

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

LUIZ SANTOS RESENDE

**MELHORIA DO DESEMPENHO OPERACIONAL DE VÁLVULAS DE  
CONTROLE ATRAVÉS DE POSICIONADORES HART**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA  
2015

LUIZ SANTOS RESENDE

**MELHORIA DO DESEMPENHO OPERACIONAL DE VÁLVULAS DE  
CONTROLE ATRAVÉS DE POSICIONADORES HART**

Monografia de Especialização, apresentado ao Curso de Especialização em Automação Industrial, do Departamento Acadêmico de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Me. Anderson Levati Amoroso

CURITIBA  
2015

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à professora Simone Massulini Acosta por toda sua dedicação e grande disponibilidade por esclarecer todas as minhas dúvidas e compartilhar uma parte de seu conhecimento. Ao professor Anderson Levati Amoroso pelo apoio e ajuda. Aos professores que fizeram parte de toda esta minha jornada. À minha esposa Gilvane Kollross pela paciência, pela imensa contribuição e apoio psicológico. Aos meus amigos de trabalho Maurílio do Valle e Roderlei Gaboardi que são eternos guerreiros nesta nossa vida operária e ajudaram em muito com sua experiência e conhecimento e a Empresa Peróxidos do Brasil por proporcionar ferramentas e equipamentos para realização deste trabalho.

Confira  
tudo que  
respira  
conspira

Paulo Leminski

## RESUMO

RESENDE, Luiz Santos. **Melhoria do desempenho operacional de válvulas de controle através de posicionadores HART.** 2015. 61f. Monografia (Curso de Especialização em Automação Industrial), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

A produção de hidrogênio de alta pureza é uma das etapas do processo produtivo do peróxido de hidrogênio, sendo realizada na unidade PSA (*Pressure Swing Adsorption*, Sistema de Adsorção por Diferença de Pressão). As válvulas de controle são as maiores responsáveis pelo tempo total de parada da unidade PSA devido a falhas em seus sistemas mecânico, pneumático e eletrônico. Visando diminuir o elevado índice de paradas da unidade PSA devido a problemas nas válvulas de controle, os posicionadores eletropneumáticos destas válvulas foram substituídos por posicionadores inteligentes com protocolo de comunicação HART e foi instalado um sistema de aquisição de dados para a execução de diagnósticos operacionais e para o monitoramento do funcionamento destas válvulas. O sistema de aquisição de dados apresenta elevado acerto no diagnóstico das falhas nas válvulas de controle. Devido a redução no número de intervenções com a retirada das válvulas de controle para a oficina, obteve-se melhor desempenho operacional da unidade PSA.

**Palavras-chave:** Peróxido de hidrogênio. Válvulas de controle. Posicionadores. Aquisição de dados.

## ABSTRACT

RESENDE, Luiz Santos. **Operating performance improved control valve positioners using HART**. 2015. 61f. Monografia (Curso de Especialização em Automação Industrial), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

The high purity hydrogen production is one of the stages of the production of hydrogen peroxide process, being held in the PSA unit (Pressure Swing Adsorption, Adsorption System for Pressure Difference). Control valves are the most responsible for the total time of the PSA unit stopped due to flaws in their mechanical, pneumatic and electronic systems. To decrease the high rate PSA unit stops due to problems in the control valves, electro-pneumatic positioners these valves were replaced by smart positioners with HART communication protocol and installed a data acquisition system for the implementation of operational diagnostics and monitoring the operation of these valves. The system of data acquisition features high accuracy in the diagnosis of faults in the control valves. Due to reduction in the number of interventions with the removal of the control valves for the workshop, we obtained improved operating performance of the PSA unit.

**Keywords:** Peroxide production. Control Valves. Positioner. Data acquisition.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama esquemático das etapas do processo produtivo do peróxido de hidrogênio.....	13
Figura 2 - Hidrogenação da etilantraquinona. ....	13
Figura 3 - Tela do sistema de supervisão da etapa de Reforma a Vapor, .....	14
Figura 4 - Tela do sistema de supervisão da etapa de Geração de Vapor e Resfriamento. ....	18
Figura 5 - Tela do sistema de supervisão da unidade PSA-KTI.....	19
Figura 6 - Forças de adsorção versus material adsorvente. ....	20
Figura 7 - Ciclo típico da unidade PSA.....	22
Figura 8 - Sinal HART sobreposto ao sinal de 4 a 20 mA. ....	24
Figura 9 - Comunicação HART com dois mestres (primário e secundário) e um escravo.....	25
Figura 10 - Tela do programa PACTware.....	26
Figura 11 - Válvula globo.....	29
Figura 12 - Operação da válvula borboleta. ....	30
Figura 13 - Válvula borboleta com atuador pneumático. ....	31
Figura 14 - Componentes da válvula borboleta.....	32
Figura 15 - Posicionador ND9000 e interface de usuário local.....	33
Figura 16 - Posicionador SIPART no atuador de dupla ação da válvula borboleta. ...	37
Figura 17 - Posicionador ND9000 no atuador de dupla ação da válvula borboleta. ...	37
Figura 18 - Posicionador em processo de auto calibração.....	38
Figura 19 - Sistema de aquisição de dados. ....	39
Figura 20 - Barreira de segurança intrínseca de saída analógica. ....	40
Figura 21 - Multiplexador mestre HART. ....	41
Figura 22 - Módulo FI. ....	41
Figura 23 - Comunicação RS232. ....	42
Figura 24 - Conversor RS232 para RS485.....	43
Figura 25 - Carregamento dos DTM's dos posicionadores ND9000 .....	44
Figura 26 - Posicionador ND9000 no modo <i>online</i> no programa PACTware. ....	45
Figura 27 - Principais parâmetros do posicionador ND9000. ....	46
Figura 28 - Configuração do protocolo HART no posicionador ND9000. ....	46
Figura 29 - Ferramenta diamante da válvula no programa PACTware. ....	48
Figura 30 - Variáveis dinâmicas do posicionador no programa PACTware. ....	49
Figura 31 - Diagnósticos realizados. ....	50
Figura 32 - Guia com embuchamento de bronze instalado no prato do atuador.....	51
Figura 33 - Molas do atuador da válvula globo.....	52
Figura 34 - Diafragma do atuador da válvula globo.....	52
Figura 35 - Redução da pressão de alimentação do posicionador.....	53
Figura 36 - Prato das molas do atuador. ....	53
Figura 37 - Conjunto regulador e filtro.....	54

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>8</b>
1.1	TEMA	8
1.2	DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	9
1.3	PROBLEMA	9
1.4	OBJETIVOS	10
1.4.1	Objetivo Geral	10
1.4.2	Objetivos Específicos	10
1.5	JUSTIFICATIVA	10
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	11
<b>2</b>	<b>PRODUÇÃO DE PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO E PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO</b>	<b>12</b>
2.1	PRODUÇÃO DE PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO	12
2.2	PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO	14
2.2.1	Reforma a Vapor	15
2.2.2	Geração de Vapor e Resfriamento do Gás para a Unidade PSA	16
2.2.3	Unidade PSA	17
2.2.3.1	Constituição dos leitos da unidade PSA	19
2.2.3.2	Ciclo típico da unidade PSA	21
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>23</b>
3.1	PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO HART	23
3.2	AQUISIÇÃO DE DADOS	25
3.3	VÁLVULAS DE CONTROLE	27
3.3.1	Válvula Globo	28
3.3.2	Válvula Borboleta	29
3.4	POSICIONADORES	32
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO</b>	<b>34</b>
4.1	PRINCIPAIS FALHAS DAS VÁLVULAS DE CONTROLE	34
4.2	TROCA DOS POSICIONADORES	36
4.3	SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS	38
4.3.1	Barreiras de Segurança Intrínseca e Multiplexador Mestre	38
4.3.2	Comunicação RS232 e RS485	41
4.3.3	Funcionamento do Sistema de Aquisição de Dados	43
<b>5</b>	<b>ANÁLISE DOS TESTES E RESULTADOS</b>	<b>47</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>57</b>
	REFERÊNCIAS	59



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 TEMA

Comercialmente conhecida como “água oxigenada”, o peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), nas condições normais de temperatura e pressão, é um líquido incolor, levemente ácido e miscível em água em todas as proporções. Este material foi descoberto por *Thenard* em 1818, porém começou a ser comercializado apenas na metade do século dezenove. A escala de uso deste produto, bem como o seu consumo, cresceu a partir de 1925 quando o processo de produção eletrolítico foi introduzido nos Estados Unidos da América e os processos de branqueamento se desenvolveram (FERRO, 2006).

O peróxido de hidrogênio é largamente utilizado como agente oxidante no branqueamento da polpa da celulose, sendo um substituto dos produtos à base de cloro por ser menos agressivo ao meio ambiente. Pode ser utilizado como produto base para outros compostos e, também, para o branqueamento de tecidos de algodão e de fibras animais, vegetais e até sintéticas.

Existem utilizações do peróxido de hidrogênio em estações de tratamento de efluentes, metalurgias, assepsia de equipamentos hospitalares e máquinas de indústrias alimentícias e farmacêuticas e, até mesmo, em propulsores de projéteis.

Atualmente, o peróxido de hidrogênio é produzido em grande parte das indústrias por um processo de auto oxidação de antraquinonas, e é utilizado para produzir outros compostos peroxidados e como um agente oxidante não poluente (FERRO, 2006).

Na fase de hidrogenação da fabricação do peróxido de hidrogênio é necessário a utilização de hidrogênio. Este gás é produzido em uma unidade de reforma por vapor de gás natural que superaquece o gás natural e, em seguida, purifica o gás resultante em uma unidade denominada PSA (*Pressure Swing Adsorption*, Sistema de Adsorção por Diferença de Pressão) produzindo um hidrogênio com 99,99% de pureza. Para proporcionar melhores condições operacionais para a unidade PSA é necessário desenvolver um sistema que execute

diagnósticos operacionais e monitoramento do funcionamento das válvulas de controle desta unidade.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

O trabalho não se aprofunda em toda a operação e todas as particularidades da produção de peróxido de hidrogênio e produção de hidrogênio, mas somente na unidade PSA.

Para a melhoria e aperfeiçoamento de diagnósticos operacionais das válvulas de controle da unidade PSA utilizou-se um programa específico, o PACTware, em conjunto com posicionadores com protocolo HART.

## 1.3 PROBLEMA

Para a correta operação da unidade PSA é necessário que as válvulas de controle executem uma alta ciclagem de abertura e fechamento, o que ocasiona diversos problemas, tais como, desgaste de diafragmas, molas e reparos, atrito excessivo nas partes mecânicas das válvulas, elevado consumo de peças sobressalentes do almoxarifado, possibilidade de descalibração dos posicionadores e as malhas de controle começam a apresentar atuações anormais e instabilidade no processo. Estes problemas reduzem a produtividade da unidade.

Quando ocorrem paradas indevidas na unidade PSA em decorrência de problemas operacionais das válvulas de controle a produção de peróxido de hidrogênio é diretamente afetada. Os posicionadores eletropneumáticos utilizados atualmente nas válvulas de controle tornaram-se obsoletos, dificultando a obtenção de peças sobressalentes e a assistência técnica por parte do fabricante destes.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo Geral

Melhorar o desempenho operacional das válvulas de controle da unidade PSA utilizando posicionadores de válvulas com o protocolo de comunicação HART.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Descrever o processo operacional de produção de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), de produção de hidrogênio e de purificação de hidrogênio na unidade PSA (*Pressure Swing Adsorption*, Sistema de Adsorção por Diferença de Pressão);
- Identificar as principais falhas e as prováveis causas de problemas relacionadas as válvulas de controle na unidade PSA;
- Substituir os posicionadores eletropneumáticos das válvulas de controle por posicionadores inteligentes com protocolo de comunicação HART;
- Instalar um sistema utilizando o protocolo de comunicação HART para a aquisição de dados de calibração e diagnósticos das válvulas de controle;
- Gerar diagnósticos dos testes realizados nas válvulas de controle;
- Analisar os testes realizados nas válvulas de controle.

## 1.5 JUSTIFICATIVA

Devido à importância da unidade PSA no processo de purificação de hidrogênio e, por consequência, na produção de peróxido de hidrogênio é necessário a perfeita operação das válvulas de controle que atuam na unidade PSA, proporcionando alta disponibilidade operacional desta unidade.

Atualmente, as válvulas de controle são responsáveis por elevados tempos de paradas causados por falhas em seus sistemas mecânico, pneumático e

eletrônico, devido à alta utilização destas. As válvulas de controle são as maiores responsáveis pelo tempo total de parada da unidade PSA.

Este trabalho objetiva diminuir o elevado índice de paradas na unidade PSA devido a problemas nas válvulas de controle, através da substituição dos atuais posicionadores eletropneumáticos destas válvulas por posicionadores inteligentes com protocolo de comunicação HART e da instalação de um sistema para execução de diagnósticos operacionais e monitoramento do funcionamento destas válvulas.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho possui a seguinte estrutura:

**Capítulo 1 – Introdução:** é apresentado o tema, a delimitação do estudo, o problema, os objetivos, a justificativa e a estrutura geral do trabalho.

**Capítulo 2 – Produção de Peróxido de Hidrogênio e Produção de Hidrogênio:** é abordado o processo operacional de produção de peróxido de hidrogênio, de produção de hidrogênio e de purificação de hidrogênio na unidade PSA.

**Capítulo 3 – Fundamentação Teórica:** são descritos o protocolo de comunicação HART; o *hardware* e *software* utilizado para a aquisição de dados; o funcionamento, características técnicas e tipos de válvulas de controle e de posicionadores.

**Capítulo 4 – Desenvolvimento do Trabalho:** são apresentadas as principais falhas e as causas de problemas relacionadas as válvulas de controle na unidade PSA, os principais aspectos relacionados a substituição dos posicionadores eletropneumáticos das válvulas de controle por posicionadores com protocolo de comunicação HART e a instalação do sistema para a aquisição de dados de calibração e diagnósticos das válvulas de controle.

**Capítulo 5 – Análise dos Testes e Resultados:** neste capítulo são descritos os relatórios de diagnósticos dos testes realizados nas válvulas de controle e analisados os testes realizados.

**Capítulo 6 – Considerações Finais:** são apresentadas as considerações finais levando em consideração os resultados finais, análise dos resultados obtidos e, além disso, são sugeridos trabalhos futuros que podem ser realizados a partir deste estudo.

## 2 PRODUÇÃO DE PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO E PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO

### 2.1 PRODUÇÃO DE PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO

O processo de auto-oxidação para produção de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) é baseado na hidrogenação catalítica de cetonas aromáticas, chamadas quinonas, gerando compostos fenólicos (quinóis) que possuem susceptibilidade à auto-oxidação. Nesta hidrogenação catalítica utiliza-se como catalisador o paládio (Pd) suportado, isto é, 2% de Pd impregnado sobre um suporte de sílico-aluminato de sódio sintético finamente dividido (AGOSTINETTO, 2006).

Os quinóis, em reação com o oxigênio atmosférico, geram peróxido de hidrogênio e recuperam as quinonas iniciais, que retornam ao processo após a extração do peróxido produzido com água desmineralizada (DMW, *Demineralized Water*).

A solução aquosa de peróxido de hidrogênio é submetida à lavagem com solventes para eliminação de compostos orgânicos residuais, sofre adição de agentes estabilizantes e é destilada, obtendo-se o produto em concentração comercial. Um diagrama esquemático das etapas do processo produtivo do peróxido de hidrogênio é apresentado na Figura 1 (AGOSTINETTO, 2006).

As reações são melhores conduzidas com a quinona dissolvida em meio líquido. Assim, torna-se necessário escolher um solvente que funcione como meio de transporte das quinonas, das quinóis e do peróxido, através dos estágios de hidrogenação, oxidação e extração, apresentados na Figura 1.

Para serem obtidas as propriedades necessárias para melhor eficiência no processo não é possível a utilização de um único solvente, sendo utilizada a mistura de dois ou mais solventes. A esta mistura dos diversos solventes, juntamente com a quinona, quinona hidrogenada e seus derivados, dá-se o nome de Solução de Trabalho (ST).

Neste trabalho, a etapa de interesse do processo produtivo do peróxido de hidrogênio é a hidrogenação, sendo que as demais etapas não serão apresentadas.

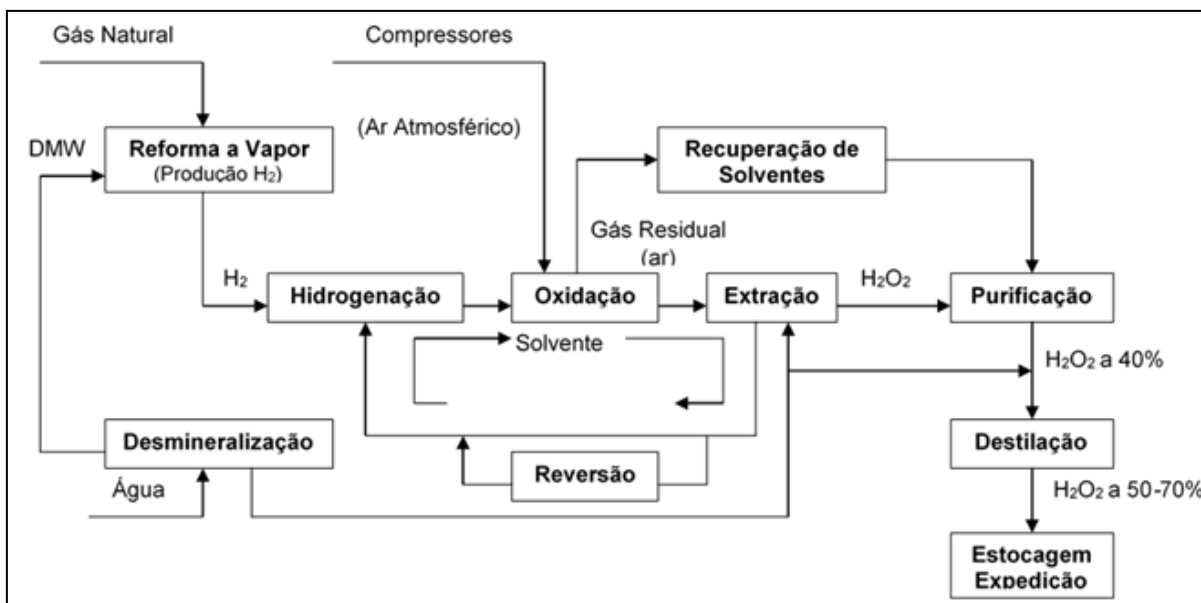


Figura 1 – Diagrama esquemático das etapas do processo produtivo do peróxido de hidrogênio.

Fonte: Autoria própria.

A hidrogenação é a etapa de redução da etil-antraquinona (EQ) para etil-antraquinol (EQH), conduzida cataliticamente, como apresentado na Figura 2. Esta reação é conduzida continuamente em um reator cilíndrico vertical no qual o catalisador Pd é mantido em suspensão dentro da Solução de Trabalho pelo borbulhamento contínuo de hidrogênio ( $H_2$ ) proveniente da unidade de Reforma a Vapor, conforme apresentado na Figura 1.

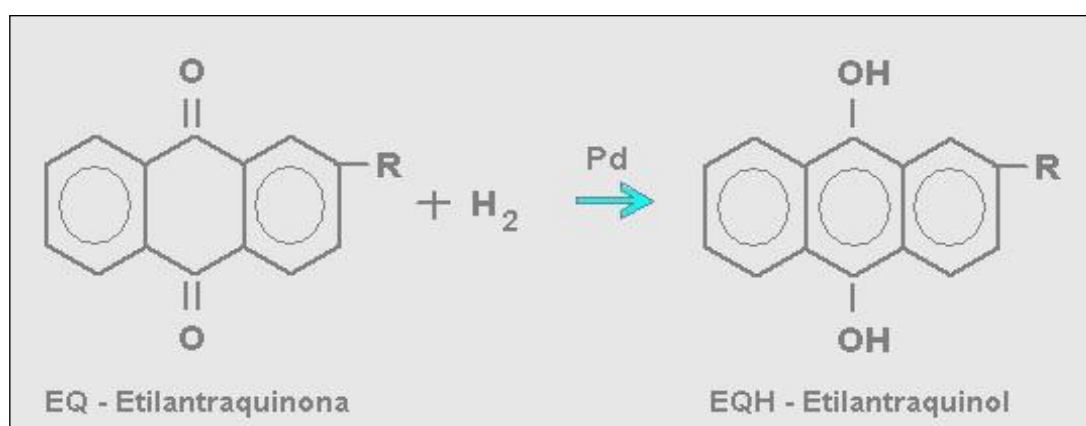


Figura 2 - Hidrogenação da etil-antraquinona.

Fonte: Autoria própria.

Esta hidrogenação é realizada pela base do reator através de distribuidores tubulares perfurados. Os gases que se acumulam no topo do reator, constituídos principalmente de  $H_2$  não reagidos e  $N_2$  desorvidos pela Solução de Trabalho, são



As impurezas, como monóxido de carbono, metano, dióxido de carbono, nitrogênio e vapor de água, são removidos pelo sistema de adsorção PSA, produzindo assim o hidrogênio ultrapuro. O combustível para os queimadores do reformador é uma combinação de gás residual da unidade PSA e de gás natural.

### 2.2.1 Reforma a Vapor

O gás natural é fornecido pela empresa concessionária (COMPAGÁS) e regulado entre 19 e 21 bar. Uma parcela deste gás natural possui a pressão regulada próximo de 2,76 bar servindo como combustível para os queimadores do reformador.

O gás natural (gás de alimentação) flui através do preaquecedor GV7052.2 (representado por (1) na Figura 3) onde é aquecido até aproximadamente 339°C antes de entrar nos hidrodessulfurizadores R-7014 e R-7015, apresentados na Figura 3. Os hidrodessulfurizadores convertem compostos orgânicos com enxofre, se presentes, em sulfeto de hidrogênio e retém este componente, garantindo que o teor máximo de enxofre no gás de alimentação do reformador seja inferior a 0,2 ppm, bem como cloro abaixo de 0,2 ppm e concentração de olefinas menor que 1% (NETO, 1996).

Uma quantidade de vapor de processo controlado dos hidrodessulfurizadores é misturada à carga de gás dessulfurizada e é pré-aquecida até 450°C no superaquecedor TC7042 (representado por (2) na Figura 3) antes de ser enviado ao topo do pré-reformador R-7020. Neste equipamento a carga de gás passa através de um leito de catalisador com alto teor de óxido de níquel produzindo uma mistura de hidrogênio (H<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>). Na saída do pré-reformador R-7020, uma quantidade de vapor é acrescida a mistura de gases, sendo esta nova mistura novamente pré-aquecida na serpentina do aquecedor R-7041 (representado por (3) na Figura 3).

A mistura de gases é, então, enviada para o topo do reformador FR-7030, apresentado na Figura 3, onde flui por um catalisador a base de óxido de níquel onde acontecem as reações (1) e (2) (NETO, 1996).





O produto destas reações é uma mistura de  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$  e excesso de  $H_2O$  proveniente do vapor aplicado, sendo sua composição definida pelo equilíbrio das reações (1) e (2) nas condições de pressão e temperatura presentes na saída do reformador. A reação de reforma (1) é endotérmica enquanto que a reação (2) é exotérmica, sendo o volume dos produtos da reação maior que o volume dos reagentes. Como o calor requerido pela reação (1) é maior que o calor liberado pela reação (2), o rendimento da reação aumenta com o aumento da temperatura e com a redução da pressão do reformador.

As condições de operação são determinadas, então, pela pressão requerida para produzir o hidrogênio e por limitações mecânicas relativas a máxima temperatura de operação permitida para os tubos do reformador que ficam na zona de radiação.

O reformador apresentado na Figura 3 é do tipo “*top fired*” (com nove queimadores de teto). Como a mistura de gases é introduzida pelo topo do reformador, isto proporciona uma troca de calor corrente entre os gases de combustão e o gás de processo dentro dos tubos de catalisador. O reformador utiliza gás de purga da PSA, gás combustível e ar atmosférico como gases de combustão insuflados nos maçaricos pelo ventilador VT7047, devidamente preaquecidos no TC7044 (representado por (4) na Figura 3). Quando os gases de combustão deixam a seção de radiação, estes são succionados e resfriados na zona de convecção pelo ventilador VT7048 e são utilizados nos diversos preaquecedores de entrada do reformador (NETO, 1996).

O gás produzido no reformador é retirado pela parte inferior dos tubos do catalisador e possui temperatura de, aproximadamente,  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  e pressão de 16,5 bar, sendo enviado para a caldeira de recuperação de calor GV-7051, apresentada na Figura 4.

### 2.2.2 Geração de Vapor e Resfriamento do Gás para a Unidade PSA

O efluente do reformador é resfriado até  $314\text{ }^{\circ}\text{C}$  na caldeira de recuperação de calor GV-7051, apresentada na Figura 4, através da geração de vapor de alta pressão (tubulão V-7050 na Figura 4). O gás de saída da reforma já resfriado é enviado para o conversor de monóxido de carbono (R-7060), pois o gás de saída do

reformador contém uma quantidade considerável de monóxido de carbono (CO). Devido a alta temperatura da reforma, o monóxido de carbono reage com o vapor de acordo com a reação (3).



Para aumentar a produção de hidrogênio, a reação é conduzida adiabaticamente em um leito catalítico no conversor R-7060, sendo utilizado um catalisador *shift* de alta temperatura a base de ferro contendo cobre como promotor e cromo como estabilizador.

O gás é resfriado até 38 °C seguindo a seguinte sequência, representada na Figura 4:

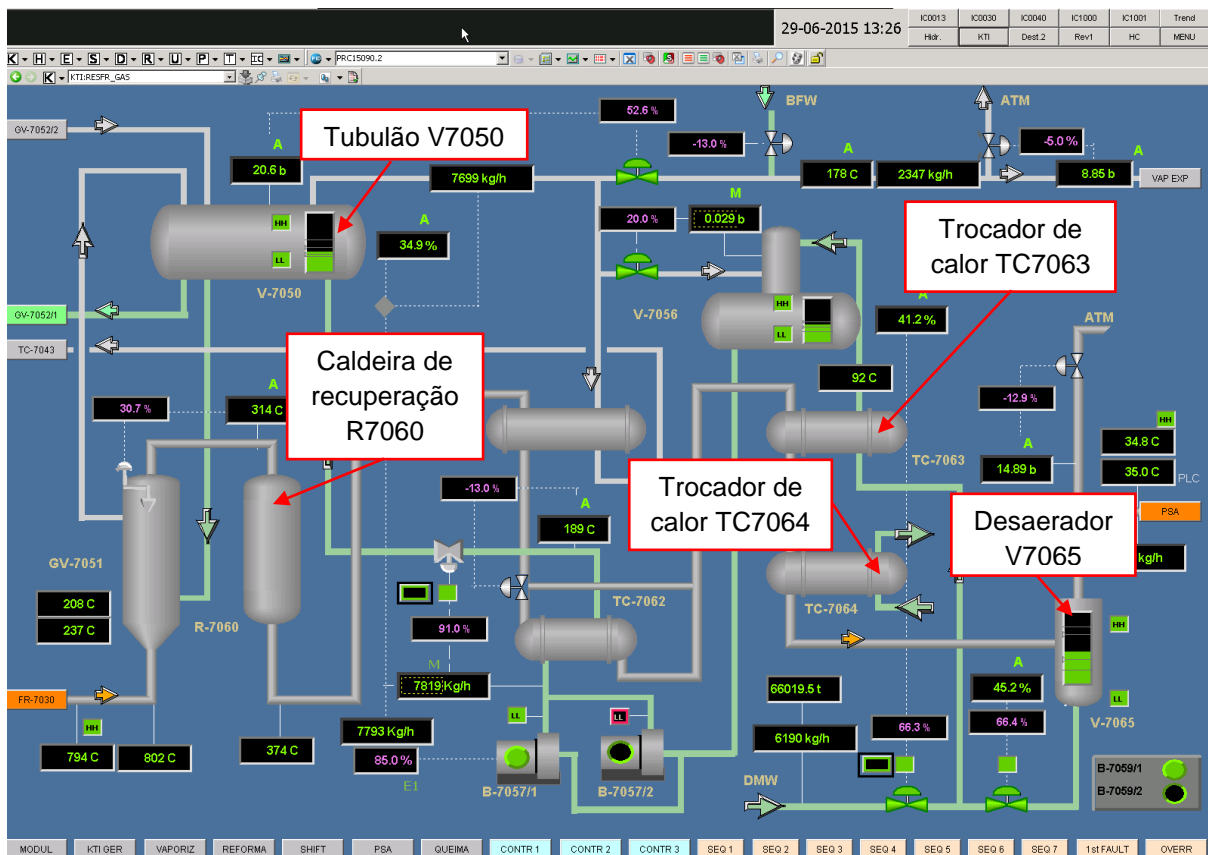
- Resfriamento do vapor de alta pressão de 800 °C até 374 °C na caldeira de recuperação R7060;
- Resfriamento da água para o tubulão V-7050 até 189 °C;
- Resfriamento do condensado de processo recuperado até 92 °C no trocador de calor TC-7063;
- Resfriamento adicional com água industrial no trocador de calor TC-7064.

O gás resfriado é enviado, então, para o separador de condensado V-7065, apresentado na Figura 4, onde o condensado formado nas etapas de resfriamento é separado e enviado ao desaerador V-7056 para ser revertido em vapor e usado no processo. Após o desaerador V-7056, o gás de processo é enviado para ser purificado na unidade PSA a uma temperatura de 35 °C.

### 2.2.3 Unidade PSA

A purificação do gás da reforma à vapor é realizada na unidade PSA (*Pressure Swing Adsorption*, Sistema de Adsorção por Diferença de Pressão) onde as impurezas, tais como, monóxido de carbono, metano, dióxido de carbono, nitrogênio e vapor de água são removidos através do processo de adsorção. A unidade PSA produz, assim, o hidrogênio de alta pureza.

No processo de adsorção o hidrogênio impuro é purificado enquanto flui através de um adsorvedor preenchido com adsorventes. Os adsorventes são materiais granulados que atraem e capturam (adsorvem) as impurezas do hidrogênio. O sistema de purificação do hidrogênio usa alumina, carvão ativado e peneira molecular para adsorver todas as impurezas presentes no gás rico em hidrogênio (CRUZ, 2010).

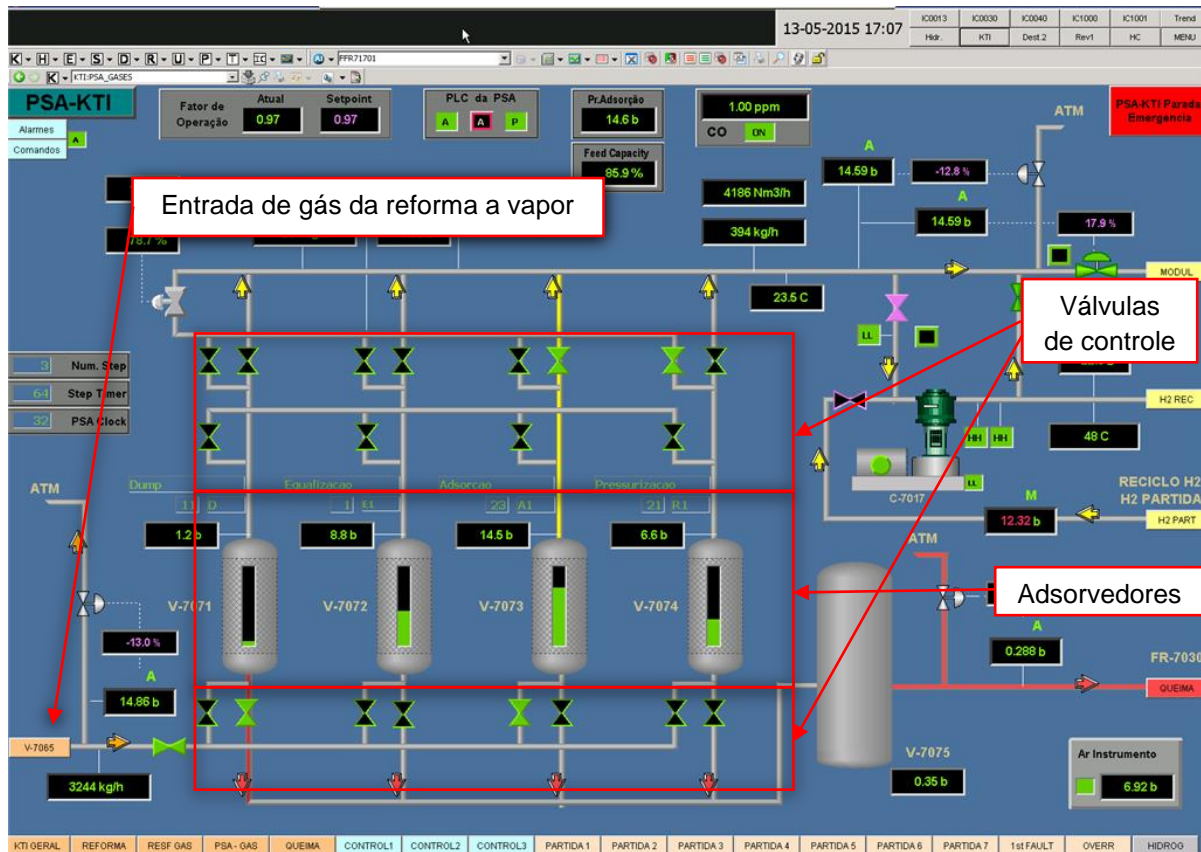


**Figura 4 - Tela do sistema de supervisão da etapa de Geração de Vapor e Resfriamento.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

A Figura 5 apresenta a tela do sistema de supervisão da unidade PSA-KTI. O sistema inclui quatro adsorvedores idênticos (V-7071, V-7072, V-7073 e V-7074), cada adsorvedor formado por três leitos em série, série, conforme apresentado na Figura 6. Após a purificação pelo processo de adsorção na unidade PSA, o hidrogênio de alta pureza está disponível para ser transportado, a uma pressão de 13,8 bar, para o processo de hidrogenação.

Conforme apresentado na Figura 5, a unidade PSA utiliza várias válvulas de controle, principalmente as válvulas globo e borboleta. Devido à alta ciclagem é muito importante que estas válvulas sejam especificadas corretamente e que possuam

ótimo desempenho para não ocasionarem paradas indevidas na unidade PSA, garantindo a plena operação desta unidade (NETO, 1996).



**Figura 5 - Tela do sistema de supervisão da unidade PSA-KTI.**  
Fonte: Autoria própria.

### 2.2.3.1 Constituição dos leitos da unidade PSA

O processo de adsorção para purificação de hidrogênio na unidade PSA utiliza as diferentes capacidades de adsorção dos adsorventes à diferentes pressões para separar os componentes de uma mistura gasosa. A capacidade de carga do adsorvente é definida como a quantidade de gás que pode ser retida em uma determinada quantidade de material adsorvente. A capacidade de carga do material geralmente aumenta com a pressão parcial do componente (CRUZ, 2010).

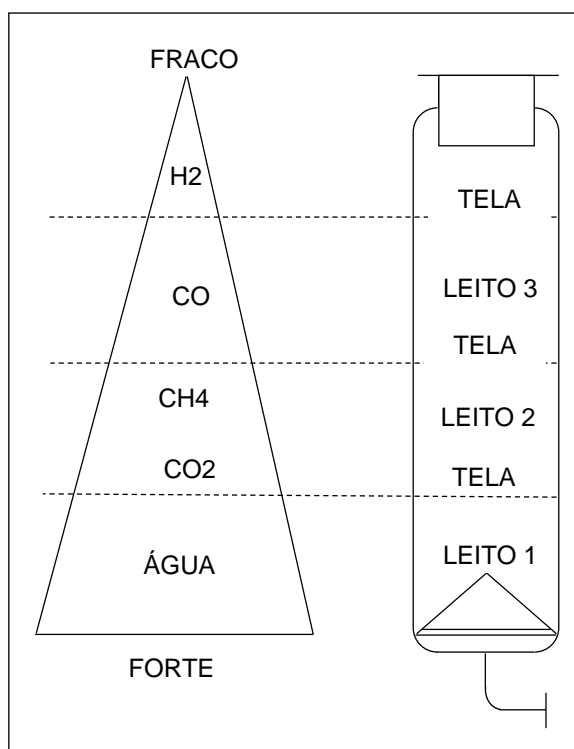
Quando uma mistura gasosa é alimentada em um leito adsorvente à alta pressão, a maioria dos componentes é atraída para a superfície do material por forças absorptivas e, então, retida pelo adsorvente. Os componentes do gás absorvidos se concentram na superfície do adsorvente enquanto os componentes

mais voláteis, com o hélio e hidrogênio, não são retidos fortemente e passam através do leito sem uma interação significativa.

Em um sistema de adsorção dinâmico, os componentes com forças de interação mais fortes passam pelo leito adsorvedor com velocidade mais baixa que os componentes com forças de interação fracas. Por este mecanismo, a concentração de impurezas em um gás rico em hidrogênio é reduzida quando da passagem através de um leito adsorvedor, o que resulta na separação desejada dos componentes da mistura (CRUZ, 2010).

Comercialmente, os materiais adsorventes estão disponíveis na forma granulada, de pérolas ou extrudada. Todos estes materiais possuem uma estrutura porosa, o que resulta em uma grande superfície de contato. Através destes poros, as moléculas se movem até a superfície interna do material onde são adsorvidas.

Cada material adsorvente possui uma capacidade específica de retenção para os diferentes compostos gasosos. Por isso, os leitos adsorvedores são projetados com até quatro camadas de diferentes materiais adsorvedores para separar o hidrogênio de uma mistura de vários gases. A Figura 6 apresenta uma sequência de forças de adsorção para vários componentes gasosos em um leito adsorvedor multicamadas com diferentes materiais adsorventes (CRUZ, 2010).



**Figura 6 - Forças de adsorção versus material adsorvente.**  
Fonte: LINDE, 1997.

### 2.2.3.2 Ciclo típico da unidade PSA

Durante a operação, um ou mais adsorvedores estão em linha à alta pressão separando as impurezas da carga, enquanto os demais estão sendo regenerados. Um dispositivo de controle deve assegurar o sequenciamento do processo e a troca de adsorvedores de modo a garantir a pureza desejada para o hidrogênio. Os adsorvedores que estiverem desalinhados devem ser regenerados adequadamente e pressurizados antes de novamente serem recolocados em operação (LINDE, 1997).

A separação das impurezas do gás bruto é feita na pressão de adsorção que é obtida pela pressão do gás de alimentação. O gás bruto passa pelo adsorvedor de baixo para cima e as impurezas, como água, CO, CO<sub>2</sub>, hidrocarbonetos e nitrogênio são seletivamente adsorvidas na superfície do material adsorvente. O hidrogênio purificado deixa o adsorvedor pelo topo e é alimentado para o tanque de produto.

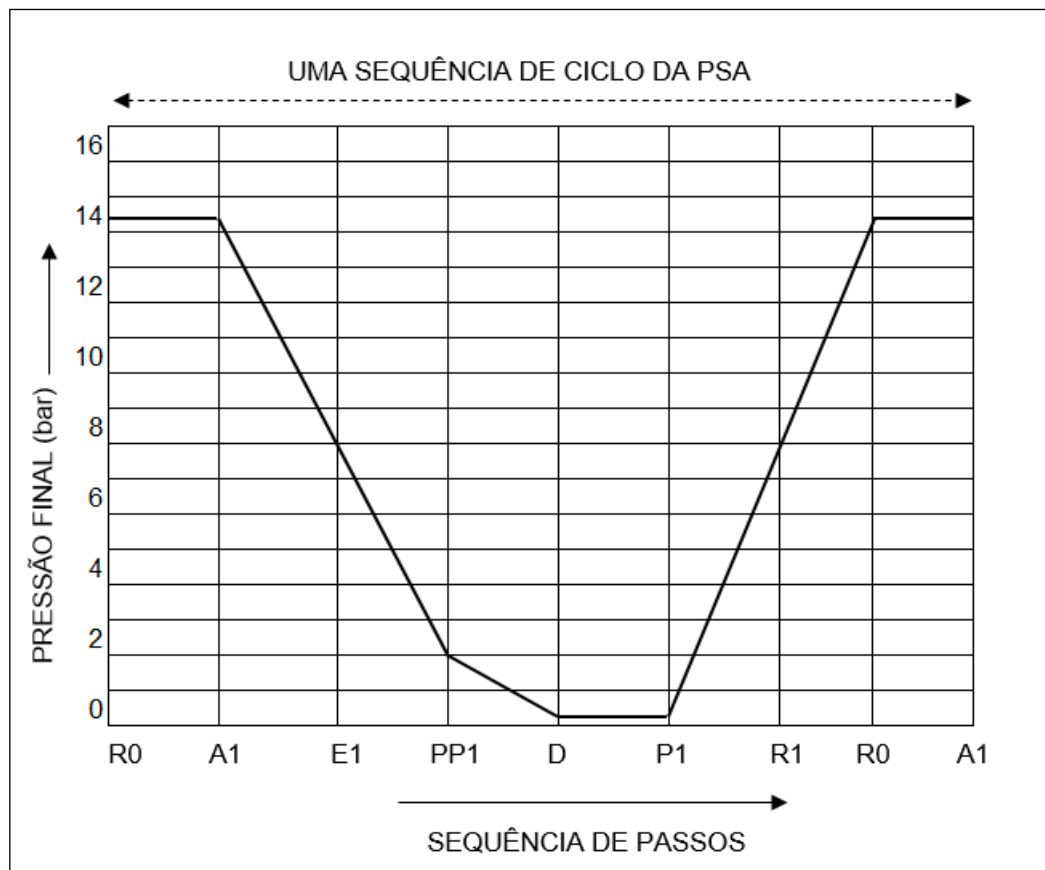
Para manter continuamente a produção de hidrogênio, um adsorvedor regenerado deve substituir o outro saturado antes que o produto seja contaminado com impurezas. O adsorvedor saturado deve ser então regenerado, o que é executado nas seguintes etapas consecutivas (LINDE, 1997):

- Expansão/Equalização: a pressão do adsorvedor é diminuída em uma ou mais sequências de expansão. A despressurização é executada a partir do topo do vaso na mesma direção do fluxo. O gás liberado é então utilizado para pressurizar os adsorvedores que já tenham sido purgados. A fase final desta sequência é uma equalização de pressão entre os adsorvedores.
- Purga sustentada: a despressurização do adsorvedor fornece o gás de purga necessário para as sequências de purga. A despressurização é executada pelo topo do vaso na mesma direção do fluxo e o gás liberado é alimentado a baixa pressão para o topo do adsorvedor e é usado para remover as impurezas do adsorvente para o sistema de gás residual.
- Descarga: a despressurização final até o nível de pressão do gás residual é executada em contra corrente ao sentido do fluxo. O gás é liberado do fundo do adsorvedor para o sistema de gás residual. Durante esta sequência o material adsorvente inicia a liberação das impurezas adsorvidas.
- Purga: a adsorção final é realizada com o ciclo de pressão mais baixo pela purga do leito adsorvedor em despressurização. O gás de purga passa

através do vaso do topo para o fundo e é descarregado para o sistema de gás residual. O residual de impurezas deve ser reduzido ao máximo possível para se alcançar uma alta eficiência.

- Repressurização: antes de iniciar um novo ciclo de adsorção, o adsorvedor necessita que a pressão seja elevada até a pressão de operação. Esta pressurização é feita pelo gás liberado durante as sequências de despressurização correspondentes. Por isso, a etapa final de uma sequência de repressurização é uma equalização de pressão com o adsorvedor que está sendo despressurizado.

A Figura 7 apresenta o perfil de pressão de um vaso adsorvedor, onde R0 representa equalização, A1 representa entrada de gás, E1 representa equalização, PP1 representa purga, D representa saída de gás residual, P1 representa purga e R1 representa equalização.



**Figura 7 - Ciclo típico da unidade PSA.**  
**Fonte: LINDE, 1997.**

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO HART

HART é a sigla em inglês para *Highway Addressable Remote Transducer* (Via de Dados Endereçável por Transdutor Remoto) (HARTCOMM, 2015).

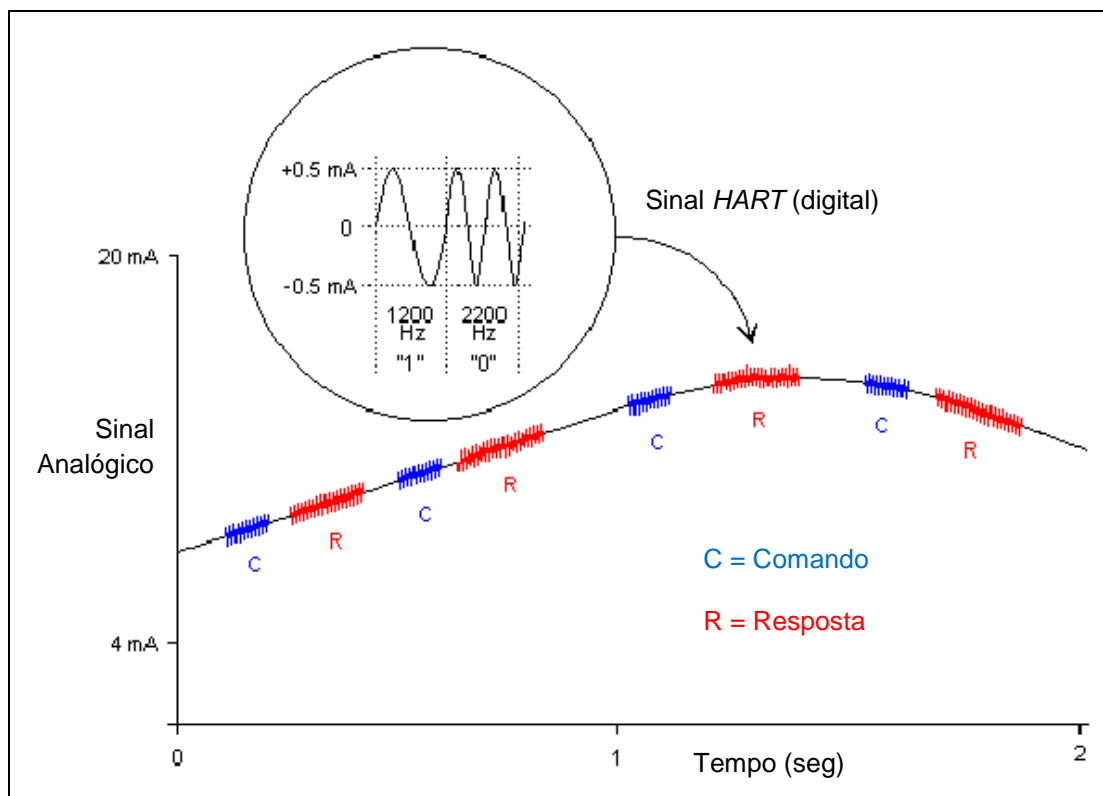
A grande vantagem oferecida por este protocolo é possibilitar o uso de instrumentos inteligentes com os mesmos cabos utilizados para as redes tradicionais de 4 a 20 mA. Como a velocidade é baixa, os cabos normalmente usados em instrumentação podem ser mantidos. Os dispositivos capazes de executarem esta comunicação bidirecional híbrida são denominados *smart* (FILHO, 2015).

O protocolo HART utiliza o padrão Bell 202 sendo o sinal *HART* modulado por chaveamento em frequência (FSK, *Frequency Shift Key*). Desta forma, os sinais de comunicação digital são sobrepostos ao sinal de transmissão analógico padrão de 4 a 20 mA. Para transmitir o nível lógico “1” (um) é utilizado um sinal de 1 mA de pico a pico na frequência de 1.200 Hz e para transmitir o nível lógico “0” (zero), a frequência de 2.200 Hz é utilizada (ALBUQUERQUE, 2009). A Figura 8 apresenta o sinal HART sobreposto ao sinal de 4 a 20 mA (FILHO, 2015).

Desta forma, o protocolo HART fornece dois canais de comunicação simultâneos: o sinal analógico de 4 a 20 mA e um sinal digital. O sinal de 4 a 20 mA transmite o valor da variável de processo (no caso de um instrumento de campo) utilizando uma malha de corrente de 4 a 20 mA. As informações adicionais do dispositivo são transmitidas por meio de um sinal digital que contém as informações do dispositivo, tais como *status*, diagnósticos, valores adicionais medidos ou calculados etc. (HARTCOMM, 2015).

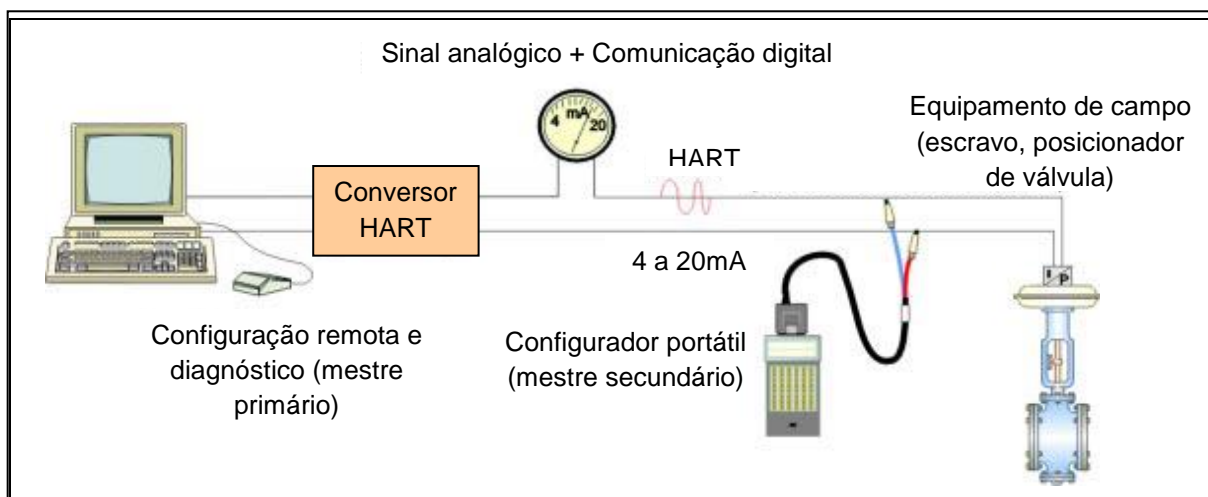
O protocolo HART comunica-se a 1.200 bps sem interromper o sinal de 4 a 20 mA e permite que o aplicativo *host* (mestre) obtenha duas ou mais atualizações digitais por segundo a partir de um dispositivo de campo inteligente. Uma vez que o sinal digital FSK é contínuo em fase, não existe interferência com o sinal de 4 a 20 mA (RODRIGUES, 2010).





**Figura 8 - Sinal HART sobreposto ao sinal de 4 a 20 mA.**  
**Fonte: Adaptado de FILHO, 2015.**

HART é um protocolo mestre/escravo, ou seja, o dispositivo de campo inteligente (escravo) somente se manifesta se solicitado pelo mestre. O modo básico de comunicação é o mecanismo mestre-escravo, sendo que podem ser usados, também, dois mestres (primário e secundário) para se comunicar com um instrumento escravo em uma rede HART. Os mestres secundários, tais como os terminais portáteis de configuração, podem ser conectados normalmente em qualquer ponto da rede e se comunicar com os instrumentos de campo sem provocar distúrbios na comunicação com o mestre primário. A Figura 9 mostra a aplicação típica do protocolo HART em uma rede ponto a ponto, onde um computador obtém informações de uma válvula de controle (SMAR, 2013).



**Figura 9 - Comunicação HART com dois mestres (primário e secundário) e um escravo.**  
 Fonte: Adaptado de SMAR, 2013.

O protocolo HART tem a capacidade de conectar até 15 (quinze) instrumentos de campo pelo mesmo par de fios em uma configuração *multidrop*. Neste tipo de aplicação, o sinal de corrente é fixo, ficando somente a comunicação digital limitada ao mestre-escravo. O valor da corrente de cada instrumento escravo é mantido no seu nível mínimo de 4 mA e o valor da variável de processo (PV) deve ser lido através de uma mensagem explícita (SMAR, 2013).

### 3.2 AQUISIÇÃO DE DADOS

O PACTware (*Process Automation Configuration Tool*, Ferramenta de Configuração para Automação de Processos) é um programa projetado para a seleção de instrumentos de campo inteligentes a partir de um catálogo de instrumentos de diferentes fabricantes e para configurar a árvore ou estrutura de comunicação para um determinado projeto de automação de uma planta (PACTWARE, 2015).

O PACTware é um aplicativo de gerenciamento de DTMs (*Device Type Manager*, Gerenciador de Tipo de Instrumentos) que é fornecido como um programa de configuração pelos fabricantes de instrumentos de campo (ICS, 2015).

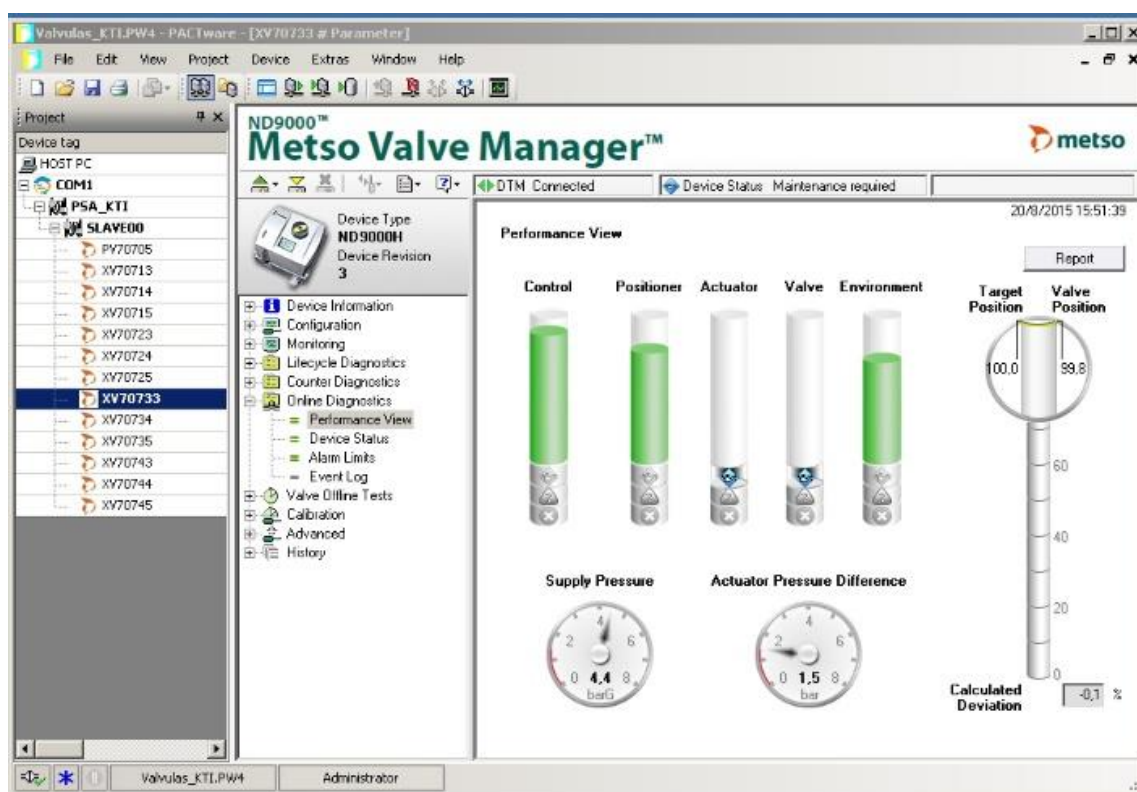
O DTM é o módulo de comando dos sensores e dos componentes propriamente ditos, contém todos os dados e funções específicas de um tipo de instrumento e fornece todos os elementos gráficos e diálogos para sua configuração. Os DTMs são desenvolvidos e distribuídos pelos fabricantes dos instrumentos e

permitem a configuração, parametrização, calibração ou teste dos instrumentos de campo bem como alterações dos parâmetros internos do instrumento (VEGA, 2015).

Por meio de um CommDTM (DTM de comunicação) a comunicação com instrumentos de campo é estabelecida usando protocolos como, por exemplo, o protocolo HART ou PROFIBUS. (PACTWARE, 2015).

O PACTware trabalha com DTMs implementados de acordo com a especificação FDT 1.2.1. O FDT (*Field Device Tool*, Ferramenta de Instrumento de Campo) é uma descrição padronizada de interface que descreve a interação entre o DTM e um aplicativo básico, como o programa PACTWare. O FDT regula a troca de dados entre os diversos DTMs e o programa (FDT, 2015).

A Figura 10 apresenta uma visão geral da tela do programa PACTware para uma válvula de controle da *Metso Automation*.



**Figura 10 - Tela do programa PACTware.**  
**Fonte: Autoria própria.**

### 3.3 VÁLVULAS DE CONTROLE

Válvulas são acessórios de tubulações utilizados em um processo industrial para bloquear, direcionar, limitar a pressão de entrada, controlar a pressão de um fluido na saída de algum equipamento ou permitir o escoamento do fluido num único sentido. As válvulas são dispositivos operados mecanicamente e utilizadas sob diversas condições operacionais (MATHIAS, 2008).

As válvulas possuem diversas características construtivas, podendo-se citar baixo custo, vedação estanque, pouca interferência com o escoamento do fluxo (baixa perda de carga), controle preciso do fluxo (alta perda de carga) etc. (MATHIAS, 2008).

Praticamente é impossível imaginar uma indústria de processo contínuo sem válvulas instaladas em sua planta, tanto que existem dezenas de diferentes projetos para serem utilizados em diferentes aplicações.

Muitas vezes o rendimento de uma bomba ou mesmo de todo o processo pode ser prejudicado pela escolha incorreta da válvula. A falta de conhecimento sobre o comportamento do fluxo dentro de uma válvula por aqueles que a dimensionam, especificam e selecionam leva a problemas no processo. Elevados custos com manutenção e instalação ou com materiais de construção poderiam ser reduzidos se as válvulas corretas forem instaladas (MATHIAS, 2008).

Neste trabalho são abordadas as válvulas de controle cuja função principal é controlar o fluxo do fluido e que podem trabalhar em qualquer posição, inclusive em fechamento e abertura parciais. Geralmente, o diâmetro de passagem do fluido é menor do que o diâmetro da tubulação.

Os principais tipos de válvulas podem ser agrupados em dois grupos: de deslocamento linear e de deslocamento rotativo (PETROBRAS, 2003).

As válvulas de deslocamento linear são as válvulas nas quais a peça móvel vedante descreve um movimento retilíneo, acionada por uma haste deslizante, como as válvulas globo e as válvulas diafragma. As válvulas de deslocamento rotativo são aquelas em que a peça móvel descreve um movimento de rotação acionada por um eixo girante, como a válvula borboleta e a válvula esfera.

As válvulas abordadas neste trabalho são a válvula globo e a válvula borboleta.

### 3.3.1 Válvula Globo

A válvula globo é uma válvula de deslocamento linear, corpo de duas vias, com formato globular, de passagem reta, internos de sede simples ou de sede dupla (PETROBRAS, 2003).

Esta válvula é utilizada para controle de vazão e abertura e fechamento em qualquer graduação desejada, com desgastes mínimos por erosão. Basicamente, as válvulas globo são utilizadas em serviços de regulação de água, óleos, vapor, gases e líquidos em geral.

Esta válvula possui um obturador que se ajusta a uma sede dentro de uma carcaça em forma de globo. O orifício da sede está geralmente em posição paralela ao sentido de escoamento do fluido, mas, em contrapartida, oferece elevada perda de carga em virtude da brusca mudança de direção imposta ao fluido (SILVA, 2008).

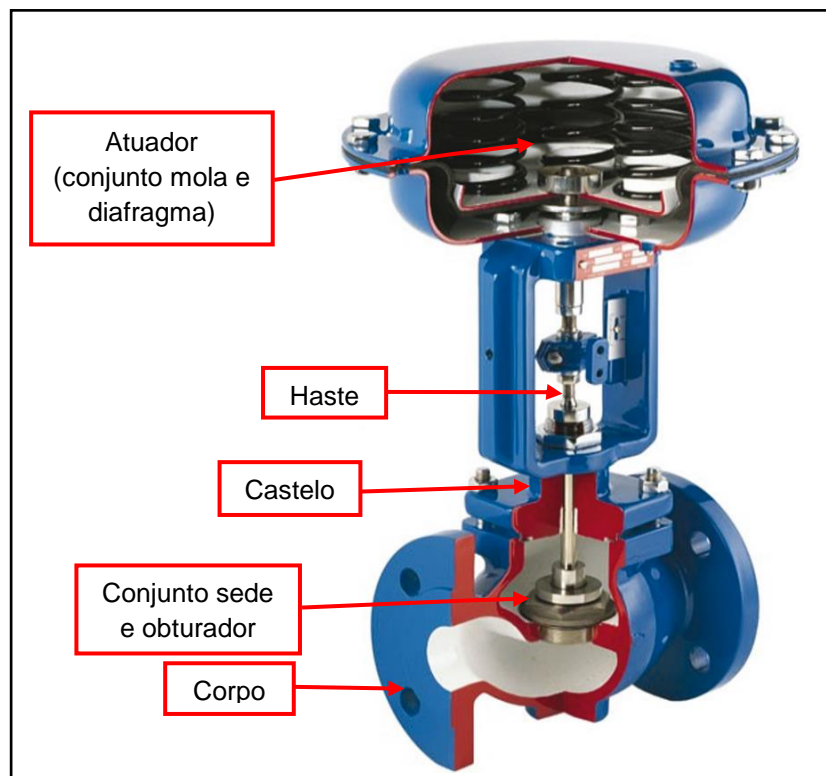
As sedes de vedação são na maioria dos casos metal contra metal e, por isso, muitas válvulas globo podem ser consideradas à prova de fogo, desde que o obturador e a sede sejam de metais de alto ponto de fusão (mais de 1.100 °C) (SILVA, 2008).

As principais vantagens do uso de válvulas globo são que estas podem ser usadas em amplas faixas de temperatura e pressão, controle de fluxo preciso, possuem alta estanqueidade, possuem abertura e fechamento rápidos e são de fácil manutenção. Dentre as principais desvantagens destacam-se a perda de carga elevada e que estas válvulas não admitem fluxo nos dois sentidos (SILVA, 2008).

A Figura 11 apresenta uma válvula de controle globo em corte, com suas principais partes construtivas (SILVA, 2008):

- **Corpo:** é o invólucro onde é instalada a sede de vedação e por onde ocorre a passagem do fluido. Nas suas extremidades estão localizados os dois pontos de conexão com a tubulação.
- **Sede:** superfície de vedação do corpo da válvula que recebe o obturador e que pode ser construída e ajustada de forma fixa ou ser no próprio corpo da válvula. A sede pode ser simples, dupla ou tripla.
- **Obturador:** para cada modelo de obturador, a perda de carga causada possui valores diferentes para o mesmo curso de abertura, modificando as características de vazão.

- Castelo: é a parte que serve de guia para a haste ou eixo do obturador e aloja o sistema de selagem. O castelo é, também, um meio para a montagem do atuador, além de evitar o escape do fluido para o meio ambiente.
- Haste: elemento que transmite movimento para o obturador.
- Atuador: é o dispositivo que, em resposta ao sinal enviado pelo controlador, produz uma força motriz necessária ao funcionamento da válvula de controle. Este deve proporcionar para a válvula meio operacional suave e estável, contra a ação variável das forças dinâmicas e estáticas originadas na válvula por ação do fluido de processo. Neste trabalho os atuadores utilizados são os pneumáticos dos tipo mola-diafragma, pistão linear de simples ação e pistão rotativo de dupla ação.



**Figura 11 - Válvula globo.**  
Fonte: MECATRÔNICA ATUAL, 2015.

### 3.3.2 Válvula Borboleta

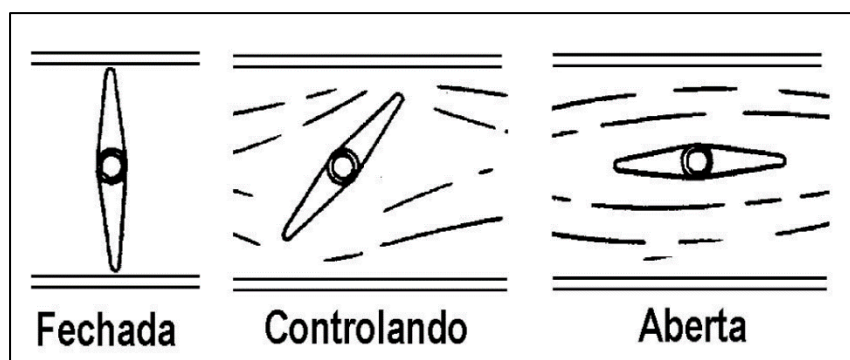
As válvulas borboleta são válvulas de deslocamento rotativo, corpo de duas vias de passagem reta, com internos de sede simples e elemento vedante

constituídos por um disco ou lâmina de formato circular acionados por eixo de rotação axial (PETROBRAS, 2003).

As válvulas borboleta são restritores compostos de um disco basculante num eixo, que obstrui uma seção da tubulação. Estas válvulas possuem baixo custo de aquisição e baixo custo de manutenção, boa característica de controle, peso reduzido e alta capacidade, se comparadas com as válvulas Globo do mesmo diâmetro (BEGA, 2011).

As válvulas borboleta inicialmente foram utilizadas como *dampers* em serviços de baixa pressão normalmente encontrados em operação com água. Os projetos modernos destas válvulas são utilizados em grande variedade de aplicações, tais como, altas perdas de carga, vedação estanque e fluidos corrosivos.

O desenho normal da uma válvula borboleta (eixo alinhado com o disco) possui boa capacidade e resistência à erosão. Com o projeto de disco excêntrico, as válvulas borboleta são atualmente utilizadas em serviços cada vez mais severos. A Figura 12 apresenta uma válvula borboleta nas posições fechada, em controle e aberta. A operação é muito simples, podendo ser manual, através de uma alavanca, ou de um sistema de engrenagem e volante em válvulas que requeiram maior torque (BEGA, 2011).



**Figura 12 - Operação da válvula borboleta.**  
**Fonte: BEGA, 2011.**

A operação automática pode ser por meio de atuador pneumático, hidráulico ou elétrico acoplado ao eixo da válvula. A Figura 13 apresenta uma válvula borboleta com atuador pneumático do tipo pistão de dupla ação.



**Figura 13 - Válvula borboleta com atuador pneumático.**  
**Fonte: Aatoria própria.**

Basicamente, as válvulas Borboleta são constituídas pelo corpo, eixo ligado ao disco, disco, buchas ou mancais que sustentam o eixo, vedações do eixo e do disco, sistema de engaxetamento e sistema de acoplamento do operador manual ou automático ao eixo da válvula. A Figura 14 ilustra os componentes da válvula Borboleta de Alto Desempenho A11 da marca Fisher (FISHER, 2007).

O corpo da válvula borboleta é normalmente do tipo anel sólido montado entre flanges de tubulação (esta montagem é conhecida como *wafer*, bolacha) ou o próprio corpo contém a furação roscada correspondente para que os parafusos do tipo estojo sejam instalados de forma passante ou roscada através do corpo da válvula.

As principais vantagens da utilização das válvulas borboleta são alta capacidade de vazão, baixo custo especialmente em grandes diâmetros, boa recuperação de pressão (baixa perda de pressão através de válvula), pode ser aplicada em fluidos com sólidos em suspensão e requer um espaço pequeno para instalação. Como desvantagens pode-se apresentar o alto torque operacional exigido em caso de alta queda de pressão, embora projetos modernos diminuam bastante este efeito, para uma vedação estanque é necessário um revestimento resiliente na vedação, o que limita a temperatura de operação em algumas aplicações, e o curso é limitado em 60° (BEGA, 2011).



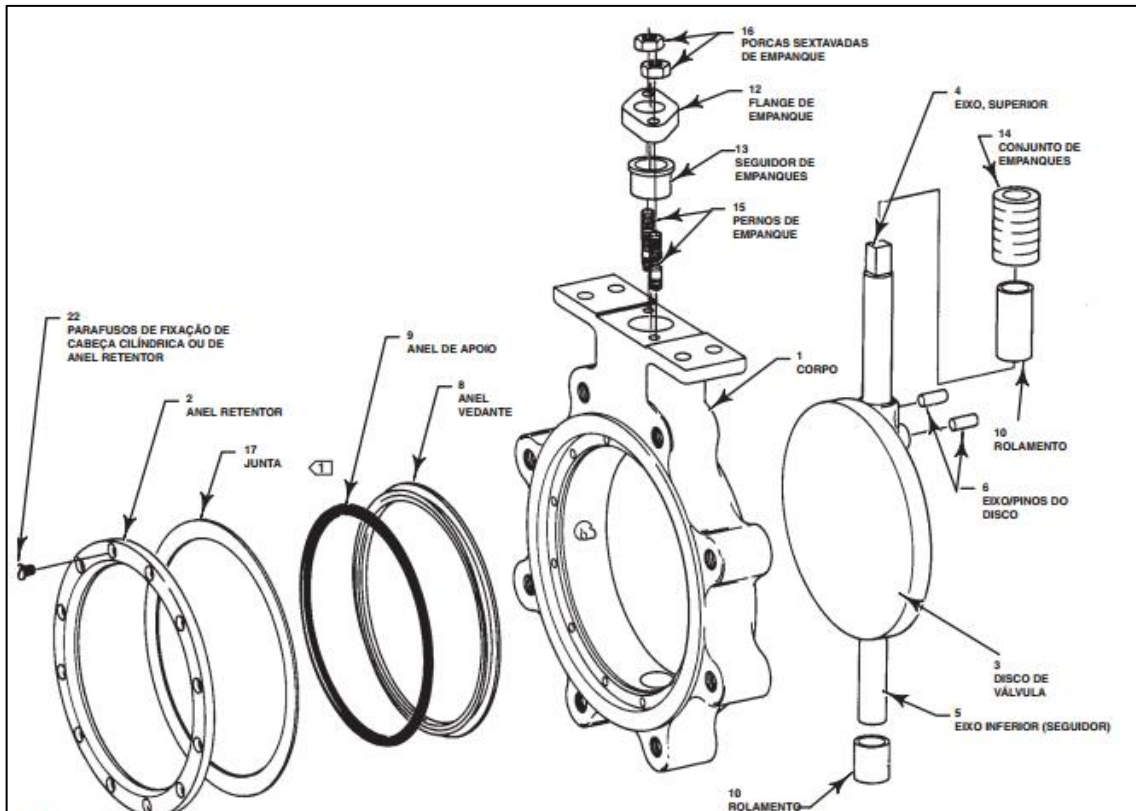


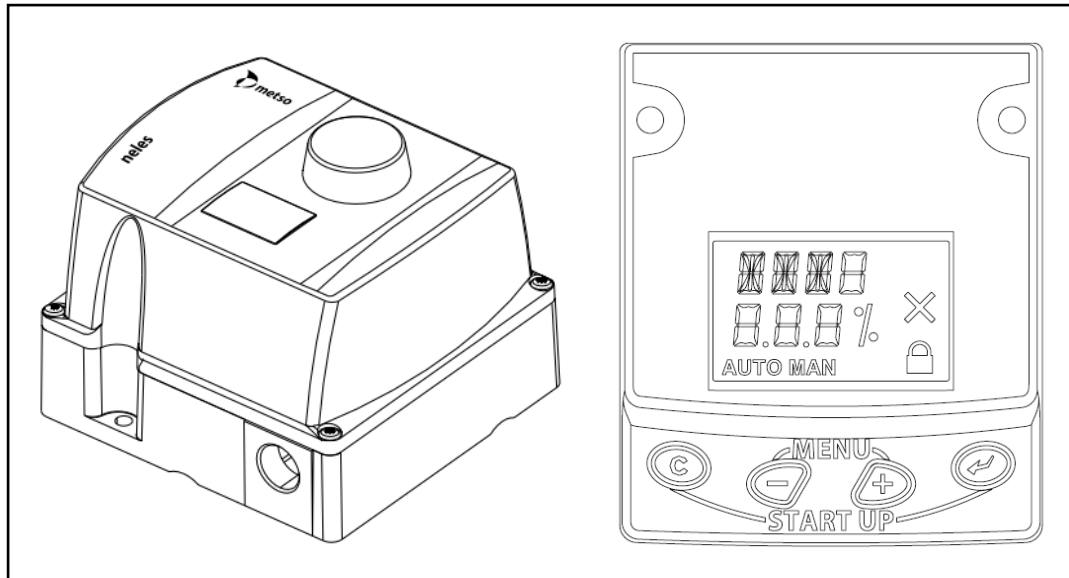
Figura 14 - Componentes da válvula borboleta.  
Fonte: FISHER, 2007.

### 3.4 POSICIONADORES

O posicionador é o dispositivo que trabalha em conjunto com o atuador da válvula de controle para posicionar corretamente o obturador em relação à sede da válvula. O posicionador compara o sinal emitido pelo controlador com a posição da haste da válvula e envia ao atuador da válvula a pressão de ar necessária para colocar o obturador na posição correta (PETROBRAS, 2003).

Os posicionadores de válvulas utilizados na empresa eram os posicionadores eletropneumáticos SIPART da empresa Siemens e estes foram substituídos pelos posicionadores inteligentes ND9000 Neles da empresa *Metso Automation*.

O posicionador ND9000 é baseado em um microcontrolador energizado por um circuito de corrente de 4 a 20 mA e se comunica através do protocolo HART. A Figura 15 apresenta o posicionador ND9000 e a interface de usuário local do mesmo (NELES, 2006).



**Figura 15 - Posicionador ND9000 e interface de usuário local.**  
**Fonte: NELES, 2006.**

O posicionador ND9000 possui uma série de características que são favoráveis as funções de diagnósticos de falhas e informações de calibração remota, o mesmo modelo pode ser aplicado em válvulas linear globo e em válvulas rotativas borboleta de simples e de dupla ação, possui funcionamento local e remoto, apresenta a opção de sensores de posição aberto e fechado, possui retransmissão de posição da válvula num sinal de 4 a 20 mA, apresenta alta velocidade de resposta, permite inverter a ação do atuador e a posição de falha da válvula e opera em redes com protocolo de comunicação HART, PROFIBUS PA e *Foundation Fieldbus* (NELES, 2006).

## 4 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

A primeira etapa no desenvolvimento deste trabalho foi a identificação das principais falhas das válvulas de controle da unidade PSA. Na sequência, os posicionadores eletropneumáticos foram substituídos pelos posicionadores inteligentes com comunicador HART e foi instalado o sistema para a aquisição de dados das válvulas de controle utilizando o programa PACTware.

### 4.1 PRINCIPAIS FALHAS DAS VÁLVULAS DE CONTROLE

De acordo com Siqueira (2005) a falha é a interrupção ou modificação da capacidade de um equipamento realizar sua função necessária ou esperada. Em alguns casos as falhas devem ser prevenidas em outras situações a falha pode ser permitida ou tolerada.

Segundo Silva (2008) as válvulas falham, numa visão ampla, devido a três fatores básicos:

- Falha de projeto (especificação);
- Falha na fabricação;
- Falha na utilização.

A unidade PSA possui 13 válvulas de controle, sendo cinco válvulas globo e oito válvulas borboleta, e os posicionadores utilizados nestas válvulas eram eletropneumáticos do modelo SIPART da empresa Siemens.

Durante a operação da unidade PSA, devido a alta ciclagem de operação das válvulas de controle, essas começaram a apresentar diversas falhas na utilização, sendo estas falhas mecânicas e elétricas. As principais falhas apresentadas foram:

- Desgaste dos diafragmas das válvulas;
- Quebra das molas dos atuadores das válvulas globo;
- Quebra dos pratos das molas dos atuadores das válvulas globo;
- Desalinhamento das hastes dos atuadores das válvulas globo;

- Desgaste dos reparos (*o-rings* e anéis de desgaste) dos atuadores das válvulas borboleta;
- Descalibração dos posicionadores;
- Falhas nos relés pneumáticos dos posicionadores;
- Dificuldade na sintonia das malhas de controle;
- Falhas de *backlash*, que é o movimento relativo entre as peças fixas da válvula devido à interação entre as partes mecânicas (GURY, 2008);
- Agarramento no conjunto das gaxetas;
- Variação na pressão de alimentação dos posicionadores.

O posicionador eletropneumático SIPART possui uma série de problemas operacionais, sendo que todos dificultavam sua calibração e sua operação contínua:

- O *display* possui somente duas linhas. Quando em modo automático este não permite acesso ao valor de entrada (de 4 a 20 mA), a posição real da haste da válvula, o valor da pressão de alimentação ou da temperatura ambiente;
- O acesso à calibração é muito complicado e não existe a possibilidade de calibração remota;
- Os relés pneumáticos (dois para válvulas de dupla ação e um para válvula de simples ação) apresentam muitos defeitos mecânicos;
- Não possui protocolo HART e diagnósticos de falha;
- Quando ocorre a situação de problema eletrônico é necessário refazer toda a programação e a calibração.

O posicionador inteligente ND9000 é um equipamento de última geração microprocessado e totalmente programável. Este posicionador permite três formas de programação: localmente no seu visor, através de um *handheld* (programador) ou através de um *software* de programação. Através de sua programação o ND9000 possibilita:

- Leitura da posição da válvula, sinal de entrada, temperatura ambiente, diferencial de pressão (para dupla ação) e pressão no atuador;
- Comandos de posição da válvula, configuração e autocalibração;
- Autoajustes;
- Modificação do tempo de fechamento e abertura e do número de ciclos;
- Gráficos da pressão pela posição da haste, via *software*;

- Histórico da configuração;
- *Backup* da configuração, que facilita o carregamento da configuração de maneira ágil em caso de troca do posicionador;
- Caracterização de fluxo através do programa de came: linear, abertura rápida, etc.;
- Calibração, configuração e gerenciamento do posicionador dentro da sala de controle.

O posicionador ND9000 possui conversor corrente/pressão e relé pneumático, permitindo trabalhar com atuadores de baixo e de alto volume de ar comprimido, melhor posicionamento e controle dinâmico da válvula, o que aumenta o rendimento do processo, e, também, reduz as variações no processo.

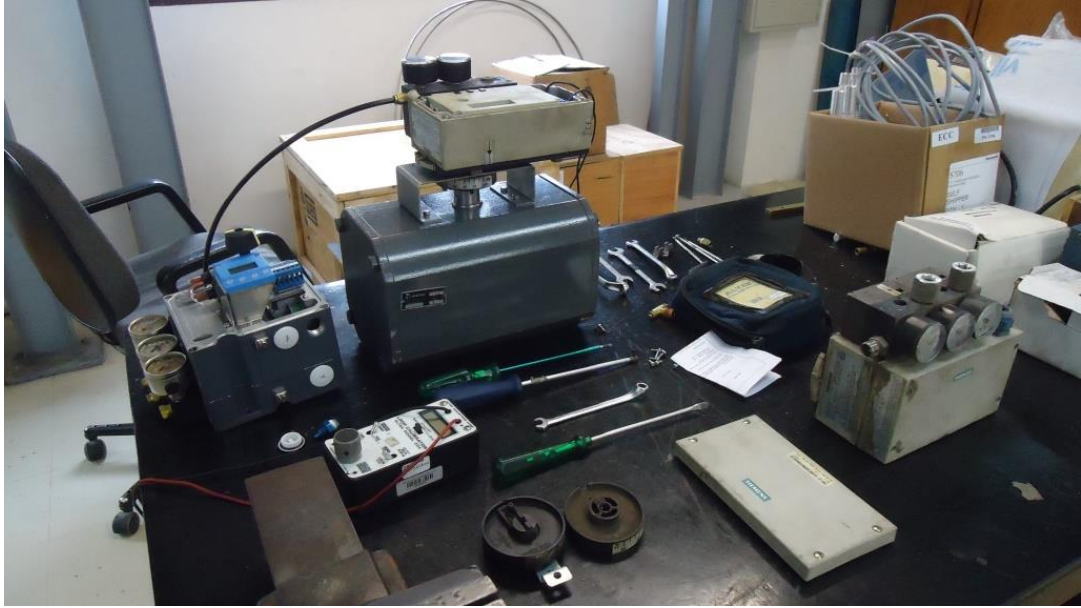
Todas estas características e facilidades do posicionador ND9000 justificaram a troca dos posicionadores SIPART por estes.

## 4.2 TROCA DOS POSICIONADORES

Os posicionadores eletropneumáticos SIPART da empresa Siemens foram substituídos pelos posicionadores inteligentes ND9000 com comunicador HART da empresa *Metso Automation*.

A Figura 16 apresenta o conjunto do posicionador SIPART montado em um atuador de dupla ação da válvula borboleta.

A Figura 17 apresenta o posicionador ND9000 montado no atuador de dupla ação da válvula borboleta. Após a conclusão da montagem do posicionador foi efetuado o procedimento de auto calibração no mesmo. A Figura 18 apresenta o posicionador em processo de autocalibração.



**Figura 16 - Posicionador SIPART no atuador de dupla ação da válvula borboleta.  
Fonte: Autoria própria.**



**Figura 17 - Posicionador ND9000 no atuador de dupla ação da válvula borboleta.  
Fonte: Autoria própria.**



**Figura 18 - Posicionador em processo de auto calibração.**  
**Fonte: Autoria própria.**

### 4.3 SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

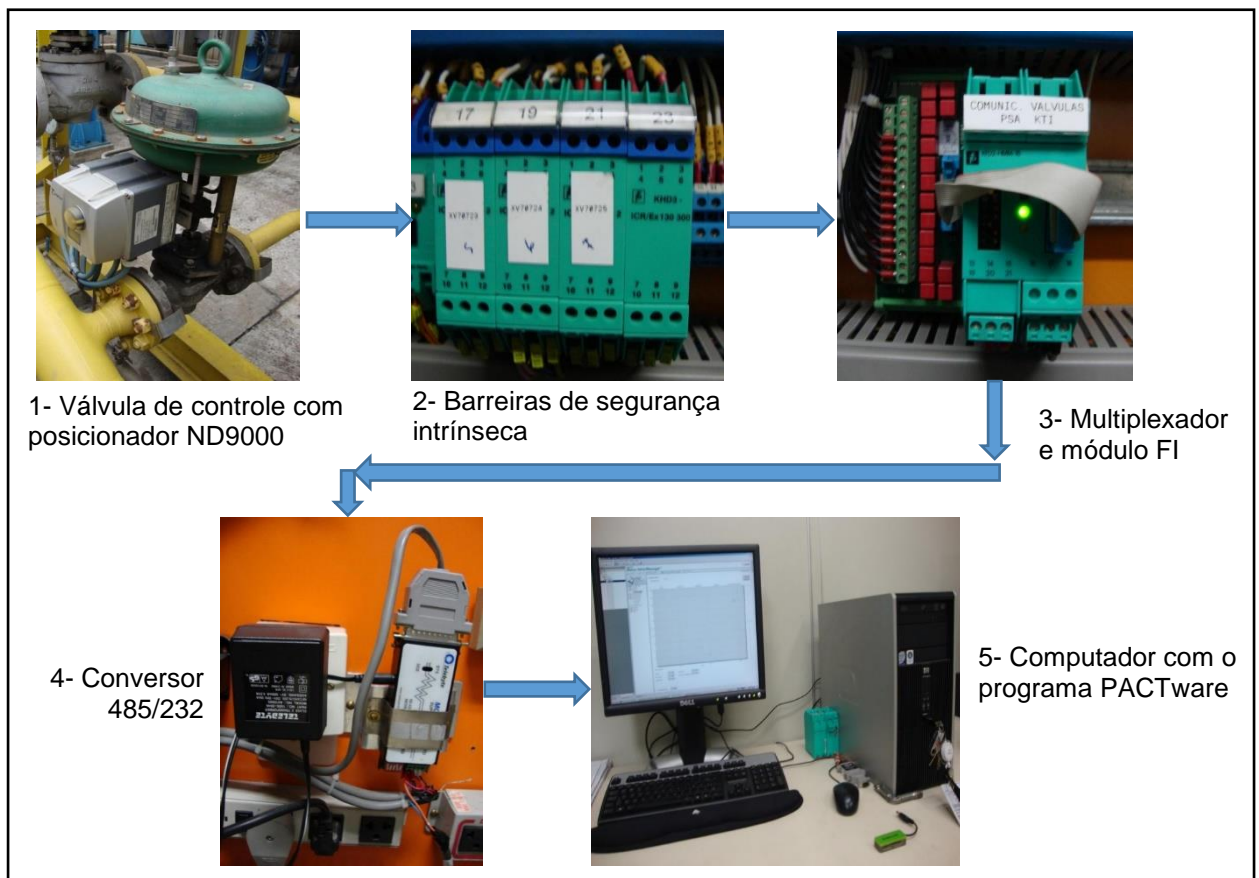
A Figura 19 apresenta um diagrama simplificado do sistema instado para a aquisição de dados das válvulas de controle, sendo este formado por:

1. Válvula de controle com posicionador ND9000;
2. Barreiras de segurança intrínseca de saída analógica;
3. Multiplexador mestre HART de 16 canais e o módulo FI;
4. Conversor RS485 para RS232;
5. Computador com o programa PACTware.

#### 4.3.1 Barreiras de Segurança Intrínseca e Multiplexador Mestre

A proteção por segurança intrínseca reúne um conjunto de dispositivos especialmente projetados para atender a uma finalidade proposta. A barreira de segurança intrínseca é um dos dispositivos que, quando utilizada em conjunto com outros itens, pode proteger a planta de processo em atmosfera potencialmente explosiva. O objetivo da segurança intrínseca é fazer com que os dispositivos associados não tenham condições de liberar energia suficiente para provocar a

ignição na presença de uma mistura explosiva, mesmo na possibilidade de falha do sistema de controle (DIAS, 2012).



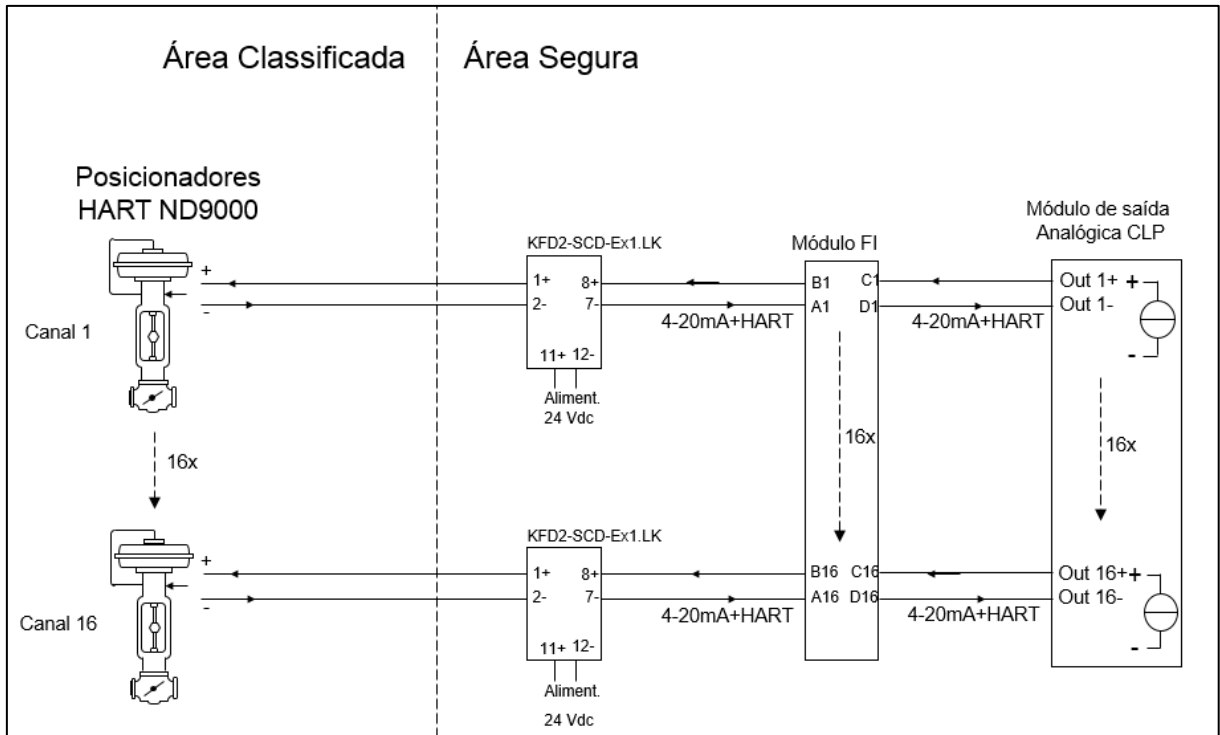
**Figura 19 - Sistema de aquisição de dados.**

Fonte: Autoria própria.

Neste trabalho são utilizadas barreiras de segurança intrínseca de saída analógica de 4 a 20 mA, modelo KFD2-SCD-Ex1.LK da marca Pepperl+Fuchs, para os posicionadores das válvulas de controle, conforme ilustrado na Figura 20. Estas barreiras possuem a finalidade de proteger os posicionadores ND9000 instalados na área potencialmente explosivas da unidade PSA, evitando qualquer risco de ignição, quer por efeito térmico ou faísca elétrica. Outra característica importante é que a barreira de saída analógica permite a passagem dos sinais HART sem que a segurança intrínseca seja comprometida.

O multiplexador mestre HART de 16 canais utilizado neste trabalho é o modelo KFD2-HMM-16 da marca Pepperl+Fuchs, que fornece acesso completo via protocolo HART para até 256 instrumentos de campo simultaneamente com os convencionais *loops* de corrente de 4 a 20 mA.





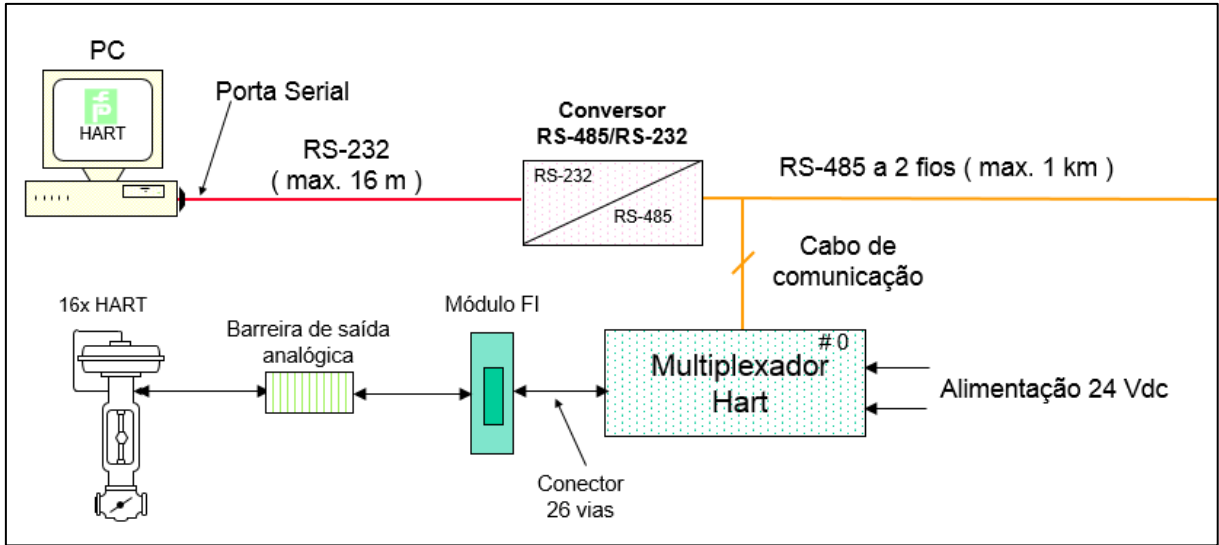
**Figura 20 - Barreira de segurança intrínseca de saída analógica.**  
**Fonte: Autoria própria.**

O multiplexador atua, portanto, como um *gateway* transparente entre a estação de serviço (computador ou sistema de controle do processo) e os instrumentos de campo.

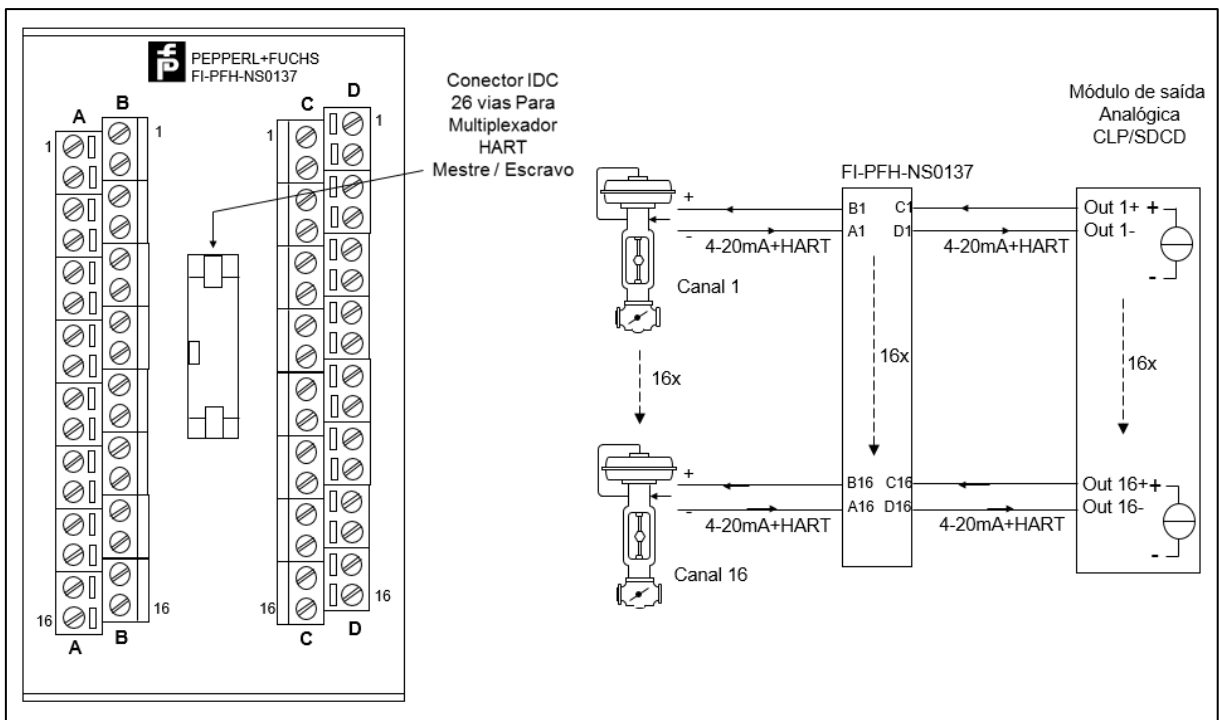
A alimentação do multiplexador é de 24 Vdc e a conexão com o computador ou sistema de controle de processo é através de uma interface de comunicação RS485, conforme apresentado na Figura 21.

Todo o acesso ao dispositivo de campo ocorre em paralelo com a transferência do sinal de 4 a 20 mA e, portanto, não possui nenhum efeito sobre o tratamento dos valores medidos pelo controle de processo do sistema. O sistema proporciona, assim, uma interface de serviço subordinado. Em dispositivos de campo que são instalados em áreas de risco o acoplamento é realizado no lado da área segura das barreiras de segurança intrínseca.

O módulo FI utilizado neste trabalho é o modelo FI-PFH-NS0137 da marca Pepperl+Fuchs, apresentado na Figura 22, e possui a função de coletar os sinais do protocolo HART e enviá-los via conector de 26 vias para o multiplexador mestre HART.



**Figura 21 - Multiplexador mestre HART.**  
 Fonte: Autoria própria.



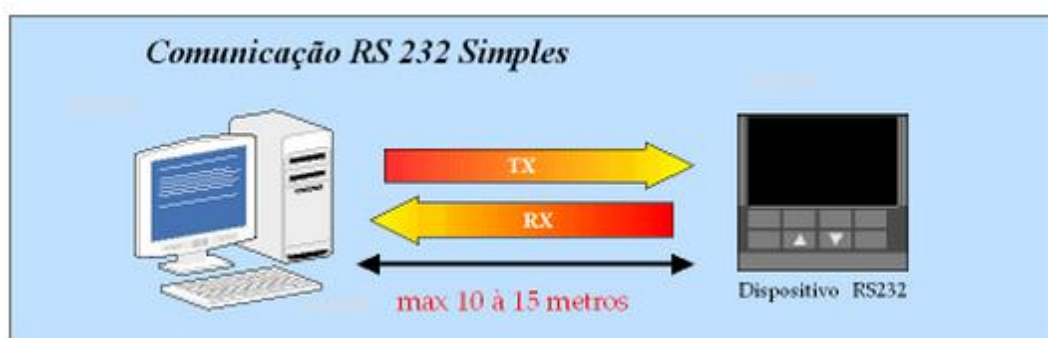
**Figura 22 - Módulo FI.**  
 Fonte: Autoria própria.

4.3.2 Comunicação RS232 e RS485

RS232 é que um conjunto de normas que definem a comunicação serial ponto a ponto entre dois dispositivos. A norma RS232 define os níveis de tensão, a

temporização, o protocolo de troca de dados e a disposição mecânica dos conectores (IMPAC, 2015).

A interface RS232 tem como principal atrativo a sua implementação simples e barata, sendo disponível como padrão na maioria dos computadores. As principais limitações da interface RS232 se devem ao fato de mesma operar por níveis de tensão, sendo extremamente suscetível a ruídos, o que inviabiliza a comunicação de maneira confiável em distâncias superiores a 10 ou 15 m, conforme apresentado na Figura 23. Outra limitação é que o padrão RS232 foi desenvolvido para ser uma comunicação ponto a ponto, não permitindo que mais de dois dispositivos usem a mesma linha de dados.



**Figura 23 - Comunicação RS232.**  
**Fonte: IMPAC, 2015.**

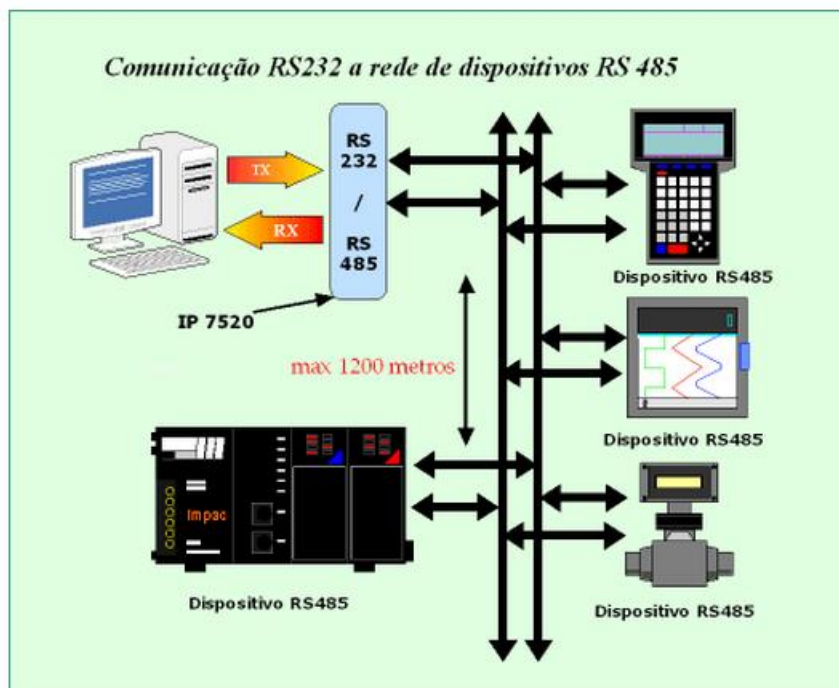
RS485 é uma evolução do padrão RS232 e permite a implementação de linhas de transmissão balanceadas, o que torna a comunicação imune a ruídos, permitindo o envio de informações a distâncias de até 1.200 m de maneira extremamente confiável. Essa comunicação possui como principal enfoque a comunicação em rede, ou seja, com apenas um par de fios é possível se comunicar com diversos equipamentos em rede usando o mesmo barramento (IMPAC, 2015).

A função de um conversor RS232 para RS485 é transformar o padrão RS232 no padrão RS485. O padrão RS232 é definido por um sinal em onda quadrada positivo para Tx e Rx. O RS485 distingue-se por transformar o padrão positivo do RS232 num padrão diferencial com a tensão podendo variar de  $\pm 5$  V de pico até  $\pm 12$  V de pico mantendo as características de frequência e período. A Figura 24 apresenta o esquema de um conversor RS232 para RS485.

As principais aplicações do conversor RS232 para RS485 são (IMPAC, 2015):

- Aumentar a distância de comunicação de um sistema serial RS232;

- Permitir que equipamentos RS232 possam se comunicar com equipamentos RS485;
- Isolar eletricamente um sistema do outro;
- Efetivar a troca de dados do protocolo HART entre o computador e o multiplexador mestre HART.



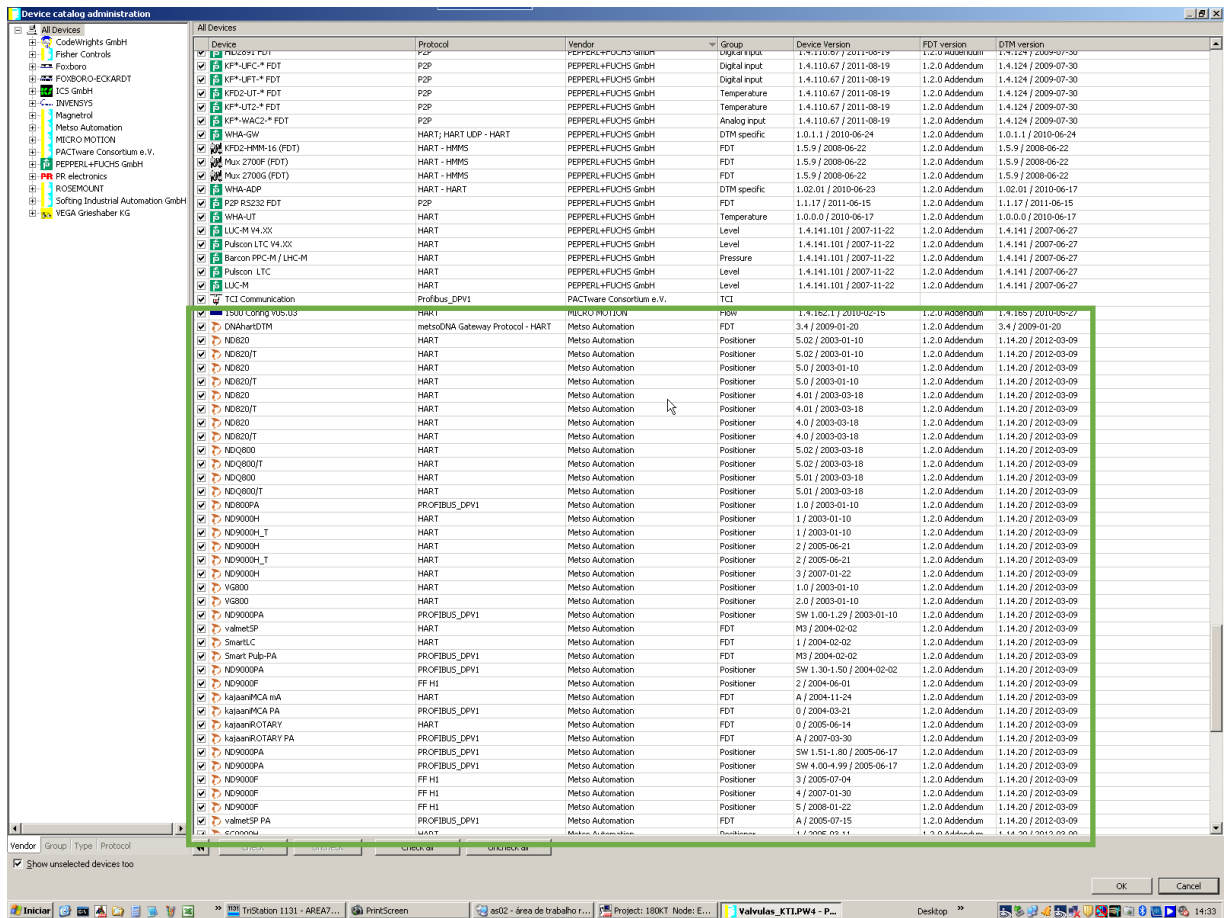
**Figura 24 - Conversor RS232 para RS485.**  
 Fonte: IMPAC, 2015.

#### 4.3.3 Funcionamento do Sistema de Aquisição de Dados

A Figura 19 e a Figura 21 apresentam o diagrama simplificado dos componentes do sistema de aquisição de dados. O fluxo de dados é bidirecional entre o posicionador da válvula de controle (escravo na rede HART) e o computador com o programa PACTware (mestre na rede HART).

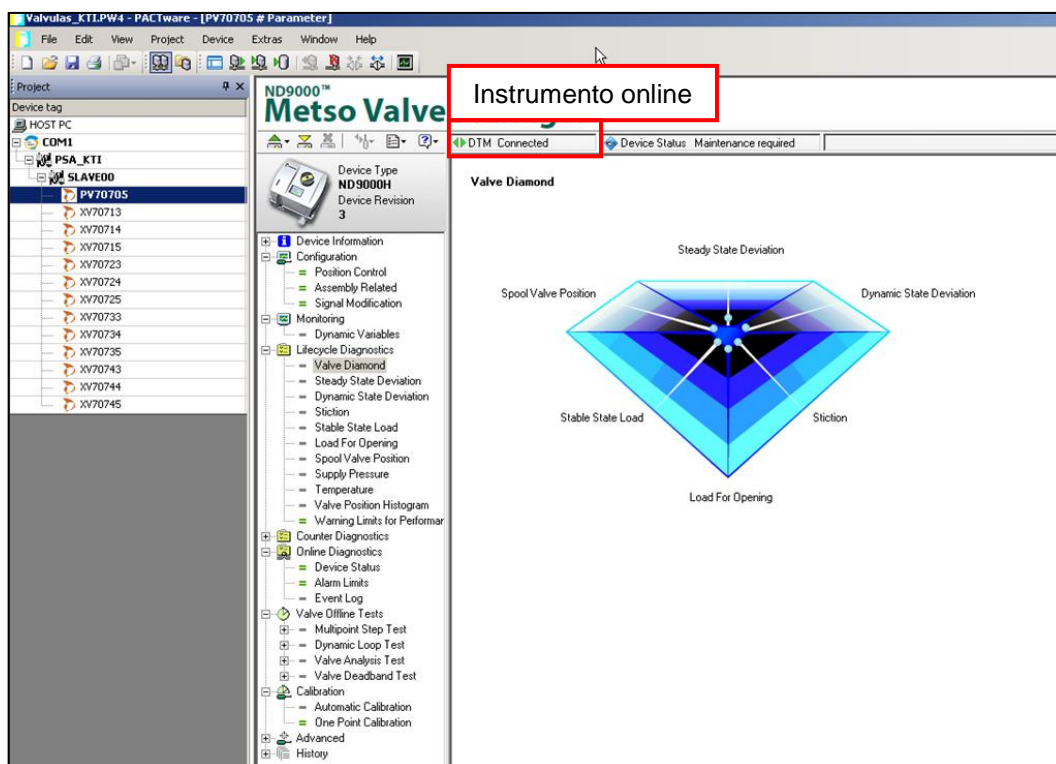
Ao ser energizado com 24 Vdc o posicionador ND9000 inicia o funcionamento e a coleta de dados de diagnóstico. O posicionador pode armazenar até 25 anos ininterruptos de dados enquanto estiver energizado e em operação.

Após a instalação do programa PACTware foram instalados os DTM's do driver de comunicação HART, do multiplexador mestre HART e dos posicionadores ND9000, conforme apresentado na Figura 25.



**Figura 25 - Carregamento dos DTM's dos posicionadores ND9000**  
**Fonte: Autoria Própria**

Em seguida foram carregados os parâmetros do posicionador para o programa PACTware. Quando o posicionador é conectado no modo *online*, automaticamente inicia-se o acesso aos parâmetros e aos seis principais diagnósticos do posicionador, conforme apresentado na Figura 26.



**Figura 26 - Posicionador ND9000 no modo *online* no programa PACTware.**  
**Fonte: Autoria própria.**

Os principais parâmetros do posicionador ND9000 estão apresentados na Figura 27 e são:

- *Actuator type* (tipo de atuador): neste parâmetro é selecionado o tipo de atuador da válvula, se de simples ação ou dupla ação;
- *Valve acting type* (tipo de atuação da válvula): neste parâmetro é definido se a válvula é linear ou rotativa;
- *Valve rotation direction* (direção de rotação da válvula): é onde se define se a direção de operação da válvula é para abrir ou fechar;
- *Dead angle* (ângulo cego): este parâmetro é utilizado em válvulas do tipo esfera para garantir a eficazmente a abertura de 90°;
- *Positioner fail action* (sentido de falha do posicionador): este parâmetro é onde se programa a posição do posicionador na condição de falha de sinal elétrico, de programa ou de pressão (se a válvula vai para posição aberta ou fechada);
- *Position transmitter direction* (direção do sensor de transmissor de posição): parâmetro opcional e geralmente não é utilizado.

Assembly Related	
Actuator Type	Single Acting
Valve Acting Type	Linear with Compensation
Valve Rotation Direction	Clockwise to Close
Dead Angle (α0)	0,0 %
Positioner Fail Action	Close
Position Transmitter Direction	Not In Use

**Figura 27 - Principais parâmetros do posicionador ND9000.**  
**Fonte: Autoria própria.**

A Figura 28 apresenta mais um grupo importante de parâmetros para serem configurados no posicionador ND9000. Estes parâmetros estão relacionados ao protocolo HART, tais como as quatro possíveis variáveis dinâmicas e as unidades de engenharia de pressão e temperatura.

The screenshot displays the 'Metso Valve Manager' software interface. The left sidebar shows a tree view with 'HART Configuration' selected. The main panel is titled 'HART Configuration' and contains the following settings:

Parameter	Value
1st Dynamic Variable Code	Setpoint
2nd Dynamic Variable Code	Valve Position
3rd Dynamic Variable Code	Target Position
4th Dynamic Variable Code	Actuator Pressure Difference
Supply Pressure Unit	Cylinder Pressure (C1) Unit
Pressure Difference Unit	Cylinder Pressure (C2) Unit
Device Temperature Unit	
Response Preambles	5
Burst Mode Control	Off
Burst Mode Command	3
1st Burst Variable Code	Setpoint
2nd Burst Variable Code	Valve Position
3rd Burst Variable Code	Device Temperature
4th Burst Variable Code	Actuator Pressure Difference

**Figura 28 – Configuração do protocolo HART no posicionador ND9000.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

## 5 ANÁLISE DOS TESTES E RESULTADOS

O PACTware é uma ferramenta portátil e foi utilizada na coleta de dados para análise das condições dos internos e acessórios instalados nas válvulas de controle.

Após realizados os diagnósticos das válvulas de controle de forma remota através do protocolo HART e utilizando o programa PACTware, foram gerados relatórios específicos por esta ferramenta. Nestes relatórios está apresentado detalhadamente o desempenho da válvula ao longo de sua operação, sem que houvesse a necessidade de desmontá-la ou retirá-la do processo, indicando possíveis problemas e possibilitando que sejam determinadas as ações corretivas.

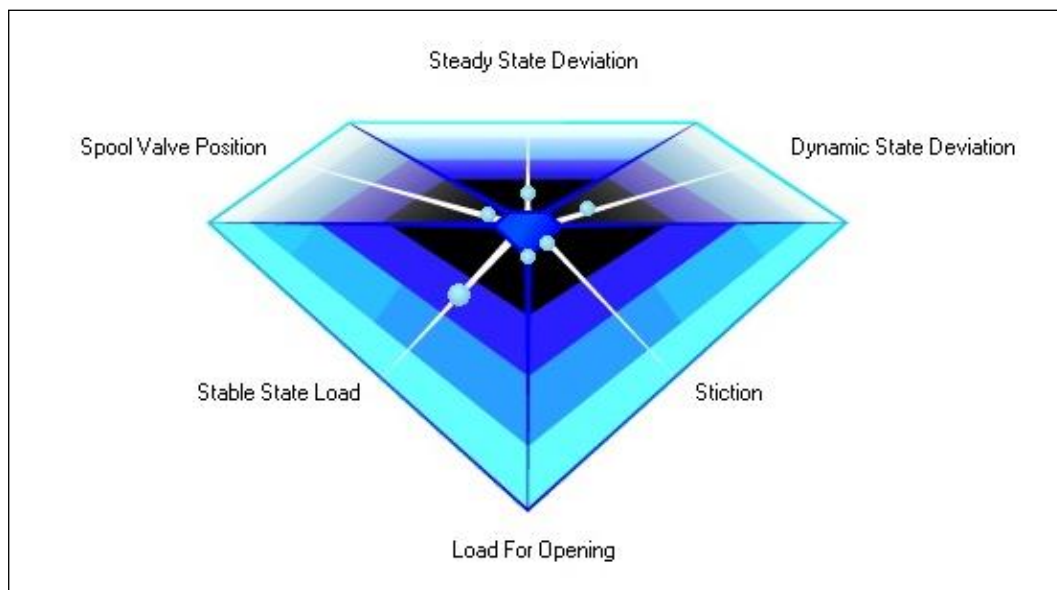
O relatório final foi gerado com diagnósticos avançados sobre o estado da parte interna da válvula de controle (danos na gaiola, obturador, sede, esfera), atrito da haste com as gaxetas, estado do atuador (mola e vazamento do diafragma), medição do curso da haste, calibração do *bench set* do atuador, força de assentamento (plug na sede), calibração do posicionador e/ou do conversor I/P, medição da banda morta e ainda a linearidade do conjunto válvula-atuador-posicionador.

Com os problemas devidamente identificados foi decidido quais válvulas deveriam ser realmente retiradas do processo e enviadas para manutenção. Além disso, quando o diagnóstico é realizado com antecedência é possível providenciar a compra apenas das peças necessárias para a manutenção.

A ferramenta diamante existente no PACTware, apresentada na Figura 29, é um resumo visual das medidas que podem ser usadas para manutenção preditiva. Nesta ferramenta diamante da válvula é possível visualizar rapidamente se existem problemas no desempenho da válvula.

A ferramenta funciona da seguinte maneira: quando as esferas nos raios estão próximas ao diamante central não existe problema relacionado aquele raio; a partir do momento que as esferas se distanciam do diamante central o problema relacionado está se agravando.





**Figura 29 - Ferramenta diamante da válvula no programa PACTware.**  
**Fonte: Autoria própria.**

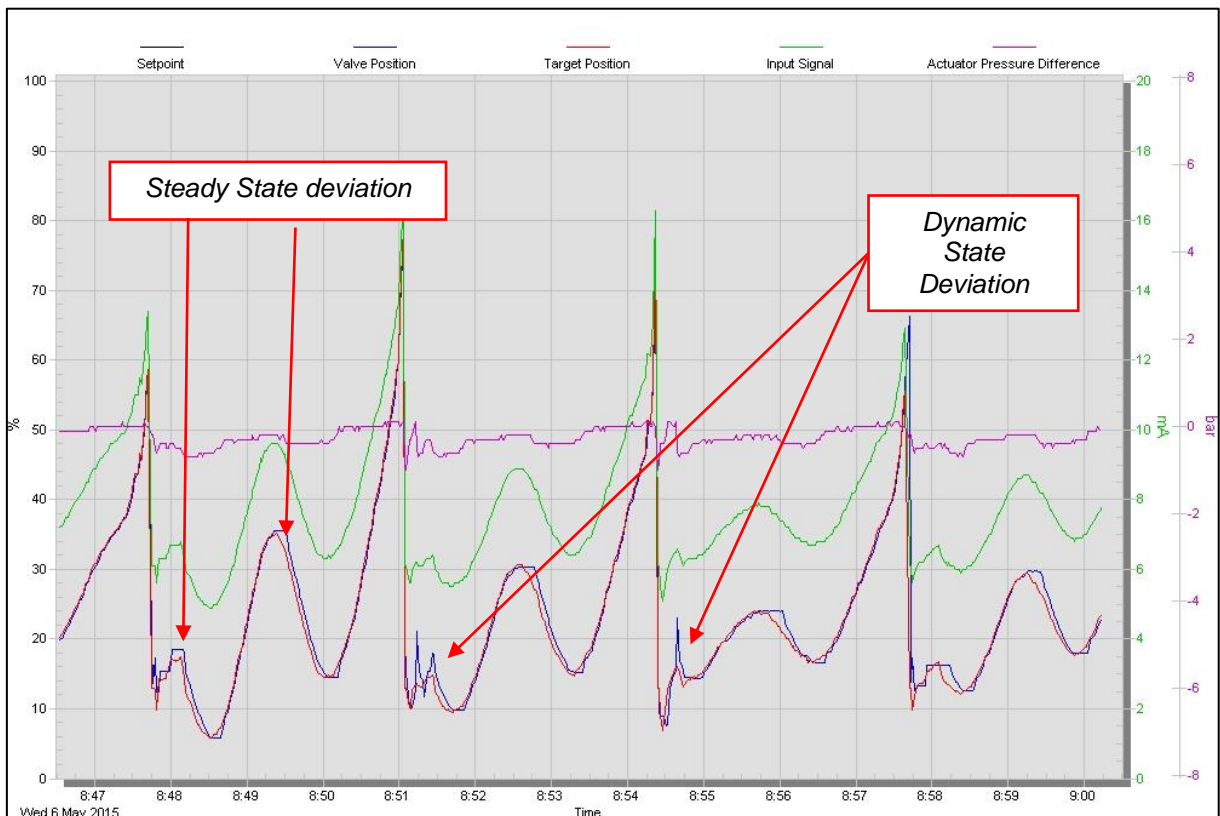
Estes diagnósticos se baseiam em valores de referência, valores limites e valores de medição feitos pelo posicionador. A ferramenta diamante pode realizar seis diagnósticos *online*:

- *Steady State Deviation* (desvio de estado permanente): desvio de estado permanente é utilizado para determinar a precisão do controle básico da válvula. Ele é atualizado sempre que o ponto de ajuste é considerado como tendo alcançado a posição desejada com a maior precisão possível;
- *Dynamic State Deviation* (desvio de estado dinâmico): pode ser utilizado para estimar a dinâmica da válvula, tais como os tempos de resposta. A atualização deste parâmetro é contínua durante todo o movimento da válvula;
- *Stiction* (atrito estático): o aumento do atrito estático sugere um aumento da fricção interna, o que pode causar problemas de precisão e, por fim, fazer com que a válvula não se mova. A diminuição do atrito estático sugere uma diminuição da fricção interna. Este parâmetro pode indicar problemas como desgaste extensivo ou ruptura do eixo do atuador da válvula. O atrito estático também está associado ao agarramento nas gaxetas e em necessidade de reparos no atuador;
- *Load for Opening* (carga para abertura): este parâmetro pode ser usado para estimar o desgaste da sede, especialmente em válvulas Borboleta, e agarramento em válvulas de esfera. A tendência da carga para abertura é

atualizada sempre que a válvula é aberta até a sua posição fechada. Como o atrito estático, este parâmetro é obtido utilizando-se medição pneumática;

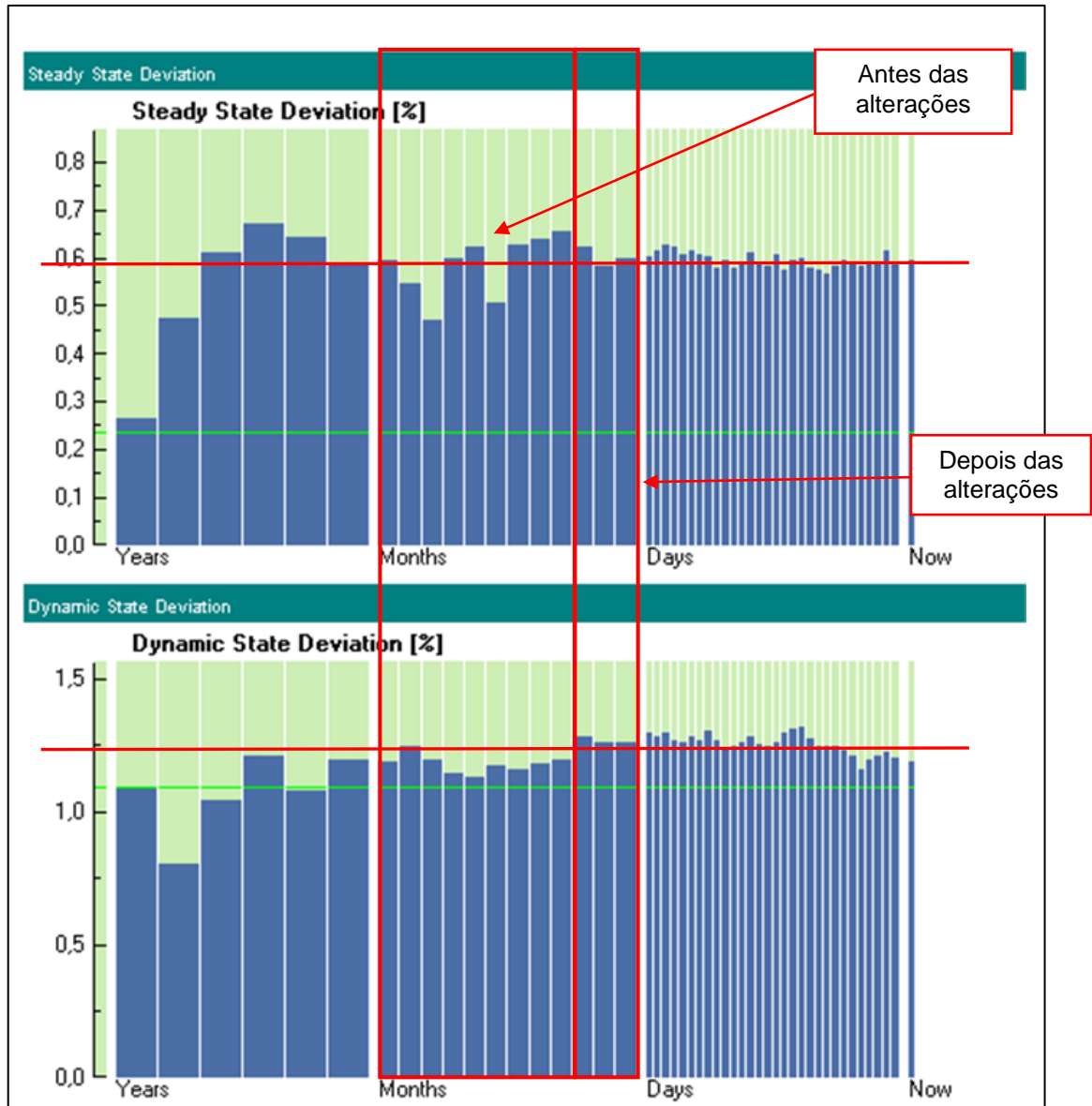
- *Stable State Load* (carga em estado estável): apresenta a medição de carga em estado estável, o que é especialmente importante para atuadores de ação simples, pois pode ser estimada a força da mola do atuador e o estado da mola. Este parâmetro é baseado na medição pneumática que é obtida sempre que a válvula está em um estado estável. Se a mola está quebrada, a carga em estado estável diminui visivelmente.

Nas Figuras 30 e 31 podem ser visualizados os diagnósticos realizados de *Dynamic State Deviation* (desvio de estado dinâmico) e *Steady State Deviation* (desvio de estado permanente).



**Figura 30 - Variáveis dinâmicas do posicionador no programa PACTware.**

Fonte: Autoria própria.



**Figura 31 – Diagnósticos realizados.**  
**Fonte: Autoria própria.**

Na Figura 30 a curva em vermelho é o valor de referência de posição da válvula de controle (valor desejado) e a curva em azul é a posição real da válvula. Percebe-se que em alguns pontos as curvas diferem, o que representa um desvio permanente nesses pontos. Outros pontos operacionais dessas mesmas curvas mostram que a posição real da válvula de controle ultrapassa a posição desejada (picos da curva em azul). Este efeito é denominado desvio dinâmico.

Através dos dados registrados foram diagnosticados os problemas e definidas as soluções necessárias, que envolveram alterações nos atuadores das válvulas globo. Na Figura 31, ao se analisar uma amostragem dos últimos três meses em relação aos oito meses anteriores, verificou-se que os desvios

permanente e dinâmico tiveram uma redução considerável. A seguir são relatadas as soluções para resolução destes desvios.

No prato superior do atuador mola e diafragma foi instalado um guia em aço inox com embuchamento de bronze, conforme apresentado na Figura 32, para linearizar o movimento da haste do atuador. Foram alteradas, também, as molas e a quantidade destas, conforme apresentado na Figura 33, para estabilizar o deslocamento de todo o conjunto atuador e plug quando a válvula inicia a sua abertura, pois se notou que a contrapressão de 21 bar dificultava a situação de fechamento da válvula.



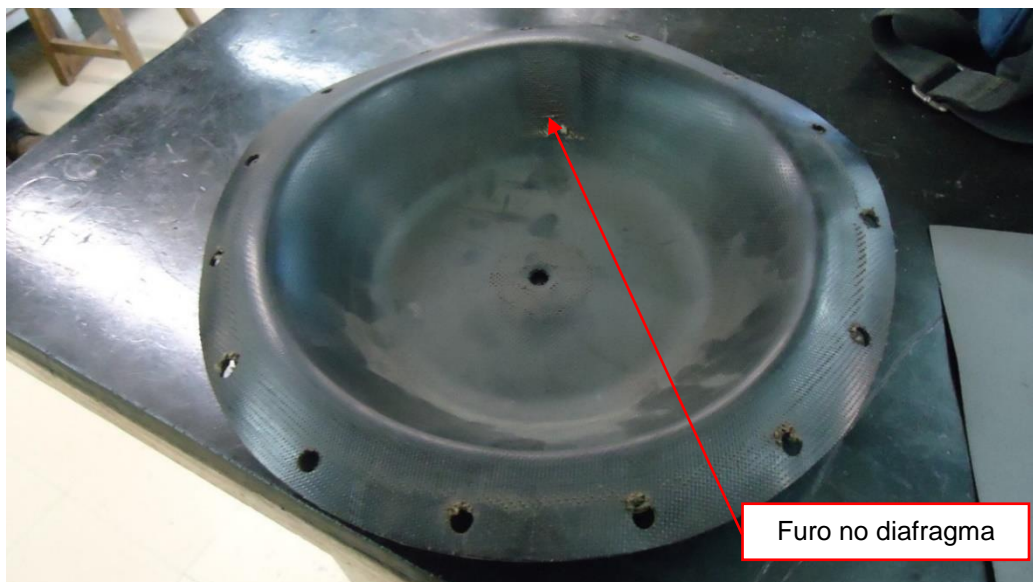
**Figura 32 - Guia com embuchamento de bronze instalado no prato do atuador.  
Fonte: Aatoria própria.**

Outro problema detectado foi na pressão de alimentação do atuador. Apesar do posicionador suportar uma pressão de alimentação de até 8 bar, por especificação do fabricante o atuador possui uma pressão de operação máxima de 4,5 bar.

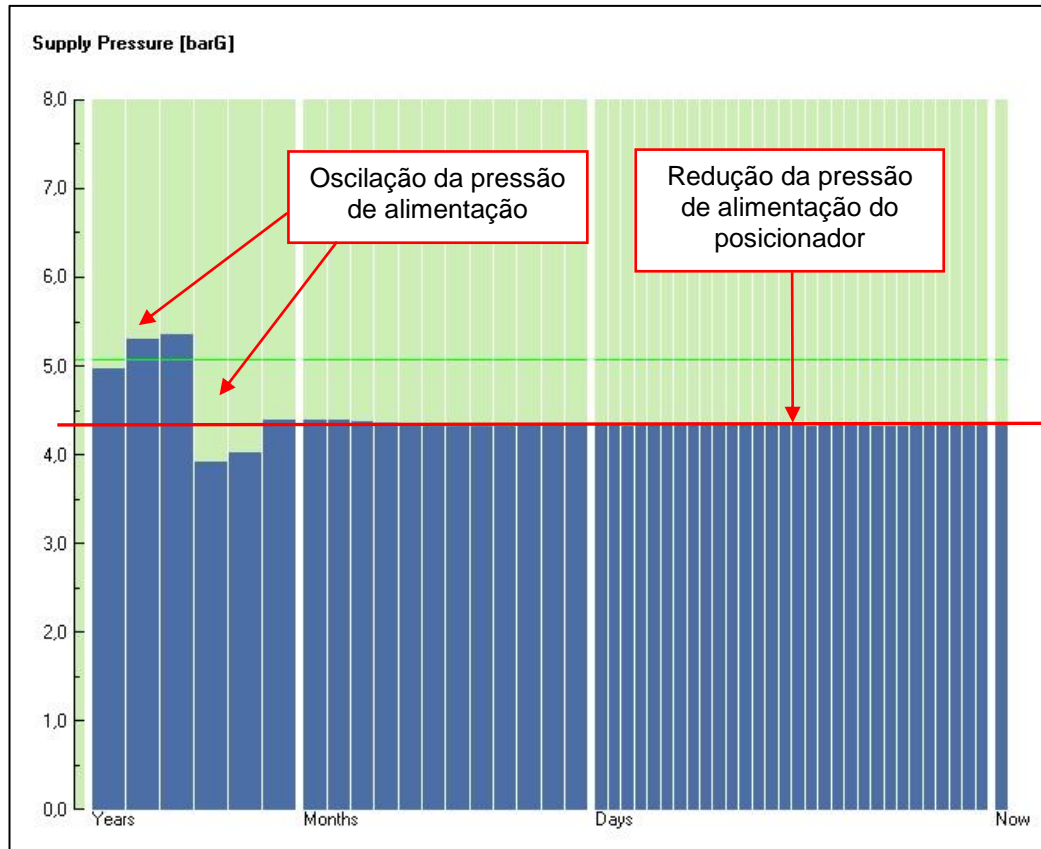


**Figura 33 - Molas do atuador da válvula globo.**  
Fonte: A autoria própria.

Desta forma, esta sobrepressão começou a causar desgaste no diafragma do atuador da válvula globo causando vazamentos de ar comprimido, conforme Figura 34, e a danificar o prato de ferro fundido que apoia as molas. Para solução deste problema foi reduzida a pressão de alimentação do posicionador para 4,2 bar, de acordo com a Figura 35, e confeccionou-se o prato em alumínio, Figura 36.



**Figura 34 - Diafragma do atuador da válvula globo.**  
Fonte: A autoria própria.



**Figura 35 – Redução da pressão de alimentação do posicionador.**  
**Fonte: Autoria própria.**



**Figura 36 - Prato das molas do atuador.**  
**Fonte: Autoria própria.**

Além da existência de sobrepressão, percebeu-se que a pressão de alimentação possuía uma variação acentuada, apresentada na Figura 35, causada

pela reguladora de pressão e pelo filtro de ar. Para resolver este problema foi especificado um conjunto regulador e filtro, apresentado na Figura 37, que alimenta e filtra corretamente o ar comprimido para todas as 13 válvulas de controle da unidade PSA.



**Figura 37 - Conjunto regulador e filtro.**  
**Fonte: Autoria própria.**

Outro fator que contribuiu com a manutenção corretiva e preventiva foi o *backup* de configuração dos parâmetros das válvulas de controle. O tempo de calibração dos posicionadores reduziu pois a calibração automática é totalmente efetuada pelo programa PACTware e os diagnósticos continuam sendo feitos constantemente.

Após a análise dos resultados obtidos verificou-se que a estratégia adotada é adequada para o processo de diagnóstico dos problemas das válvulas de controle. O acerto do diagnóstico de falhas encontra-se em torno de 80% e o número de intervenções com a retirada da válvula para a oficina foi reduzido em 40%.

## 5.1 ATIVIDADES EM ANDAMENTO

Estão em andamento a revisão dos procedimentos de manutenção, o treinamento da mão-de-obra envolvida, a revisão dos estoques de sobressalentes e o estudo de intercâmbio das válvulas de controle.

Está sendo iniciado, também, o levantamento de alguns parâmetros que podem ser utilizados para definir o tempo ou a situação do conjunto para saber se é necessária a manutenção de segurança. Diz-se manutenção de segurança porque ela ocorre antes do conjunto válvula-atuador apresentar defeito, mas tendo atingido um nível pré-configurado pelo usuário, considerado suficiente para gerar fadiga, sujeira ou qualquer outra possível forma de deterioração no conjunto.

Iniciaram-se estudos de diagnósticos mais específicos, tais com os contadores de reversões, de batidas no fim de curso e de percurso da válvula. Estes contadores indicam uma fadiga da válvula por uso, ou seja, por repetição de movimentos e cursos completos.

O contador de reversões, também conhecido por *reversals*, indica quantas vezes o movimento da válvula mudou de sentido. Assim, é possível obter um parâmetro para prever a ocorrência, por exemplo, de fadiga dos diafragmas do posicionador e da válvula de controle. Por meio deste diagnóstico, o usuário pode configurar um valor máximo que, quando atingido, gera um alarme de reversões.

De maneira similar funcionam os contadores de batidas no fim de curso da válvula (os chamados *strokes*); e de percurso, também conhecido por *mileage* ou milhagem, com alarmes respectivos também configurados pelo usuário. O alarme de fim de curso define uma manutenção específica dos batentes da válvula, que podem ser danificados pelo excesso de uso. Já o contador de percurso indica uma fadiga de movimentação da válvula em seu percurso total.

Outro diagnóstico que pode, ainda, ser associado a estes três, é o tempo de operação do equipamento. Assim, o usuário pode planejar manutenções com base temporal e não apenas nos alarmes gerados pelo posicionador.

Outra categoria de diagnósticos, um pouco mais avançados, são aqueles associados ao desempenho de todo o sistema, ou seja, pela análise do comportamento histórico do controle da válvula. Por meio de algoritmos específicos, o posicionador possibilita ao usuário acompanhar alguns parâmetros do conjunto com o passar do tempo. Isto significa que vários dados de testes e valores de variáveis são guardados na memória do equipamento e podem ser futuramente comparados às medições recentes para comparação da performance do sistema. Dentre estes diagnósticos podem ser citados o desvio da variável primária, a assinatura da válvula e o fator de carga.



O diagnóstico de assinatura da válvula, *valve signature*, é na verdade um teste realizado com a unidade parada para não prejudicar a operação da planta. O teste se baseia em percorrer toda a extensão da válvula para adquirir as pressões necessárias para a movimentação dela (no caso de atuadores pneumáticos) e posições relativas a estas pressões, em ambos os sentidos de abertura e fechamento da válvula.

Com os dados gravados na memória do posicionador, o usuário poderá periodicamente executar o teste e comparar os dados recentes com os gravados, analisando o desempenho do sistema e podendo ser notificado da necessidade de uma manutenção.

Com uma grande gama de diagnósticos oferecida pelos posicionadores inteligentes, como os exemplos aqui citados, é necessário utilizar ferramentas de *software* que consigam auxiliar o usuário na interpretação e na análise destes.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Antes da realização dos serviços de diagnóstico utilizando o PACTware, a unidade PSA apresentava problemas e constantes paradas, com média mensal de cinco vezes. Em alguns casos a parada da unidade PSA ocorria por problemas de calibração do posicionador ou da válvula de controle.

A implantação do sistema de aquisição de dados e o entendimento dos diagnósticos gerados demandaram um período de instalação e adaptação, além do investimento na aquisição e instalação dos posicionadores ND9000 e equipamentos envolvidos na aquisição dos dados.

Após a realização da manutenção necessária, dos ajustes, das calibrações e dos novos diagnósticos foi constatado que as anomalias mais críticas foram sanadas. A realização deste trabalho permitiu a mudança de visão da forma de realizar a manutenção, o que impactou de forma positiva no processo, além da diminuição do número de paradas da unidade PSA.

Os resultados iniciais obtidos com a substituição do posicionador e a implantação do sistema de aquisição de dados apontam para o sucesso da estratégia adotada. Através de levantamento das ordens de serviços geradas por problemas nas válvulas de controle da PSA, feito no sistema de controle de manutenção (SAP), foi verificado que o número de intervenções com a retirada da válvula para a oficina reduziu 40%.

A revisão dos procedimentos de manutenção, o treinamento da mão-de-obra envolvida, a revisão dos estoques de sobressalentes e o estudo de intercâmbio das válvulas encontram-se em execução.

A utilização da tecnologia disponível no mercado contribui para a obtenção de benefícios operacionais e redução dos custos em um programa de Manutenção Preditiva. Porém, não adianta estratégia de controle avançada, algoritmos digitais e otimização do controle, se a válvula não for escolhida, dimensionada, instalada e mantida adequadamente. É muito importante a especificação correta da válvula de controle a ser utilizada em determinado processo.

Trabalhar com a utilização da ferramenta PACTware para os diagnósticos das válvulas de controle, além de todos os benefícios já citados, contribui com a diminuição dos custos e o aumento dos benefícios na área de manutenção. O

investimento realizado inicialmente retorna rapidamente com os ganhos obtidos com a eliminação das trocas desnecessárias de peças, a redução do tempo de paradas, a diminuição do número de idas ao campo dos técnicos etc.

Deve-se, constantemente, buscar as melhores práticas de gestão para qualquer processo de manutenção. Este trabalho visou identificar, respeitando as características do processo envolvido, uma nova forma de atuar na manutenção das válvulas de controle. Esta forma prevê a utilização de conceitos modernos, buscando a melhoria no processo de manutenção em válvulas de controle e investindo na atuação conjunta de equipamentos.

A utilização de técnicas preditivas atualizadas está proporcionando uma ação proativa da manutenção, maximizando a disponibilidade dos sistemas operacionais, ganhando espaço para o aumento de performance, rentabilidade e competitividade do processo de manutenção em válvulas de controle.

Como sugestão para trabalhos futuros que podem ser realizados a partir deste trabalho apresenta-se:

- Estender este sistema de aquisição de dados para outras unidades operacionais da fábrica;
- Utilizar estes diagnósticos para analisar o ciclo de vida da válvula de controle, que é o número mínimo especificado de excursões totais ou parciais que uma válvula de controle executa sem alterar seu desempenho e dentro das tolerâncias nominais;
- Analisar os fenômenos de *flashing* e cavitação das válvulas de controle utilizando os diagnósticos disponíveis no posicionador.

## REFERÊNCIAS

AGOSTINETTO, Wagner Z. **Manual descritivo do processo GP1-DS-1000**. Peróxidos do Brasil. Curitiba. Paraná. Julho 2006.

ALBUQUERQUE, Pedro U. B. de. **Redes industriais**: aplicações em sistemas digitais de controle distribuído. 2. ed. São Paulo: Ensino Profissional, 2009.

AMARAL, Alisson Nogueira. **Critérios para análise de viabilidade para manutenção preventiva em válvulas de controle em indústrias de processo**. Monografia de conclusão do curso de especialização em automação industrial do Departamento Acadêmico de Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

BEGA, Egídio Alberto. **Instrumentação industrial**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

CRUZ, Flávio Eduardo da. Produção de hidrogênio em refinarias de petróleo: avaliação exergética e custo de produção. **2010. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)** – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010 – edição revisada.

DIAS, Carlos Alberto. **Técnicas avançadas de instrumentação e controle de processos industriais**: ênfase em petróleo e gás. 2. ed. Rio de Janeiro: Technical Books, 2012.

FDT. **FDT technology, what is it?** Disponível em: <<http://www.fdtgroup.org/fdt-technology-what-it>>. Acesso em: 01 ago. 2015.

FERRO, Rodrigo M. **Automação de um sistema móvel de diluição de peróxido de hidrogênio**. 2006. 35f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de especialização em Automação Industrial) – Departamentos Acadêmicos de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

FILHO, Constantino Seixas. **Introdução ao protocolo HART**. Universidade Federal de Minas gerais. Departamento de Engenharia Eletrônica. Disponível em: <<http://www.cpdee.ufmg.br/~seixas/PaginaSDA/Download/DownloadFiles/Hart.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2015.

FISHER. **Manual de instruções formulário 5338**. Válvula de borboleta de alto desempenho tipo A11. 2007. Disponível em: <[http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/public/documents/instruction\\_manuals/d500073x0pt.pdf](http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/public/documents/instruction_manuals/d500073x0pt.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2015.

GURY, Carlos Guilherme L. **Compensação de atrito em válvulas de controle**. Dissertação de mestre em engenharia da Escola Politécnica de universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

HARTCOMM. **Como o HART funciona**. Disponível em: <[http://pt.hartcomm.org/hcp/tech/aboutprotocol/aboutprotocol\\_how.html](http://pt.hartcomm.org/hcp/tech/aboutprotocol/aboutprotocol_how.html)>. Acesso em 01 jul. 2015.

ICS. **PACTware ferramenta de configuração para automação de processos**. Disponível em: <[http://www.icsgmbh.com/english/PACTware\\_download.htm](http://www.icsgmbh.com/english/PACTware_download.htm)>. Acesso em: 18 jul. 2015.

IMPAC. **Conversor RS485 / RS422 / RS232 isolado IP - 7520**. Disponível em: <<http://www.impac.com.br/conversor/rs485-rs422-rs232/rs485-7520-7520a.htm>>. Acesso em: 18 ago. 2015.

LINDE. **Manual de operação PSA**. Curitiba. Maio 1997.

MATHIAS, Artur C. **Válvulas**: industriais, segurança, controle. São Paulo: Artliber, 2008.

MECATRÔNICA ATUAL. **Válvulas de controle**. Disponível em: <<http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/1186-vlvulas-de-controle>>. Acesso em: 20 jul. 2015.

NETO, Derville Pires C. **Manual de operação e projeto unidade de reforma de gás natural. Procedimento CT-GP1-PN-002**. Setor de Produção. Curitiba. Dezembro 1996.

NELES. Posicionador ND9000. 2006. **Manual de instruções e montagem**. Disponível em: <<http://valveproducts.metso.com/neles/IMOs/pt/7ND9071pt-BR.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2015.

PACTWARE. **What is PACTware?** Disponível em: <<http://www.pactware.com/en/products/pactware.html>>. Acesso em: 01 fev. 2015.

PAIOLA, Carlos Eduardo G. **Técnicas intrusivas de atrito em válvulas de controle**. Dissertação de Mestre em Engenharia Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

PETROBRAS. **Instrumentação aplicada**. Rio de Janeiro: Petrobras, 2003.

RODRIGUES, Aislan T. **Redes industriais, protocolo de comunicação HART**, Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Engenharia de Computação) – Faculdade Novo Milênio, Vila Velha, ES, 2010

SILVA, Osmar José. **Válvulas industriais**. Petrobrás. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2008.

SIQUEIRA, Iony P. de. **Manutenção centrada na confiabilidade**: manual de implementação. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

SMAR. **Tutorial HART**. 2013. Disponível em: <<http://www.smar.com/brasil/hart>>. Acesso em: 20 mai. 2015.

VASCONCELOS, Nice de. **Reforma a vapor do metano em catalisadores à base de níquel promovidos com nióbia**. Dissertação (Pós-Graduação em Química) - Universidade Federal Fluminense. Niterói, julho 2006.

VEGA. **Manual de instruções PACTware/DTM collection**. Disponível em: <<http://www.vega-america.com/downloads/BA/28243-PT.pdf>>. Acesso em: 01 fev. 2015.

VENCESLAU, Allan Robson S. **Detecção e diagnóstico de agarramento em válvulas posicionadoras**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia elétrica e Computação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN, dezembro 2012.