



INSTRUMENTOS  
INSTRUMENTOS

# 7º Seminário de Instrumentação

9 a 13 de agosto de 1987  
Rio de Janeiro

## Instrumentação

“A Contribuição da Instrumentação para a Segurança Humana”

Patrocínio



Instituto Brasileiro de Petróleo

Comissão de Instrumentação

oio

IPq

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico



## 7.º SEMINÁRIO DE INSTRUMENTAÇÃO

### SISTEMA DE SEGURANÇA

#### EM DUTOS DE TRANSFERÊNCIA

Glauco Rogério Cugler Fiorante <sup>1</sup>

Emílio Vicente Hoehne <sup>2</sup>

#### RESUMO

O transporte de materiais é fator altamente relevante no desenvolvimento de um país. Matérias-primas são retiradas de suas fontes naturais devendo ser transportadas aos centros de transformação e adaptação de onde vão produtos acabados aos centros consumidores. Vias hidroviárias, ferroviárias, rodoviárias são altamente difundidas. Não menos importante mas praticamente invisível aos olhos, os dutos de transferência também participam com grande parcela, notadamente entre Complexos Industriais diversos. O presente trabalho demonstra os aspectos de análise, desenvolvimento e implantação de um Sistema de Instrumentação Eletrônica dedicada à monitorização e segurança de dutos de transferência de produtos químicos.

#### ABSTRACT

The transportation of raw materials is a highly important factor in the development of a country. Raw materials are taken from natural resources and their transportation is led to refinement and manufacturing plants whose manufactured products are sent to customers's disposal. Means of transportation such as steamboating, railways and turnpikes are usually used. Nevertheless, other means of transportation are used such as underground pipes which links some industries and take a great parcel of usage nowadays instead of other common ones. This subject gives a demonstration of all types of analysis, development and enhancement of Electronic Instrumentation Systems dedicated to the monitoring and safety of all pipes used in transportation of chemical materials.

1 Técnico em Instrumentação e Eletrônica, Instrumentista I do Setor de Instrumentação da ULTRAFÉRTIL S/A - Indústria e Comércio de Fertilizantes.

2 Técnico em Instrumentação, Técnico de Manutenção até 1 986 do Setor de Instrumentação da ULTRAFÉRTIL S/A - Indústria e Comércio de Fertilizantes.



## 1. INTRODUÇÃO

Cubatão, maior exemplo de um dos muitos Parques Industriais existentes e em desenvolvimento no Brasil, apresenta a existência de vários dutos, o transporte e o armazenamento de produtos perigosos.

Muito se tem indagado sobre a manutenção destes dutos e sobre a existência de medidas ou ações de segurança quanto a transferência destes materiais.

O que se observa de concreto é a frequência com que vem ocorrendo acidentes ambientais nos últimos dez anos no Brasil, especialmente no estado de São Paulo (Tabelas 1 e 2), demonstrando que os sistemas de controle e prevenção, quando não inexistentes, não são adequados.

---

Acidentes Ambientais no Estado de São Paulo- Janeiro/78 a Abril/85

---

Tabela 1 - Fontes Geradoras

Número de Acidentes

Navios Petroleiros	31
Dutos	18
Caminhões	16
Outros navios e embarcações diversas	14
Terminais e indústrias	6
Outros	5
TOTAL	90

---

Tabela 2 - Causas

Número de Acidentes

Falha Mecânica	33
Falha Operacional	22
Acidentes Rodoviários	16
Fenômenos Naturais	4
Outros	15
TOTAL	90

---

Fonte: GOE - Gerência de Operações Especiais/CETESB/85

## 2. OCORRÊNCIA

Apesar das constantes preocupações com o meio ambiente e das ações para preservação do mesmo, a Ultrafértil foi atingida pelo rompimento do dutosubterrâneo que transfere amônia entre seus dois complexos em Cubatão. Tal ocorrência se deu em 25/01/85, devido assentamento do terreno nas imediações do duto, após fortes chuvas que caíram na região.



Para se ter uma idéia do que poderia ter ocorrido, uma emissão eventual de 30 toneladas de Amônia Líquida "Quente" à atmosfera (ou um vagão de trem) equivaleria a  $39.530 \text{ m}^3$  de amônia gás ou a cobertura de 1 m de um quadrado de 200 m de aresta!

Sendo a amônia um gás tóxico e corrosivo, seus efeitos biológicos mais importantes são: irritação das vias respiratórias altas (garganta e nariz) e probabilidade de queimaduras quando em contato com a pele. Sua inalação acima dos limites de tolerância permissíveis (25 ppm) pode causar tosse, edema pulmonar, bronquite crônica e até a morte (500 ppm)!

### 3. CONCEITOS BÁSICOS

#### 3.1. Acidente Ambiental (1)

A liberação de poluentes para a atmosfera pode ocorrer através de emissões ordinárias e/ou eventuais. As primeiras são aquelas que ocorrem no dia a dia, rotineiras, como, por exemplo, o vapor que sai, regularmente, de uma fábrica. As emissões eventuais podem ser o resultado de atitudes intencionais ou involuntárias, estas previsíveis ou não.

Porém, qualquer emissão de poluentes para o meio ambiente pode causar acidentes ambientais, desde que cause danos no ambiente ou à população.

#### 3.2. Situação de Risco

O risco é a probabilidade de ocorrência de um evento. No nosso caso o risco é a probabilidade da ocorrência de um acidente ambiental onde medidas de segurança devem ser tomadas para redução de seu valor. Os dutos subterrâneos apresentam grande risco devido às dificuldades de sua inspeção periódica e susceptibilidade às ações da natureza.

#### 3.3. Situação de Perigo

É aquela na qual existe uma população próxima a fábricas, a sistemas de dutos, de transportes ferroviários e rodoviários de produtos químicos. Nesta situação tomam-se medidas de combate e emergência para reduzir a intensidade do acidente.

Por exemplo, a Vila Parisi localizada a leste de Cubatão situa-se exatamente no centro de cinco Complexos Industriais. Enquanto a Defesa Ci-



vil promove treinamentos de evacuação da área, a Prefeitura está atualmente transferindo aos poucos seus habitantes a outra vila em construção.

### 3.4. Situação de Emergência

Uma situação de emergência é aquela onde os efeitos de uma liberação são imediatos, ou seja, numa situação de emergência os danos da emissão estão ocorrendo. É o acidente ambiental ocorrendo e trazendo prejuízo à população ou ao meio ambiente. Em nosso caso, a amônia desprendida causou a "queima" e morte da vegetação próxima ao rompimento e vários casos de irritação pulmonar em habitantes da Vila Parisi.

### 4. PROVIDÊNCIAS

Baseando-se nas estatísticas oficiais de Acidentes Ambientais, experiência própria em uma Situação de Emergência ocorrida em fevereiro de 1985 e a Situação de Perigo da Vila Parisi, a direção da ULTRAFÉRTIL decidiu atuar para a redução da Situação de Risco não só do Amonioduto, a curto prazo, mas também nos demais dutos subterrâneos da empresa, a médio prazo, após resultados e conclusões nas experiências do primeiro.

### 5. LOCALIZAÇÃO DE NOSSOS DUTOS DE TRANSFERÊNCIA

O Complexo Industrial da ULTRAFÉRTIL em Piaçaguera (PG), São Paulo, é composto pelas seguintes unidades fabris:

- Unidade de Ácido Sulfúrico	850,7	t/d
- Unidade de Ácido Fosfórico	196,6	t/d
- Unidade de Ácido Nítrico	435,9	t/d
- Unidade de Nitrato de Diamônio	535,8	t/d
- Unidade de DAP	422,5	t/d
- Unidade de Fertilizantes Líquidos	43,0	t/d

A Unidade de Amônia ( $\text{NH}_3$ ) produz 381,9 t/d totalmente consumidas internamente pelas quatro últimas unidades citadas.

Como unidades de apoio tem-se a Unidade de Utilidades e a Unidade de Tratamento de Efluentes Industriais.

Observando-se o mapa demonstrativo da figura 1, nota-se externamente ao Complexo o recebimento das matérias-primas Gás de Refinaria, oriunda da Refinaria "Presidente Bernardes" em Cubatão (R.P.B.C.), e Amônia líquida

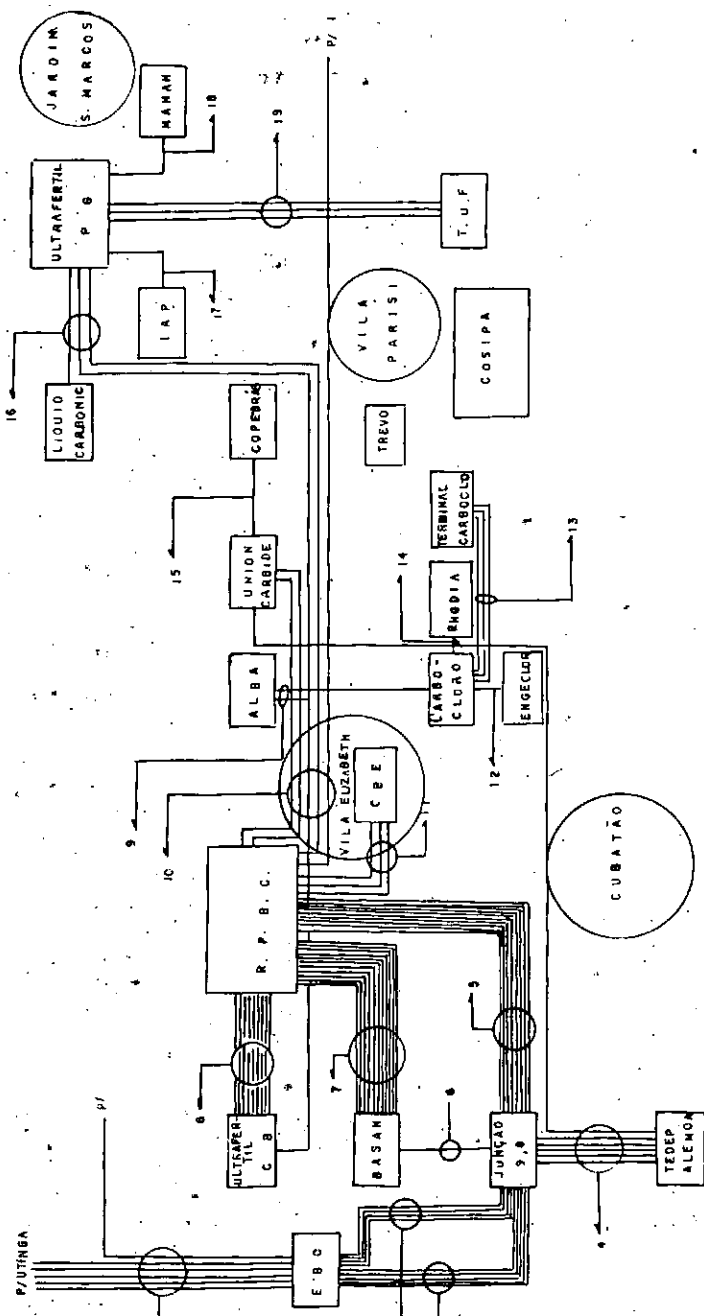


Figura 1 - Interligações dos sistemas de dutos do Parque Industrial de Cubatão



Nº	Identificação	Fluido	Ø (pol.)	Extensão (m)	Q (t/h)(Kgf/cm <sup>2</sup> )	P	T (°C)
	Liquid Carbonic	Gás Carbônico	16	---	14	0,35	37
16	R.P.B.C. - Ultrafertil PG	Gás de Refinaria	10	6500	15	13,5	35
17	Ultrafertil PG - Ultrafertil CB	Amônia	3	7750	12	15	15
17	Ultrafertil PG - IAP	Amônia	3	550	6	15	15
18	Ultrafertil PG - Manah	Amônia	3	440	8	15	15
19	Terminal UF - Ultrafertil PG	Amônia	6	5650	66	14	-28
19	Terminal UF - Ultrafertil PG	Águas	12	5650	--	7,5	Amb.
19	Ultrafertil PG - Terminal UF	Águas residuais		5650	227	7,5	Amb.

Tabela 3 - Características dos dutos da ULTRAFÉRTIL - PG



da, vinda do Terminal Marítimo da Ultrafértil (TUF). A amônia armazenada tem sua utilização complementar no Complexo, distribuição à outra empresa do Grupo Ultrafértil (FAFER-CB) e a clientes do Parque Industrial de Cubaão, Manah e IAP, todos através de dutos subterrâneos.

As características dimensionais destes dutos são demonstradas na tabela 3.

## 6. SISTEMA PRIMITIVO DE CONTROLE

O controle operacional original previa o registro da vazão, indicador de pressão e válvula manual de regulagem, instalados no campo. O sistema era controlado no campo por um operador de tempo parcial. Existia também uma PSV instalada junto da esfera de estocagem da FAFER.

## 7. PROJETO INICIAL

### 7.1. Descrição

A pressão normal de operação, à montante da estação de controle, seria de  $25 \text{ Kgf/cm}^2$ , mantida pela PCV 8626 localizada na linha de retorno do TK 7802.

Demonstrado na figura 2, o projeto previa o acionamento de uma válvula de controle de características efetiva linear (FCV-8903), através de um controlador indicador manual (HIC-8903) senão que a válvula seria calibrada com supressão de zero de maneira que o sinal de vazão real fôsse sempre em torno de 10 % menor que o sinal do HIC.

Estes dois sinais do HIC e vazão correspondente entrariam em um relé subtrator (FY-8903) de tal maneira (HIC - Vazão) que quando os dois sinais fossem iguais, indicando um aumento de fluxo de 10% não originado do HIC, a saída do relé assumiria seu valor mínimo, acionando o sistema elétrico que fecharia a válvula interrompendo automaticamente o fluxo.

Para a malha de pressão foram previstos dois pressostatos para sinal alto e sinal baixo. O de baixa pressão deveria ser atuado quando em casos de linha parada, ocorresse uma depressurização. O de pressão alta para proteger contra sobrepressões o sistema.

### 7.2. Inconvenientes

Na colocação do sistema em operação foi comprovado que variações de temperatura ambiente (Duto de 7750 m sem isolação térmica) provocam flu-



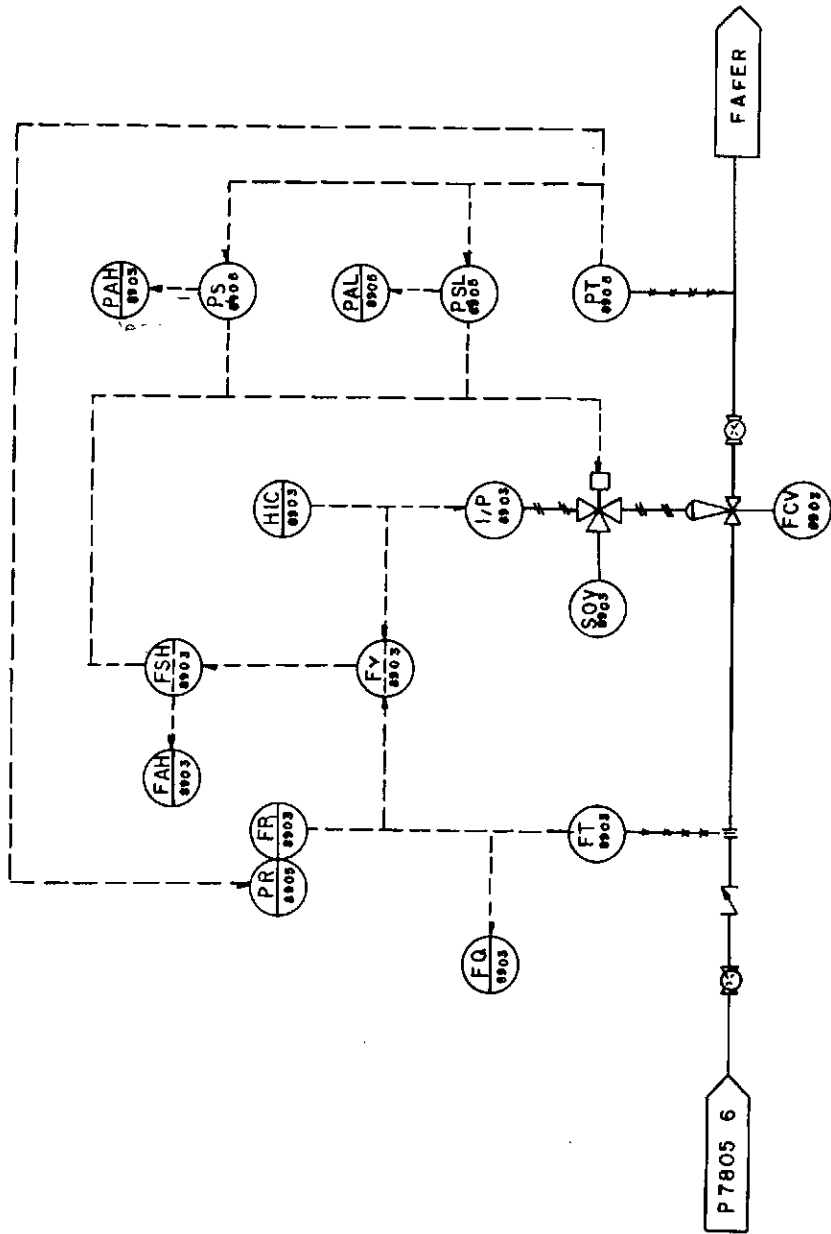


Figura 2 - Sistema de Segurança em seu princípio básico.



tuações na pressão da linha de transferência. Somado a isto, tem-se a variação da pressão no tanque de recebimento da UF-CB conforme seu consumo e, principalmente, a variação da pressão na montante da estação de controle, uma vez que, da mesma distribuição das bombas de alimentação saem o carregamento de caminhões (20 t/h) e vagões (10 t/h).

Estas variações de pressão provocavam alterações na curva de calibração da válvula (relação abertura X vazão) para mais ou para menos dos 10% previsto, o que tornava o sistema de operação difícil e ineficiente.

## 8. PROJETO APRIMORADO

### 8.1. Descrição

Para as flutuações de pressão interna à UF-PG (32 Kgf/cm<sup>2</sup> a 25 Kgf/cm<sup>2</sup> para o consumo total de 10 t/h a 90 t/h), foi recalculada a PCV 8626 alterando-se suas características:

	Anterior	Atual
Ø	1 1/2"	2"
Sede	1"	2"
Ação	linear	= %
CV	13	46

No entanto, a principal modificação efetuada na malha foi a eliminação, no relé subtrator FY-8903-A, do sinal do HIC-8903 e injeção nos dois lados do referido relé, sinais que dependem exclusivamente da vazão, re-presentando a real e o novo set-point desejado de shut-down (5% superior) este ajustado automaticamente na operação inicial de controle.

Nesta configuração (Figura 3) ficou garantida uma melhor estabilidade da malha e a precisão superior exigida (5%).

No entanto, esta configuração só seria possível com a memorização do valor inicial de vazão, recorrendo-se então à Instrumentação Eletrônica para elaboração, projeto e testes de um "capacitor ideal".

Este completo processo de desenvolvimento, desde sua proposta inicial até instalação no painel, consumiu dois meses de trabalho contínuo e cujas características são analisadas posteriormente no item 9.

### 8.2. Funcionamento

#### 8.2.1 Sistema de Vazão

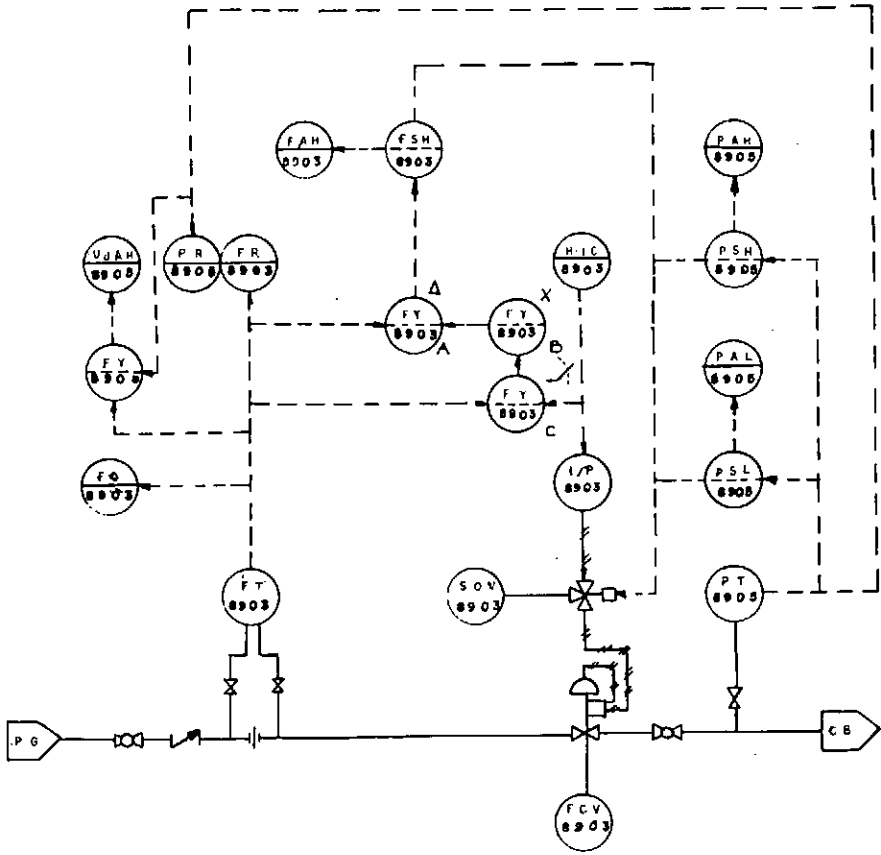


Figura 3 - Sistema de Segurança com memorização digital.



Vamos assumir a condição de bombeamento normal. Quando houver a necessidade de se alterar a vazão, o operador aciona o botão de variação de sinal de saída do HIC-8903, o que provocará o fechamento da "Chave Eletrônica Temporizada" (FY-8903-C), composto por um circuito interno de memória digital, para receber a informação de um novo set-point da vazão. Este ato também acende um LED indicador de que o circuito memorizador está em aberto, permitindo durante um certo período de tempo (15 s) a estabilização do sistema.

Passado este período de tempo, a "Chave Eletrônica" do sistema se abre, apagando o LED e informando que o novo valor de vazão já foi memorizado e só irá se alterar através do procedimento anterior.

Este sinal memorizado passa por um relé multiplicador (FY-8903-B) de ganho ajustável (no caso, 1,05), indo a seguir para o relé subtrator FY-8903-A, já mencionado no projeto inicial.

A partir daí, o funcionamento do sistema é o mesmo, sendo que ficou garantida a condição de se ter nos dois lados do relé subtrator FY-8903-A sinais dependentes apenas da vazão.

Para qualquer aumento de vazão independente da alteração do HIC pelo operador (ajuste de novo set-point) o sistema de memorização não é acionado e se esta alteração passar o valor dado pela saída do relé multiplicador FY-8903-B, o sistema automaticamente para a transferência fechando a válvula FCV-8903.

#### 8.2.2. Sistema de pressão

A malha de pressão continua a mesma do projeto inicial pois o mesmo se mostrou satisfatório. Os sets foram ajustados em  $25 \text{ Kgf/cm}^2$  para pressão alta (PSH-8905) e  $7,0 \text{ Kgf/cm}^2$  para pressão baixa (PSL-8905).

#### 8.2.3. Sistema de comparação

Um sistema adicional de alarme também foi instalado para comparação da atuação da pressão e vazão da malha.

Trata-se basicamente de um comparador temporizado da variação de sinais, baseado em eletrônica linear e lógica. Neste, se a variável pressão sofrer qualquer alteração para mais ou para menos sem alteração equivalente da variável vazão, decorrido um intervalo de tempo é acionado um alar-



me sonoro, alertando o operador desta condição.

## 9. ESTAÇÃO DE MEMORIZAÇÃO CD-12

### 9.1. Histórico

A idéia básica do circuito eletrônico vem da própria configuração da malha de segurança. Um circuito sensor deve "perceber" a variação do sinal de saída do HIC e ativar uma "chave" temporizada que permita a entrada do sinal de vazão a um "capacitor ideal".

Inicialmente foram testados circuitos tradicionais de chaveamento e "buffers" em capacitores de poliéster e eletrolíticos, não obtendo-se êxito devido à descarga dos mesmos através da corrente de fuga inerente. Isto sem contar que o período de armazenagem quando em operação seria praticamente indeterminado (2 horas ou 2 dias).

Circuitos de "refresh" não poderiam ser utilizados, pois tratava-se de um valor analógico linear e não digital (2).

A única solução, portanto, seria a utilização de um conversor Analógico/Digital para acoplar o sinal de entrada a memórias digitais cujas saídas seriam novamente convertidas em um circuito Digital/Analógico na saída

### 9.2. Diagrama em blocos

A figura 4 apresenta um diagrama dos cinco blocos principais do instrumento. A fonte de alimentação à parte tem duas saídas simétricas de  $\pm 12$  Vdc, dedicadas aos amplificadores operacionais, e uma saída com "driver" de + 5 Vdc aos integrados de conversão e memória.

No bloco de entrada (BL-1) o sinal de vazão padronizado de 1 a 5 Vdc chega a um amplificador operacional na configuração "buffer". Sua função é a de isolar o sinal de entrada do circuito interno. Apresenta então impedância de entrada de 1 M e ganho unitário não-inversor.

O conversor Analógico/Digital consta de um circuito integrado da RCA de tecnologia TTL (3). Apresenta entrada diferencial com impedância de 180 M, conversão por dupla rampa, relógio de cadência interna, saídas em BCD ("decimal codificado em binário") multiplexadas, ou seja, os quatro bits correspondentes aos algarismos 0 a 9 (Decimal) alternam-se sincronizados com as saídas de comando da unidade, dezena e centena. Sua faixa de

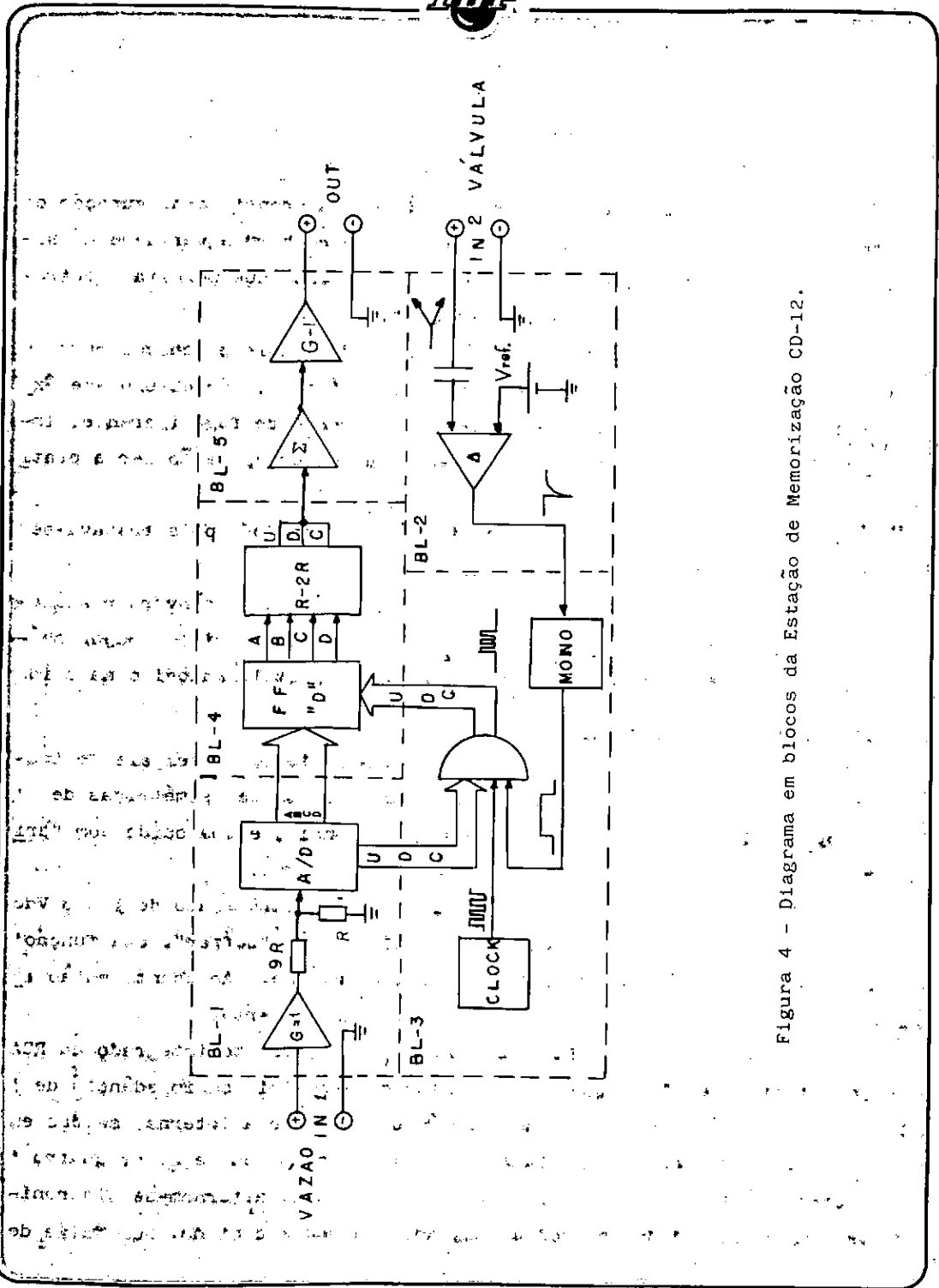


Figura 4 - Diagrama em blocos da Estação de Memorização CD-12.



signal de entrada de - 99 mV a + 999 mV confere a este estágio uma resolução de 1 mV, ou seja, precisão de 0,25% do sinal de vazão.

No bloco de disparo (BL-2) está o circuito sensor da variação do sinal do HIC. Nesta configuração, dois amplificadores operacionais são mantidos saturados em +Vcc através de uma pequena referência em suas entradas inversora e não inversora, respectivamente. Desse modo, se a tensão de entrada subir ou descer, esta variação, acoplada por um capacitor, fará um dos dois amplificadores saturar negativamente, disparando o bloco seguinte.

No bloco de temporização (BL-3) existe um C.I. 555 na configuração de monoestável (4) que libera os sinais de comando (e conseqüentemente a admissão de dados) do conversor A/D às memórias do bloco seguinte, através de pulsos de clock fornecidos por outro 555 na configuração astável (2 KHz).

No bloco de memórias (BL-4) localizam-se 12 flip-flops tipo "D" (2) que armazenam os 12 bits referentes aos três dígitos significativos da tensão de entrada. O binário multiplexado vindo do conversor chega às entradas de memória e só irão passar e permanecer nas saídas quando do sinal de clock composto vindo do circuito de temporização. Neste mesmo bloco, nas saídas dos flip-flops estão três malhas R-2R de conversão Digital/Analógica (5).

No bloco de saída (BL-5) existe um amplificador operacional na configuração somador inversor (6). Os três sinais analógicos em escada são então somados com pesos 1, 0,1 e 0,01 de modo a dar-se ao sinal uma boa linearidade. Este sinal é então buferizado à saída por outro amplificador operacional inversor de ganho unitário.

### 9.3. Manutenção

O desenvolvimento deste projeto visou não só os objetivos propostos, dentro da precisão exigida, como também a facilidade de montagem e provável manutenção, especialmente em tratando-se de um protótipo.

Orgulha-nos ostentar, não só uma montagem qualificada, como também a operação do instrumento por um período de mais de um ano sem problemas eletrônicos (Figura 5).

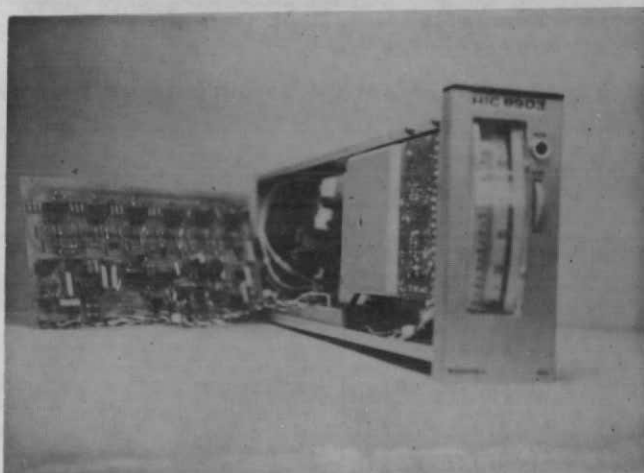


Figura 5 - Estação de Memorização CD-12

Como exemplos de dispositivos dedicados à manutenção, descrevem-se a seguir as características físicas de cada bloco.

No bloco de entrada, esta pode ser simulada por um trim-pot interno, apenas soldando-se um "jumper" de serviço. Pontos de teste estão instalados na saída e entrada da malha divisora para seu ajuste e verificações.

No bloco de temporização, os osciladores são interligados por jumper de serviço podendo então ser testados independentes uns dos outros.

No bloco de memórias, LED's estão interligados às saídas, havendo a imediata visualização dos bits armazenados. Uma chave de serviço também pode fazer com que as saídas assumam "000" ou "500" para calibração do próximo bloco.

No bloco de conversão D/A, a malha R-2R possui jumpers de serviço ao terra a fim de ajustar-se o off-set e zero do somador.

Todos os circuitos integrados são soquetados, os trim-pots são multi-voltas e os resistores de metal-filme de 1 %.

A placa de circuito impresso (P.C.I.) é ilustrada na figura 6.



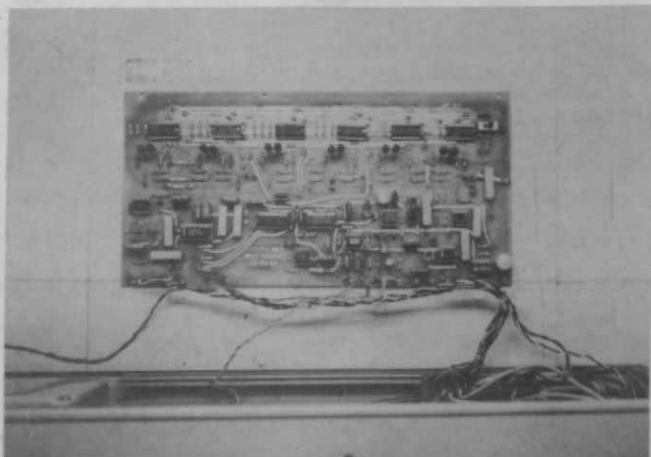


Figura 6 - P.C.I. desenvolvida em nosso Laboratório de Instrumentação Eletrônica.

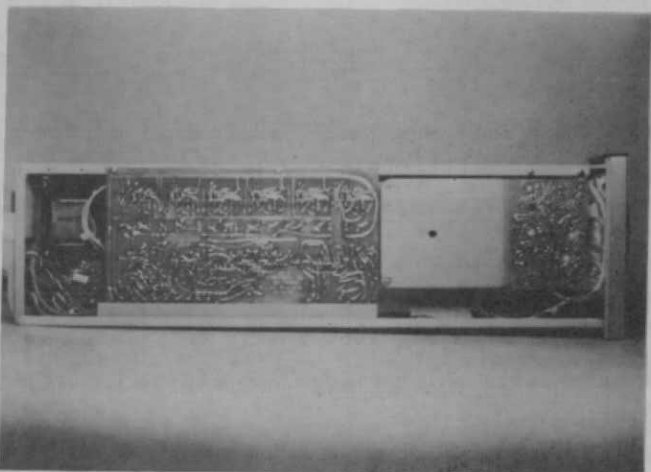


Figura 7 - Placa de circuito impresso instalada no HIC-8903.

#### 9.4. Instalação

Em se tratando de um protótipo, o mesmo teria de ser adaptado elétrica e mecanicamente aos instrumentos existentes no painel. A solução encontrada foi a instalação do circuito eletrônico no interior do próprio instrumento (HIC-8903) cujo espaço era suficiente (Figura 7) para o projeto da P.C.I. Os terminais extras, de entrada do sinal Vazão e saída do sinal memorizado, do bloco de ligações traseiro, foram confeccionados por nossa própria tornearia.



## 10. RESULTADOS

Após testes laboratoriais, comprovou-se a precisão melhor que 1% da Estação de Memorização já em vias de aperfeiçoamento.

O Sistema de Segurança tem apresentado operação satisfatória e precisa. Tanto que, um efeito de carga inverso na montante, ou seja, a parada brusca do carregamento de caminhões e/ou vagões ocasiona o aumento de pressão e vazão instantânea no duto, a ponto de ocorrer o shut-down do mesmo.

## 11. PERSPECTIVAS

Acompanhando o atual desenvolvimento da Companhia na implantação de tecnologia microprocessada em diversas unidades, a Ultrafértil-PG, através de seu Setor de Instrumentação, mantém atualmente contato com uma empresa fornecedora de "Single-Loops" para adaptação, compactação e implantação efetiva deste Sistema de Segurança em todos os seu dutos de transferência!

## 12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) FERREIRA, Regina Brito. Acidentes Ambientais, Cubatão, 10 (1985), Gerência de Apoio a Treinamento e Divulgação, 32 p.
- (2) Taub, Herbert, Circuitos Digitais e Microprocessadores. São Paulo, Mc Graw-Hill do Brasil, 1984. 510 p.
- (3) Braga, Newton C. Construa seu próprio Voltímetro Digital. Revista Saber Eletrônica. São Paulo, 156: 10-17, out. 1983.
- (4) Malvino, Albert Paul. Eletrônica. São Paulo, Mc Graw-Hill do Brasil 1986. 804 p..
- (5) Lancaster, Don. C-MOS COOKBOOK. Indianápolis, Woward W. 1978. 414 p.
- (6) Berlin, Howard M. Projetos com Amplificadores Operacionais. São Paulo, Editora Técnica Eletrônica Ltda, 1983. 231 p.

## AGRADECIMENTOS

A todos que, direta ou indiretamente, colaboraram de alguma forma para a realização deste projeto, sua divulgação e o alcance de nosso objetivo final, o desenvolvimento e bem-estar do Homem em pleno equilíbrio com a Natureza.