

# **MONITORAÇÃO DE SINAIS DO ROBÔ DE INSPEÇÃO INTERNA DE OLEODUTOS - GIRINO**

## **Pedro Eduardo Gonzales Panta**

Universidade Federal de Rio de Janeiro - COPPE/UFRJ - Programa de Engenharia Mecânica  
Centro de Tecnologia, Bloco G/204 – 21945-970 – Cidade Universitária, RJ, Brasil.  
E-mail: robotica.ts@petrobras.com.br

## **Auderi Vicente Santos**

Centro de Pesquisas da Petrobras – CENPES/PETROBRAS  
Quadra 7- 21949-900 - Cidade Universitária, RJ, Brasil.  
E-mail: auderivs@petrobras.com.br

## **Max Suell Dutra**

Universidade Federal de Rio de Janeiro - COPPE/UFRJ - Programa de Engenharia Mecânica  
Centro de Tecnologia, Bloco G/204 – 21945-970 – Cidade Universitária, RJ, Brasil.  
E-mail: max@serv.com.ufrj.br

## **Ney Robinson Salvi dos Reis**

Centro de Pesquisas da Petrobras – CENPES/PETROBRAS  
Quadra 7- 21949-900 - Cidade Universitária, RJ, Brasil.  
E-mail: salvireis@cenpes.petrobras.com.br

**Resumo.** O artigo apresenta as vantagens do sistema robótico GIRINO para inspeção e manutenção de dutos. Depois da uma explicação detalhada de seu funcionamento, será reconhecida a relevância do funcionamento de suas diferentes partes em relação ao desempenho global do sistema. Para a escolha de sensores, que medirão as variáveis físicas relacionadas a cada uma das partes do mecanismo, será feito um estudo das diferentes tecnologias destacando as características que tornam favorável a sua utilização nos ambientes agressivos aonde trabalhara o GIRINO.

**Palavras-chave:** Robô, G.I.R.I.N.O., Inspeção interna de dutos, Sensores.

## **1. INTRODUÇÃO**

As atividades industriais e as linhas de produção de petróleo precisam de uma rede complexa de tubulações. Sendo um dos problemas que se encontra nesta área do conhecimento são relacionados aos dutos submarinos. Por serem parte fundamental do processo de transporte contínuo de petróleo, precisam de constante manutenção, devendo cumprir diversas exigências estabelecidas pelo ambiente adverso de operação, como o meio submarino. Um outro problema na manutenção de dutos é a recente presença de bloqueios nos dutos procedente do acúmulo de hidratos e parafinas. As técnicas de manutenção e inspeção

dentro de tubulações praticadas até hoje implicam em processos complicados de risco para as pessoas e equipamentos envolvidos nas atividades diárias de operação.

O GIRINO (Gabarito Interno Robotizado de Incidência Normal ao Oleoduto) foi desenvolvido pelo Laboratório de Robótica da área de Tecnologia Submarina do CENPES/Petrobras (Reis, 2001), e tem como função procurar vias menos arriscadas no processo de exploração de petróleo. O deslocamento deste robô é conseguido através da utilização de atuadores hidráulicos. Comparado com o conceito convencional de PIG, o GIRINO (figura 1) apresenta como grande vantagem não ser afetado pelo distúrbio próprio dos bloqueios nas linhas nem por falha de bombeio causada por algum dano na parede do duto. A característica principal deste componente está no movimento do dispositivo, onde o sistema de rodas laterais é utilizado como o ponto de apoio capaz de absorver as deformações dos oleodutos no lugar exato de contato. O GIRINO tem dois módulos simétricos (módulo anterior e posterior) ligados através de uma junta flexível universal. Esta configuração, auxiliada pelos cilindros principais, permite um sistema de tração mecânica simples, responsável pelo movimento do componente.

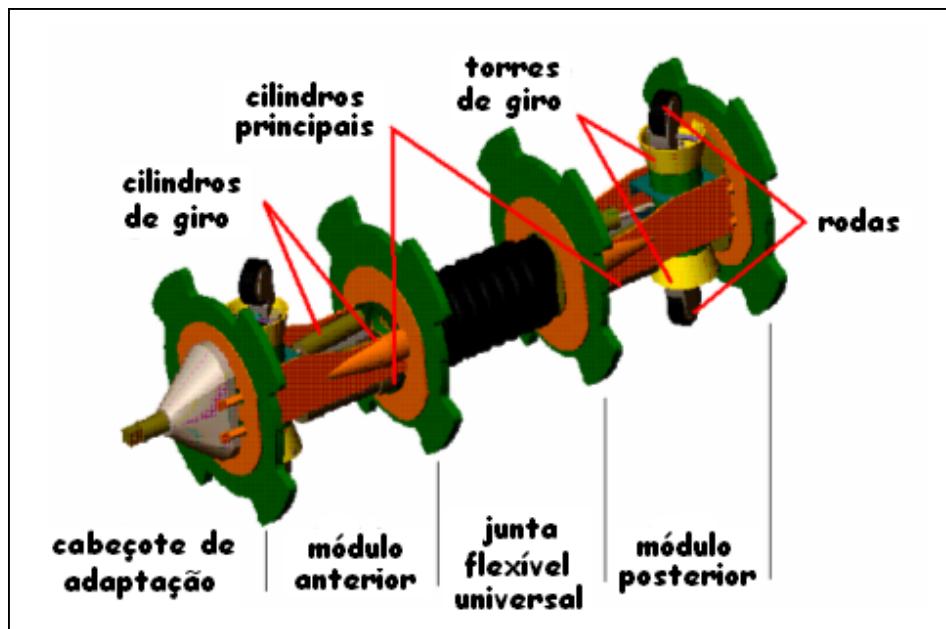


Figura 1. Desenho do GIRINO para dutos com diâmetro de 14 polegadas

Mesmo sendo o GIRINO uma novidade, não se pretende substituir as tecnologias de inspeção já existentes, mas melhorar o transporte destas tecnologias e viabilizar a criação de novas ferramentas para manutenção. Apontando este propósito se faz necessário acompanhar (monitorar) as funções das partes atuantes do GIRINO, assegurando o desempenho eficaz e a confiabilidade deste sistema. O primeiro passo na monitoração das funções das partes atuantes é a captação e conversão das variáveis físicas em elétricas através de transdutores (Balcells, Romeral, 1997; Sole, 1997).

## **2. METODOLOGIA**

Foi realizado um estudo para se definir a melhor forma de monitorar os movimentos do GIRINO. O uso de sensores industriais foi escolhido para a monitoração devido ao amplo conhecimento e experiência de sua aplicação na instrumentação tradicional.

Três características principais foram decisivas na escolha dos sensores: tamanho (espaço existente limitado), energia de consumo (padronização da alimentação elétrica dos sensores) e viabilidade de marinização dos sensores (é esperado que este mecanismo seja utilizado em águas profundas). Consideram-se as vantagens e desvantagens de cada tecnologia com a finalidade de escolher o sensor mais propício para o requerimento das variáveis de deslocamento angular, linear e força do GIRINO.

## **3. FUNÇÕES BÁSICAS DE OPERAÇÃO DO GIRINO**

Para cumprir sua função de transporte de ferramentas, o GIRINO conta com algumas partes atuantes cujos funcionamentos, em conjunto, desenvolvem eficazmente o princípio de deslocamento que caracteriza este sistema. Este item trata, em primeiro lugar, da movimentação do GIRINO macroscopicamente e posteriormente o detalhamento das partes atuantes na contribuição ao deslocamento. Com as funções das partes atuantes desvendadas, se terá uma base que sustente o uso dos sensores que se disporão no GIRINO.

O corpo do GIRINO realiza uma constante variação de sua dimensão longitudinal. Pode-se dividir esta variação longitudinal em duas etapas: esticamento, quando o corpo se estende, e encolhimento, quando o mesmo diminui de dimensão. Este processo será útil no deslocamento dentro do duto se, de alguma maneira, conseguimos pontos de contato entre o sistema e o duto que sirvam de apoio ao porta-ferramenta. Neste mecanismo duas rodas do módulo dianteiro e duas no traseiro permitem atingir estes pontos de contato. Estes quatro pontos servem alternadamente, por pares, como apoio aos movimentos de esticamento e encolhimento respectivamente. Cria-se, consequentemente, a força necessária para deslocar o GIRINO, com as ferramentas de inspeção, manutenção e equipamentos anexos (umbilical). Testes experimentais realizados no terminal São Sebastião (TEBAR/Petrobras) constataram uma capacidade de carga aproximada de 70000N.

A partir das considerações anteriores pode-se destacar quatro funções fundamentais e uma função complementar das partes atuantes do GIRINO. Estas funções, necessárias para a marcha do conjunto, são: Atuação dos cilindros principais, rotação das torres de giro, tensão do umbilical na parte posterior do corpo e movimento do conjunto. Além destas funções, a força existente nos pontos de apoio é considerada uma função complementar e será melhor explicada nos próximos itens.

A atuação dos cilindros principais é responsável pelo esticamento e encolhimento do GIRINO. Os dois cilindros principais estão unidos na parte extrema das suas hastes por uma junta flexível universal no meio do corpo do GIRINO. Quando estes têm as hastes recolhidas, o GIRINO está encolhido; e quando estes têm a haste na posição avançada, o porta-ferramenta está esticado.

Com a rotação das torres de giro (mediante um sistema de cilindros) se controla a direção de avanço ou retrocesso do GIRINO. Cada uma das torres de giro contém uma roda que serve como ponto de apoio. Ao girar as torres, as rodas também giram aproximadamente 180°,

permitindo a mudança da disposição dos pontos de apoio, isto é, a configuração de avanço ou retrocesso da estrutura.

Os sinais hidráulicos que originam todo movimento do sistema robótico chegam ao sistema através de um umbilical. O umbilical conectado ao extremo do GIRINO é um ponto crítico do projeto, uma vez que, quando o corpo do sistema está avançando e puxando o umbilical, uma tensão se concentra justamente neste extremo. Um excesso de tensão no umbilical, além de estorvar o avanço do GIRINO, pode causar estragos na transmissão de sinais ao mesmo.

Além destes pontos atuantes localizados, deve-se considerar o deslocamento total do corpo do GIRINO dentro do duto como função fundamental e objetivo final do mecanismo na sua concepção de porta-ferramentas.

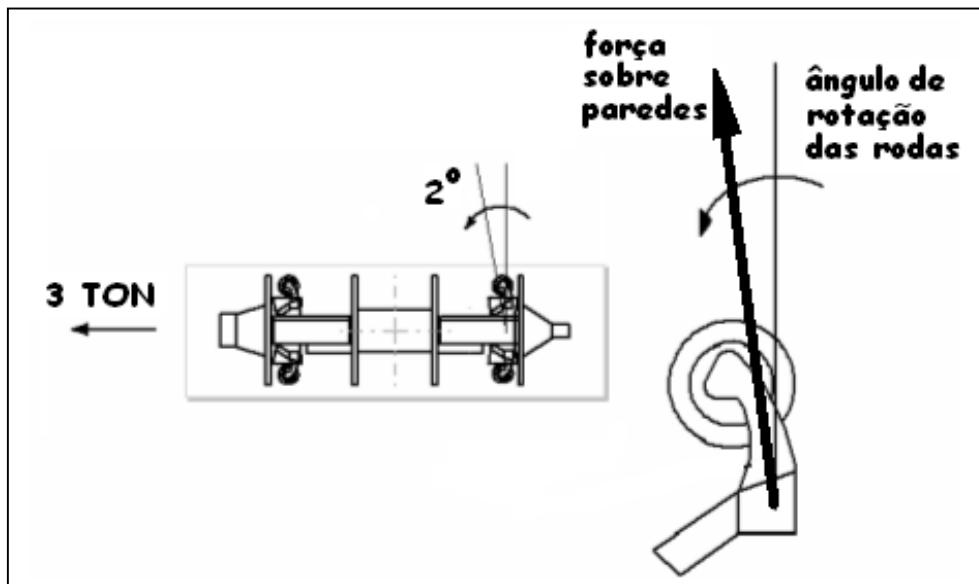


Figura 2. Ângulo Permissível para Carga

A força existente nos pontos de apoio deve ter um limite evitando-se assim ocasionar estragos no duto. Esta força está centrada nas rodas cujo deslocamento angular adapta o GIRINO ao diâmetro do duto ou qualquer deformação deste (Fig. 2). Um método indireto de obter a força que as rodas fazem sobre o duto é, conhecendo a tensão no umbilical, medir o deslocamento angular das rodas. Deste modo se consegue a componente da tensão nas paredes através das rodas. Fez-se um estudo no CENPES da força máxima permissível nas paredes de um oleoduto sem produzir danos e então foi calculado que o ângulo mínimo permissível com a vertical para uma carga de 30000N é de 2°. A conclusão deste estudo dá lugar à consideração de um equilíbrio na força nos pontos de apoio de modo que se atinja uma força mínima, necessária para propiciar ao deslocamento do GIRINO. Não obstante o estudo feito, o GIRINO tem um mecanismo limitador de ângulo que impede que este valor máximo de força nas paredes do duto seja alcançado. Já que esta função não apresenta complicações por estar limitada em seu deslocamento, diferentemente das quatro anteriores, ela foi considerada como complementar.

#### 4. SENSORIAMENTO DO GIRINO

No processo de seleção dos sensores que satisfazem as exigências mencionadas anteriormente, várias tecnologias foram testadas. Porém, na escolha definitiva, as características de tamanho mínimo, economia no consumo de energia e viabilidade de marinização, foram atendidas.

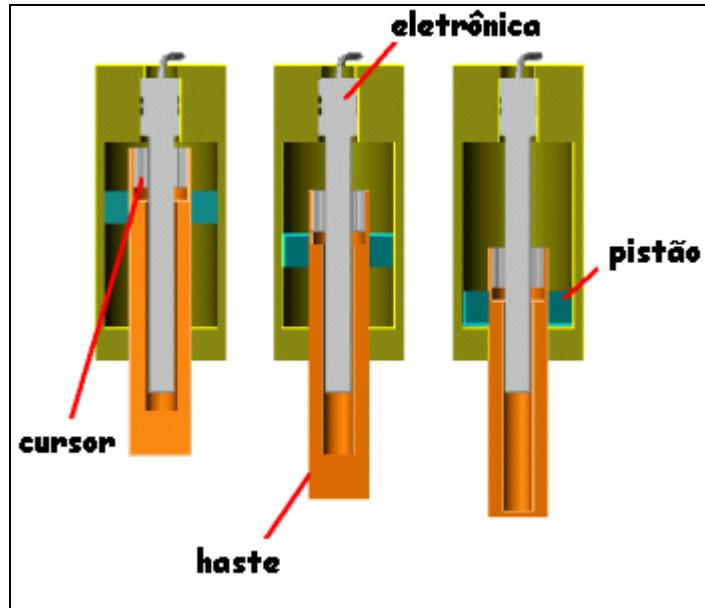


Figura 3. Esquema de Sensor de Deslocamento Linear

O controle de esticamento e encolhimento, utilizado para a movimentação do GIRINO, se atinge através da medição dos percursos das hastes dos cilindros principais responsáveis por este movimento. Esta medida se fará mediante o uso do transdutor de deslocamento linear (Werneck, 1996). É apresentada esquematicamente na Fig. 3 a disposição, dentro dos cilindros, sem se importar com as diversas tecnologias utilizadas para medir o deslocamento linear da haste.

A voltagem DC que alimenta uma pista condutora no interior da haste é a tensão de referência para um divisor de voltagem. O cursor se desloca junto ao pistão e coleta uma tensão variável em função do seu deslocamento, utilizando o mesmo princípio de um potenciômetro. A pista, ademais de não ocupar muito espaço e consumir um mínimo de energia, é feita de material plástico condutivo, muito usado em cilindros hidráulicos de altas pressões internas ( $20.68 \times 10^6$  Pa). Estas características apresentam claras vantagens sobre outras tecnologias.

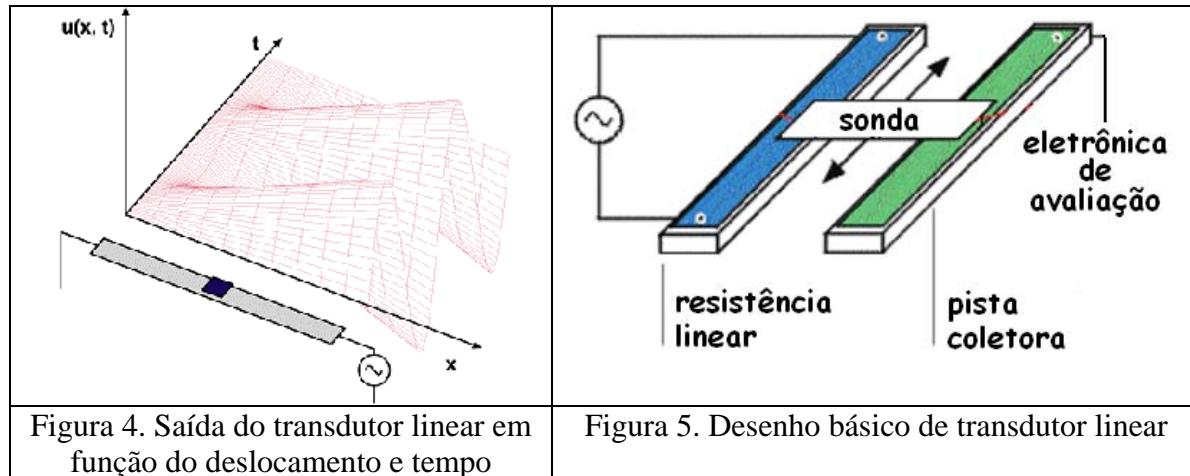
Um outro transdutor de deslocamento linear com plástico condutivo contém um elemento resistor convencional o qual é alimentado com uma tensão alternada  $U(t)$ . Uma sonda móvel colhe capacitivamente uma corrente de deslocamento ( $I$ ). Esta corrente é calculada como:

$$I = C \cdot \frac{dU(x,t)}{dt}$$

Onde C é uma constante, x é o deslocamento, t o tempo e U(x, t) é a tensão coletada pelo cursor que varia segundo o deslocamento e o tempo (Fig. 4). Além disso, o divisor de voltagem linear é calculado como:

$$U(x, t) = x \cdot U(t) \quad \text{portanto} \quad I = x \cdot C \cdot \frac{dU(t)}{dt}$$

Assim a corrente de deslocamento I é uma função linear da posição x. A corrente de deslocamento, dependente da posição, é transferida a uma eletrônica de avaliação via um trilho coletor paralelo a um trilho resistivo (Fig. 5).



No sensor de posição linear de magneto-restricção (Fig. 6), um pulso é induzido em uma guia de onda especialmente desenhada. Um campo é gerado por um magneto móvel que passa ao longo da parte externa do tubo do sensor e um outro, através de uma guia de onda, é gerado por um pulso de corrente. A interação entre os dois campos magnéticos produz, um pulso de tensão, o qual viaja a velocidade do som até que o pulso é detectado pela cabeça do sensor. A posição do magneto é determinada com alta precisão pela medida do lapso de tempo entre a geração do pulso elétrico e a chegada do pulso de tensão. Como resultado, é possível alcançar um sensoriamento da posição exata sem atrito entre o elemento sensor e o tubo.

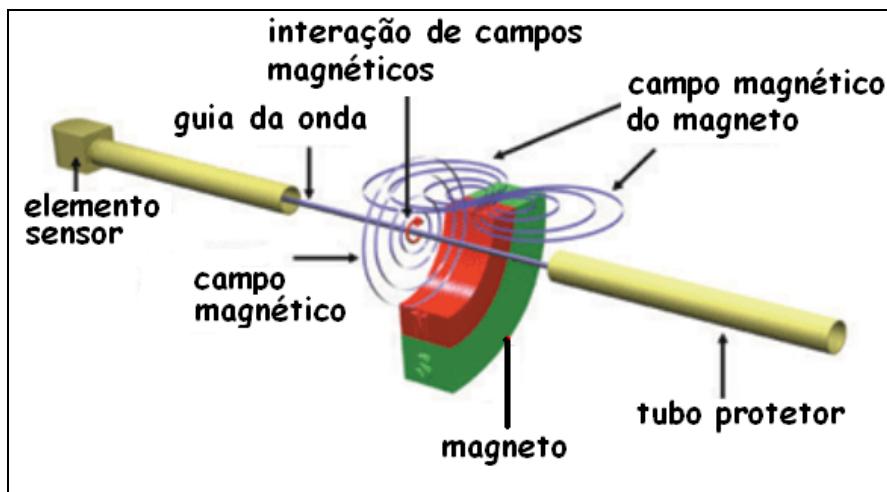


Figura 6. Sensor de posição linear de magneto-restricção (Tempsonics)

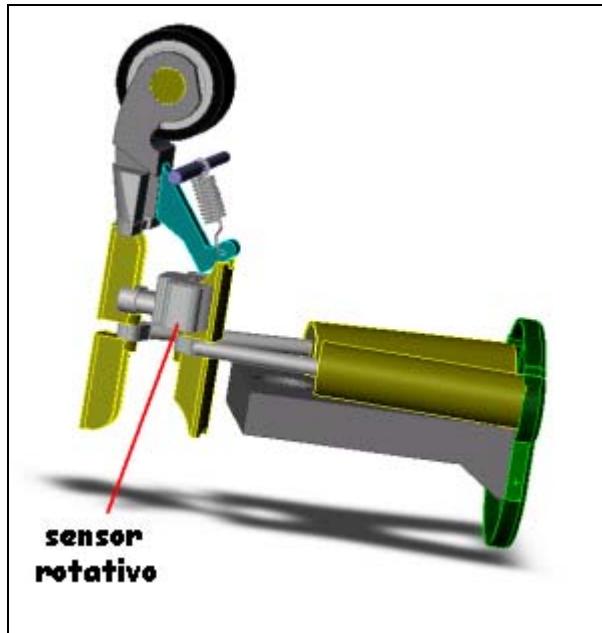


Figura 7. Sensor de Deslocamento Angular (Vishay)

Por causa das vantagens referidas do uso de plástico condutivo, não é necessário explicar a predileção do uso deste método em forma de potenciômetro permitindo a medição da rotação das torres de giro. A diferença deste dispositivo do potenciômetro industrial é a sua adaptabilidade para funcionar imerso em água. Para este propósito usa-se um invólucro totalmente selado.

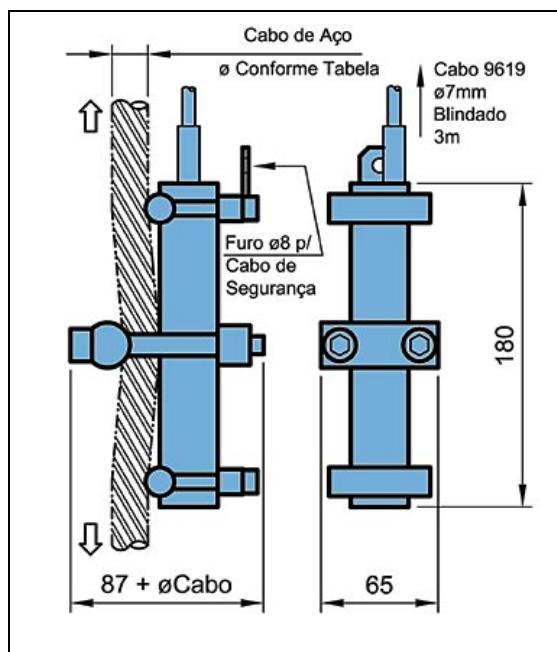


Figura 8. Célula de Carga Industrial (Alfa Instrumentos)

A tensão no umbilical foi controlada através de uma célula limitadora de carga industrial usada para medir tensões em cabos de aço. Como pode ser observada na Fig. 8, a célula produz um pequeno desvio no cabo. Conforme a tensão no cabo aumenta, este tende a recuperar sua linearidade. Neste processo, a célula muda sua forma original devido as forças em seus extremos. Esta deformação é refletida nos extensômetros internos a célula obtendo, consequentemente, um sinal de saída elétrico do transdutor. Acompanha-se o deslocamento do GIRINO dentro do duto fazendo uso de um odômetro com sensores de efeito hall acoplado ao seu corpo (Fig. 9). Esta tecnologia já tem sido muito utilizada com outros sistemas de inspeção interna, como por exemplo no *pig*.

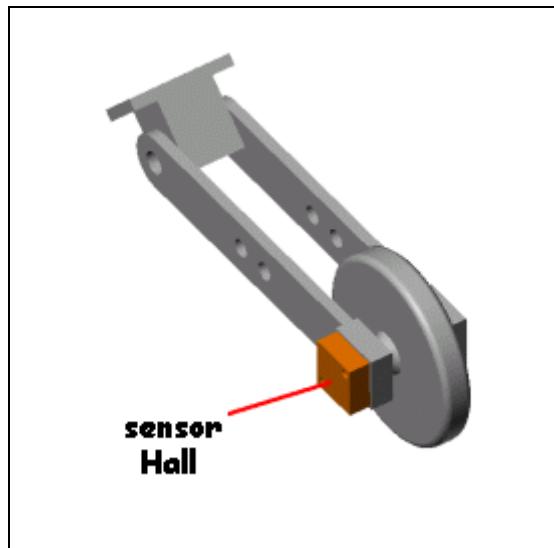


Figura 9. Odômetro

Um magneto inserido no eixo da roda do odômetro gera um campo magnético rotativo. Dois sensores hall defasados 90 graus captam a variação de campo magnético e geram pulsos elétricos. A quantidade de pulsos elétricos gerados é proporcional ao número de voltas do odômetro e a defasagem dos pulsos dos dois sensores hall permite deduzir o deslocamento de avanço ou retrocesso do GIRINO.

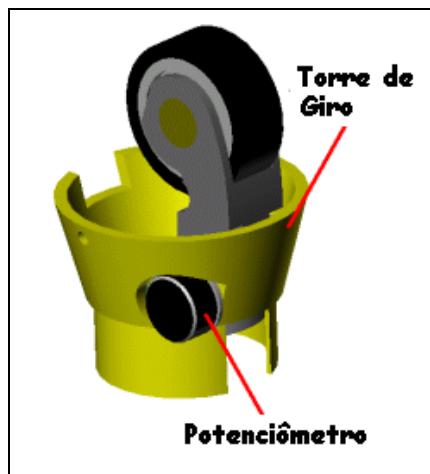


Figura 10. Sensores de Deslocamento Angular (Novotechnik)

Para monitorar o deslocamento angular das rodas (pontos de apoio) foi utilizado um potenciômetro industrial com a mesma tecnologia de plástico condutivo descrito anteriormente. Basicamente este transdutor é um potenciômetro industrial selado como o usado nas torres de giro (Fig. 10).

## 5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentado o estudo e desenvolvimento do mecanismo robótico para inspeção no interior de dutos, GIRINO. Foram examinadas as distintas funções das partes do sistema obtendo o conhecimento necessário para poder discernir as variáveis imprescindíveis a ser monitoradas. As variações das distintas funções das partes ativas do GIRINO foram medidas por meio de sensores industriais dos quais se tem um amplo conhecimento teórico e prático. Estes sensores satisfizeram as diversas exigências estabelecidas pelo ambiente adverso de operação com o fim de aperfeiçoar o desempenho do GIRINO nas tarefas de inspeção e manutenção de dutos. A designação e posicionamento dos sensores dentro do corpo do GIRINO se propus como primeiro passo para a monitoração das suas atividades dentro de dutos. A experiência acumulada no processo de operação de sensores em ambientes agressivos será aproveitada para captação de sinais de futuras ferramentas de inspeção e manutenção (Módulos de Aplicação Especial) que ampliaram a funcionalidade do GIRINO.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CENPES/Petrobras pela prestação de estrutura e informação necessária para esta pesquisa.

## 7. REFERENCIAS

- Balcells, J., Romeral J. L., 1997, “Automatas Programables”, Ed. Marcombo, Barcelona, Espanha.
- Reis, N .R. S. dos, 2001, “GIRINO – Get Inside Robot to Impel and Restore Normal Operation”, in International Workshop on Underwater Robotics, Rio de Janeiro, Brazil.
- Sole, A. C., 1997, “Instrumentación Industrial”, Ed. Marcombo Boixareu, Barcelona, Espanha.
- Werneck, M. M., 1996, “Transdutores e Interfaces”, Ed. Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, Brasil.
- “Celula Limitadora de Carga Mod. TC. Application Note”, Alfa Instrumentos. Tech. Rep.
- “Industrial Rotary Position Sensor. Application Note”, Vishay. Tech. Rep.
- “Magnetostriction – Basic Physical Elements. Application Note”, Tempsonics. Tech. Rep.
- “PSP-the non-contacting potentiometer concept. Application Note”, Novotechnik. Tech. Rep.

## 8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

# SIGNAL MONITORATION OF THE INTERNAL DUCT INSPECTION ROBOT - GIRINO

## **Pedro Eduardo Gonzales Panta**

Federal University of Rio de Janeiro - COPPE/UFRJ – Mechanical Engineering Program  
Centro de Tecnologia, Bloco G/204 – 21945-970 – Cidade Universitária, RJ, Brasil.  
E-mail: robotica.ts@petrobras.com.br

## **Auderi Vicente Santos**

Petrobras Research Center– CENPES/PETROBRAS  
Quadra 7- 21949-900 - Cidade Universitária, RJ, Brasil.  
E-mail: auderivs@petrobras.com.br

## **Max Suell Dutra**

Federal University of Rio de Janeiro - COPPE/UFRJ – Mechanical Engineering Program  
Centro de Tecnologia, Bloco G/204 – 21945-970 – Cidade Universitária, RJ, Brasil.  
E-mail: max@serv.com.ufrj.br

## **Ney Robinson Salvi dos Reis**

Petrobras Research Center– CENPES/PETROBRAS  
Quadra 7- 21949-900 - Cidade Universitária, RJ, Brasil.  
E-mail: salvireis@cenpes.petrobras.com.br

***Abstract.** This article shows the advantages of the GIRINO robotic system for ducts inspection and maintenance. After a detailed explanation of the system, it will be recognized the relevance of its several parts operation in relation to the system global performance. To choose the sensors, which measure the physic variables related to every mechanism part, will be done a research of the different technologies with emphasize in favorable features for aggressive environments where the GIRINO works.*

**Key-words:** Robot, G.I.R.I.N.O., Internal ducts inspection, Sensors.