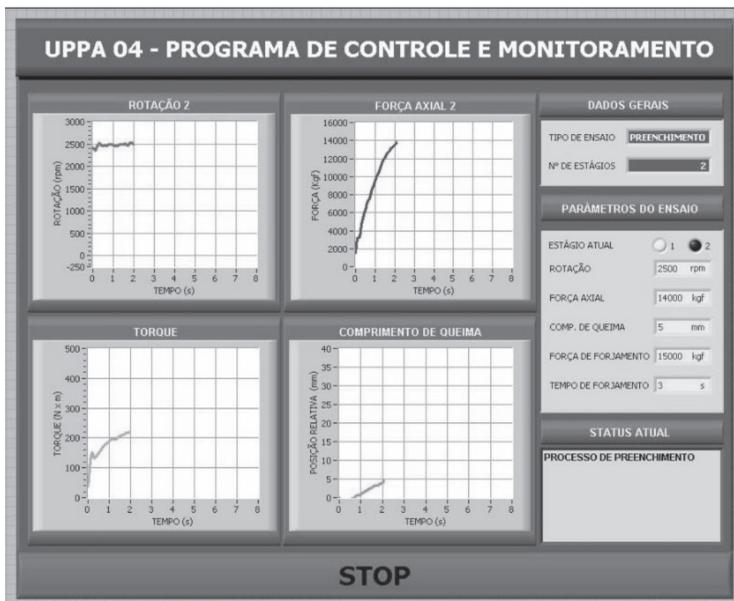
### 3.3 Programa de Controle e Monitoramento

O programa desenvolvido permite a fácil operação do equipamento através de uma Interface Homem-Máquina (IHM), através da qual o usuário define os parâmetros de ensaio, como exibido a Figura 2 e acompanha o processo durante a execução de testes, como mostra a Figura 3.



**Figura 2:** Entrada de dados.

**Fonte:** Arquivos do Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste.



**Figura 3:** Interface gráfica do processo de processamento de pinos por atrito.

**Fonte:** Arquivos do Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste.

A IHM foi desenvolvida de forma a evitar ao máximo quaisquer falhas de preenchimento por parte do usuário. Desta forma, ao iniciar o programa, são exibidas as opções de ensaio, tais como: “Processo de Preenchimento”, “Processo de Tração” e “Importar Dados de Arquivo”. O usuário deve escolher uma das opções anteriores para ir ao próximo passo, que consiste na definição dos valores de referência do ensaio. Os valores de entrada são: número de estágios (1 ou 2); velocidade de deslocamento (mm/s); rotação (rpm); força (kgf); “comprimento de queima” (mm); força de forjamento (kgf) e tempo de forjamento (s).

O número de estágios define se, durante o processo de queima do pino, haverá alguma alteração em um dos parâmetros. Desta forma, é possível realizar ensaios com um ou dois valores de rotação e/ou um ou dois valores de força, até que se consuma todo o pino. A mudança de estágios é definida pelo “comprimento de queima”, ou seja, a partir de um comprimento determinado pelo operador, alteram-se os valores de força e rotação, caso o usuário tenha optado pela realização de ensaios com dois estágios.

A velocidade de deslocamento refere-se à velocidade com que o eixo se desloca em direção à amostra, antes do contato do pino com o corpo de prova, ou seja, antes do início do PPA.

Os valores de rotação e força definem os parâmetros principais do processo, enquanto o “comprimento de queima” determina quanto do pino será consumido durante um ensaio, em milímetros. Este parâmetro define a mudança de estágios, bem como o término de um ensaio.

A etapa de forjamento ocorre ao final do processo, após o “comprimento de queima” ser atingido. Nesta etapa a rotação do eixo é interrompida, e então aplica-se uma força, denominada “força de forjamento”, por um tempo determinado pelo operador. Encerrado este tempo, interrompe-se esta força, os dados adquiridos durante o ensaio são salvos em arquivo, o eixo retorna à posição inicial e então o programa é encerrado automaticamente.

Após a entrada dos dados referentes ao ensaio, o programa envia ao painel elétrico os valores de referência para controle da força e rotação e exibe uma tela para monitoramento do processo.

As leituras das principais variáveis podem ser visualizadas e monitoradas durante cada momento da realização de rotinas de comando presentes no programa. Os valores sobre rotação, força axial, torque e “comprimento de queima” são exibidos por meio de gráficos e atualizados em tempo real até o final do processo. Também existem indicadores sobre qual etapa é cumprida a cada instante durante a realização da operação escolhida.

O programa possui um sistema de segurança, para identificar os valores incoerentes das variáveis durante o ensaio, o que mantém a integridade física do equipamento e do operador. Em adição, pode-se referenciar o botão STOP responsável pela parada imediata do programa através da ação do usuário, caso ocorra algum imprevisto na execução do processo. Dessa forma, mantém-se o controle e o monitoramento dos parâmetros do ensaio.

### 3.4 Sequência Lógica do Processo

A seqüência lógica do processo de preenchimento por atrito pode ser melhor visualizada através do fluxograma exibido na Figura 4.



Figura 4: Fluxograma da seqüência lógica do processo.

Fonte: Arquivos do Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste.

Ao iniciar o programa o usuário tem três opções, quais sejam: “Processo de Preenchimento”, “Processo de Tração” e “Importar Dados de Arquivo”. Para o “Processo de Preenchimento”, são apresentados em telas seqüenciais os dados de entrada referentes ao ensaio. O usuário deve preencher corretamente os dados para ir à próxima etapa. Na seqüência, as válvulas da UPPA são habilitadas. Posteriormente a haste é recuada à posição inicial e então o motor hidráulico é acionado, implementando-se a rotação no eixo em rampa de 10 segundos. Feito isso, aproxima-se o pino da chapa de teste, até que diferenças de pressão significativas sejam medidas nos transdutores de pressão ligados à entrada e à saída do motor hidráulico, o que indica que o pino atingiu a superfície de reparo. Neste instante, inicia-se o controle e o monitoramento do processo, através do envio dos *setpoints* aos controladores PID e do início da aquisição dos sinais dos sensores e plotagem de gráficos. O processo se mantém até que o “comprimento de queima” seja atingido, e então passa-se à etapa de forjamento.

Nesta etapa o programa desabilita a válvula responsável pelo fluxo de óleo do motor hidráulico, interrompendo a rotação, e envia ao controlador PID da força um *setpoint* equivalente à força de forjamento. Esta etapa é executada durante o tempo de forjamento, determinado pelo operador, e, na seqüência, inverte-se o fluxo hidráulico da haste, de forma que o cilindro retorna à posição inicial. Vale observar que, ao término do processo, pino e bloco encontram-se totalmente unidos, porém é possível retornar o eixo automaticamente graças ao mandril utilizado, que se permite destacar do pino através de uma leve força de tração.

O “Processo de Tração” é similar ao processo anterior, com diferença no sentido de movimentação do eixo. Adotando o referencial de deslocamento para baixo, considera-se deslocamento positivo da haste para os ensaios de preenchimento e, no caso de processo de tração, o deslocamento é negativo. O mesmo é válido para o sentido de aplicação de cargas axiais.

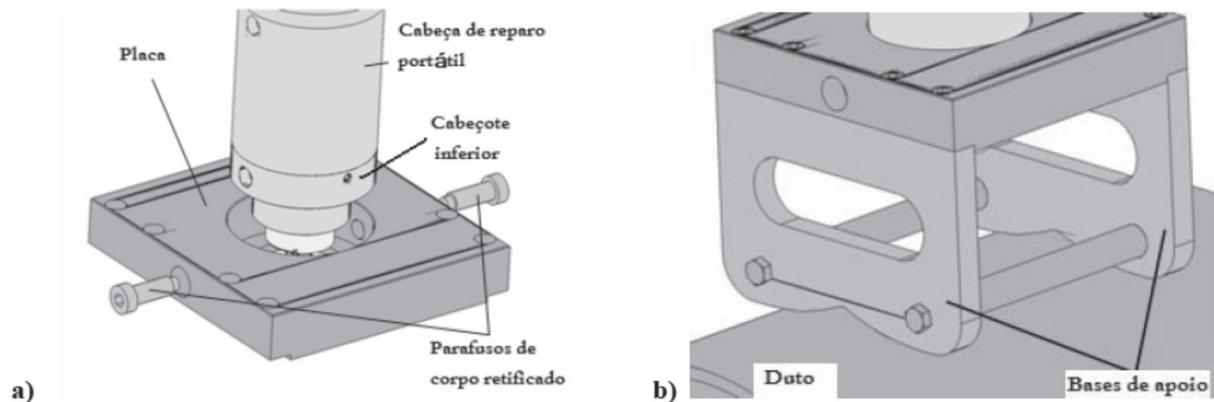
Na etapa “Importar dados de Arquivo”, o programa exhibe uma tela em que o usuário localiza a pasta e o nome do arquivo salvo a partir de um ensaio anterior. Feito isso, o programa plota nos gráficos os dados salvos, e então pode-se estudar o comportamento e resultados obtidos anteriormente.

O programa cumpre a rotina de comandos de acordo com a opção escolhida automaticamente. No entanto, o operador pode interrompê-lo a qualquer momento em que se perceba alguma condição anormal durante a execução do processo.

#### 4 Resultados

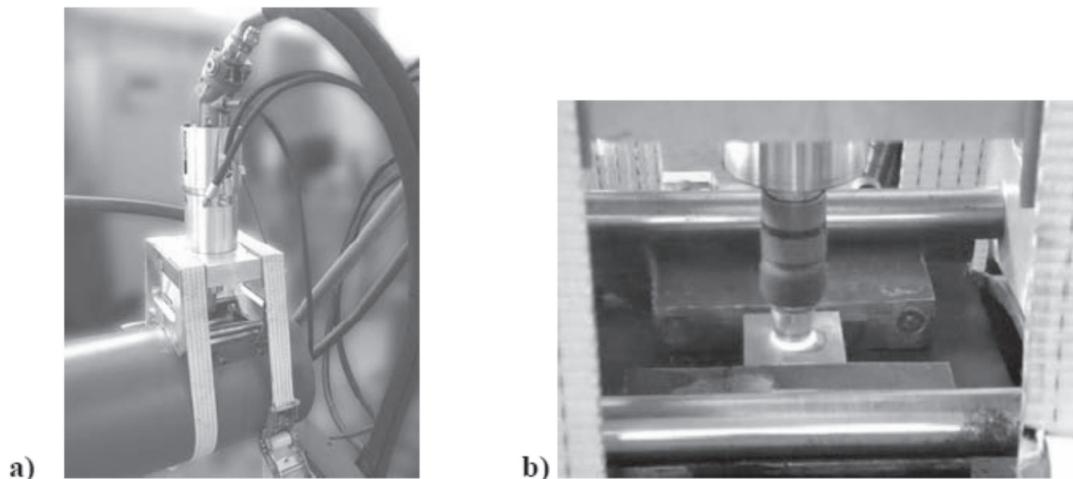
A fim de validar o programa desenvolvido, foram realizados testes de processamento de pinos por atrito em laboratório.

Com o intuito de realizar testes em dutos, foi projetado um sistema de fixação para dutos. Este sistema permite que a cabeça de reparo portátil seja fixada através de dois parafusos de corpo retificado, inseridos radialmente em um cabeçote inferior, que suportariam esforços de cisalhamento durante os ensaios. Isso mostra que este tipo de fixação atenderia ensaios por compressão e tração, além de possibilitar o posicionamento em diferentes ângulos em relação a superfícies planas. Além disso, foi projetada uma placa onde seria encaixado o cabeçote inferior e os parafusos. Essa teria um furo que alinharia a cabeça de reparo portátil em relação à superfície do duto, de modo que esta última ficasse sempre perpendicular. Com isso, os parafusos de corpo retificado se acomodariam também dentro da placa, a fim de reagir aos esforços de processamento, como mostrado na Figura 5a. Para o apoio nos dutos ainda, foram desenvolvidas bases, que seriam fixadas na placa através de parafusos, como as observadas na Figura 5b. Por fim, a fixação de todo o conjunto sobre o duto foi realizada através de duas cintas que envolveriam a base e o duto, e seriam tensionadas através de catracas.



**Figura 5:** (a) Montagem da cabeça de reparo portátil na base de fixação para dutos; (b) Montagem das bases de apoio.  
**Fonte:** Arquivos do Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste.

A partir de uma parte de um duto, disponível do Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste da Universidade Federal de Uberlândia, foi soldada uma mesa plana e construído um pórtico. Com o sistema de fixação para dutos e os elementos mencionados anteriormente, como exibe a Figura 6a, seria possível alternar a posição do conjunto ao longo do duto a fim de mudar a superfície de reparo, conforme a necessidade durante a realização de ensaios. Desse modo, tornou-se possível a realização de testes de preenchimento sobre a mesa plana, como exibe a Figura 6b, validando a eficácia do programa de controle e monitoramento.



**Figura 6:** (a) Cilindro de reparo portátil montada para ensaios em superfícies planas; (b) Ensaio de preenchimento por compressão em processo.

**Fonte:** Arquivos do Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste.

Um exemplo de gráficos de dados sobre arquivos importados, provenientes de um teste monitorado, pode ser visto na Figura 7. Importante citar que tal figura mostra dados do segundo estágio da realização de um teste, sendo que o primeiro encontra-se exibido na Figura 3. Os valores de referência utilizados foram 2500 rpm de rotação, 15000 kgf de força axial, 12 mm de comprimento de queima durante o processamento de pinos por atrito.

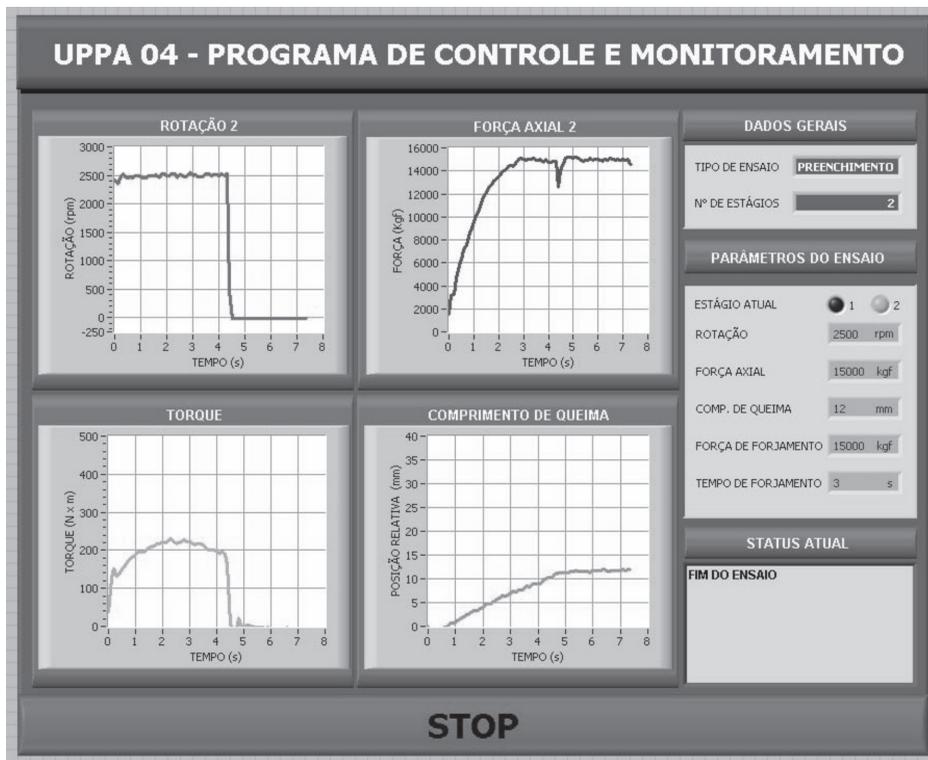


Figura 7: Exemplo de dados importados.

Fonte: Arquivos do Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste.

## 5 Conclusão

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um programa de controle e monitoramento de uma unidade de processamento de pinos por atrito. Isso foi possível, devido à instrumentação adequada, à montagem correta dos elementos do sistema, além da modelagem de uma seqüência lógica de decisões coerente com as operações necessárias para o reparo de dutos e tubulações de transporte de derivados de petróleo. Desse modo, pode-se implementar tal programa na unidade portátil, permitindo operação de maneira automatizada e fácil, com a ajuda de uma interface homem-máquina de simples utilização.

O sistema de controle e monitoramento baseou-se nas operações necessárias para o reparo de trincas nas estruturas mencionadas, seja preenchimento ou reparo por tração. Além disso, permitiu a importação de dados obtidos em ensaios anteriores, possibilitando assim a análise posterior dos resultados obtidos. Desta forma, foi possível desenvolver um programa que cumpre a seqüência necessária à realização de reparo por atrito de maneira totalmente automatizada, através de uma IHM de fácil operação e que permite interromper o ensaio a qualquer momento.

Além disso, com o programa desenvolvido, tornou-se possível realizar o monitoramento em tempo real dos sinais provenientes de sensores de posição, pressão e rotação, e plotagem dos mesmos durante cada etapa de execução do processo.

Diante o exposto, a automação de uma unidade de processamento de pinos portátil foi realizada, possibilitando o reparo de trincas e defeitos em dutos e tubulações por meio do PPA.

## 6 Agradecimentos

Os autores agradecem à FINEP, à FAPEMIG e à PETROBRAS pelo apoio à pesquisa e pelo fomento financeiro para realização deste projeto.

## Referências

- ANDREWS, R.E.; MITCHELL, J. S. Underwater repair by friction stich welding. *Metals and Materials*, v. 6, n. 12, p. 796-797, Dec. 1990.
- FORMOSO, C. M. et al. Desenvolvimento de um sistema de controle para uma unidade de processamento de pinos por atrito. In: SIMPÓSIO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA, 15., 2005, Uberlândia. *Anais...* Uberlândia: Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, 2005.
- MEYER, A. *Friction hydro pillar processing*. Dissertation an der Technischen Universität Braunschweig, Hamburg, 2002.
- NICHOLAS, E. D. Friction Hydro Pillar Processing Advances in Welding Technology. In: 11th ANNUAL NORTH AMERICAN WELDING RESEARCH CONFERENCE, 1995.
- SOUZA, R. J. *Desenvolvimento, projeto e construção de um equipamento de reparo de trincas por atrito*. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)-Universidade Federal de Uberlândia, 2006.
- THOMAS, W. M.; TEMPEL-SMITH, P. *Friction plug extrusion*. UK Patent Application, GB 2.306.365. Date of Publication: 7 May 1997.
- THOMAS, W. M. et al. *Friction forming*. Patent no. EP 0.602.072 B1. Date of Publication of Patent Specification: 18 Oct. 1995.

## Sobre os autores

### Camila Monteiro Formoso

Engenheira Eletricista, Universidade Federal de Uberlândia – UFU. Mestranda em Engenharia Elétrica pela mesma universidade. Engenheira do Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste, com atuação nas áreas de instrumentação, controle e automação.

### Gabriela Mendes Santos

Estudante de Engenharia Mecatrônica, Universidade Federal de Uberlândia. Aluna de iniciação científica do Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste.

### Henry Fong Hwang

Engenheiro Mecânico, Universidade Federal de Uberlândia – UFU. Mestre em Engenharia Mecânica pela mesma universidade. Engenheiro do Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste.

### Ricardo Reppold Marinho

Engenheiro Metalúrgico, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Mestre em Ciência dos Materiais pela mesma universidade. Engenheiro de Equipamentos Pleno do Centro de Pesquisas da Petrobras, atuando na área de soldagem e seleção de materiais.

### Sinésio D. Franco

Engenheiro Mecânico, Universidade Federal de Uberlândia. Professor Adjunto da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia. Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Uberlândia – UFU e doutor pela Ruhr Universitaet Bochum-Alemanha. Pesquisador nível 2 do CNPq. Tem experiência nas áreas de Engenharia de Materiais e Metalúrgica e Engenharia Mecânica, atuando principalmente nos seguintes temas: desgaste abrasivo, desgaste por deslizamento, mecanismos de desgaste, corrosão-erosão, revestimentos, propriedades mecânicas e desenvolvimento de equipamentos. Coordenador do Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste.

**Vera Lúcia D. S. Franco**

Engenheira Eletricista, Universidade Federal de Uberlândia. Mestre Faculdade de Engenharia Elétrica pela mesma universidade e doutora pela Ruhr-Universität Bochum na Alemanha. Pesquisadora e professora do curso de graduação em Engenharia Mecatrônica da Universidade Federal de Uberlândia. Tem experiência na área eletrônica de potência (inversores de alta potência para tração), sistemas e controles eletrônicos, instrumentação de sistemas mecânicos e sistemas mecatrônicos.