Dissertação de Mestrado

.

DISPOSITIVOS DE MEDIDAS PARA MONITORAMENTO E CONTROLE DE PERDAS EM LINHAS DE RECUPERAÇÃO DE GÁS HÉLIO E SISTEMAS DE CRIOGENIA

Francisco de Assis Pereira França

centro brasileiro de pesquisas físicas

Rio de Janeiro, junho de 2006

Dissertação submetida à Coordenação de Formação Científica como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Instrumentação Científica

Orientador

Geraldo Cernicchiaro

Ao meu pai Antônio de Almeida França (in memoriam) e
minha mãe Maria Pereira França.

Agradecimentos

A Deus. Aos meus pais. À minha esposa Soraya, companheira e cúmplice. Aos meus tios França e Solange, que sempre me apoiaram desde os primeiros momentos da graduação. Ao meu orientador prof. Geraldo Cernicchiaro, pela sugestão de trabalho, pela confiança de que as dificuldades e limitações poderiam ser superadas, pela compreensão e pelas chamadas à realidade, enfim por sua orientação. Ao colega engenheiro Alexandre Mello, por suas sugestões e esclarecimentos técnicos sobre detecção de oxigênio e criogenia. Aos técnicos do Laboratório de Criogenia, pelo apoio. À profª. Eliane Wajnberg por acolher nossa proposta de trabalho e gentilmente possibilitar os testes do Detector de Fuga no Laboratório de EPR. Ao professor Alexandre Rossi pela ajuda para a realização dos testes do Detector de Fuga no Laboratório de Biocerâmica. Ao prof. Alberto Passos, pelo apoio e empenho pessoal à nossa proposta de trabalho. Aos professores do curso de mestrado em instrumentação, por proporcionarem uma nova forma de analisar os problemas. Ao prof. Romeu Abraão, amigo e primeiro grande incentivador. Aos colegas de Muriaé, Sara, Érica e Lula, por todo o companheirismo. Aos amigos Ismar Russano e Gabriel Azzi, pelas trocas de informações no desenvolvimento eletrônico do protótipo. Aos colegas do laboratório, Marcelo Perantoni, Erick Ortiz, Rafael Barmak e Jaime Mesquita, pelo apoio, trabalhos que realizamos juntos e pela amizade que irá perdurar além da tese. Ao CBPF, ao CNPq e MCT, que possibilitaram a realização deste trabalho.

Resumo

Neste trabalho apresentamos resultados diretos do estudo da infra-estrutura de criogenia do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF). O primeiro deles foi o desenvolvimento de um dispositivo de detecção indireta de vazamento de gás hélio. O princípio de funcionamento baseia-se na percepção da contaminação do gás pelo oxigênio (presente no ar atmosférico), cujas moléculas se difundem através do hélio quando da existência de fuga do mesmo. São apresentadas as etapas de sua implementação experimental nos Laboratórios de Instrumentação e Medidas (LIM) e de Ressonância Paramagnética Eletrônica (EPR).

O bom desempenho do dispositivo detector, e sua originalidade na monitoração da contaminação de hélio gasoso pelo oxigênio, possibilitaram efetuar o depósito do pedido de patente para o Dispositivo Detector de Vazamento de Gás Hélio por Via Indireta. A solicitação analisada e aceita pelo Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), foi protocolada com o registro PI 0403515-1, com apoio do Serviço de Suporte à Propriedade Intelectual e da Procuradoria Jurídica do CNPq.

Como segundo resultado, descrevemos o processo de adaptação de um medidor de gás comercial para sua utilização na determinação do volume total de hélio recuperado e apresentamos subsídios para o projeto de um sistema de monitoração e recuperação de gás hélio, como contribuição ao sistema de gerenciamento da utilização de hélio do CBPF.

São também apresentados os gráficos com as curvas de caracterização, calibração e atuação para os dispositivos desenvolvidos, bem como detalhes construtivos, manual de utilização e um roteiro com os procedimentos necessários para que sejam cumpridas todas as exigências para o protocolo final de um depósito de pedido de patente junto ao INPI.

Abstract

In this work are presented the results of the studies of the cryogenic system of the Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF). The first of them was the development of a helium leak detection indirect system. The operation principle is based on the perception of the contamination of the gas with oxygen (present in the atmospheric air), which contaminates the helium when there is a leak in it. The experimental implementation of the device in the Laboratories of Instrumentation and Measurements (LIM) and of Electron Paramagnetic Resonance (EPR) is also presented.

The good performance of the detector device, and its originality in the monitoring of the contamination of helium with oxygen of the atmospheric air, has originated the deposit of the patent request for the Gas Helium Leak Detector Device by Indirect Way with the INPI. The request accepts for the INPI, is registered with PI 0403515-1.

The second resulted is the description the process of adaptation of commercial gas meter to be used in the determination of the total volume of the recovered helium and the addition to the proposal of a project presenting a monitoring system and recovery of helium utilization in CBPF.

Graphics with the characterization, calibration and performance curves and the constructive details, a technical manual of device procedure and the patent request are included.

Índice

Dedicatória iii
Agradecimento iv
Resumo v
Abstract vi
Índice vii
Lista de Figuras x
Lista de Tabelas xiv

Introdução **1**

1 Distribuição e Recuperação de Gás Hélio **5**
1.1 Características Principais do Hélio 6
1.2 Distribuição e Recuperação de Hélio no CBPF 8
1.3 Detecção de Gás Hélio 17
1.3.1 Método do Fluxo Direto 17
1.3.2 Método do Fluxo Contrário 18
1.3.3 Detectores com ponta de prova *Sniffer* 18
1.3.4 Espectrometria de Massa (Célula de Detecção) 18
1.3.5 Sistema de Bombeamento 22
1.4 Conclusão 24

2 O Detector de Fuga **25**
2.1 Difusão e Efusão de Gases 26
2.2 O Sensor de Oxigênio 27
2.3 Princípio de Funcionamento do Sensor de Oxigênio 28
2.4 O Circuito do Detector 31
2.5 O Sistema de Aquisição de Dados 35
2.5.1 Módulo de Amplificação 37
2.5.2 Módulo de Filtragem 37
2.5.3 Módulo de Conversão 38
2.5.4 Programa de Aquisição 40

2.6 Testes e Calibração do Detector 41
2.6.1 Testes de Caracterização de Resposta 41
2.6.1.1 Medidas Experimentais Realizadas 44
2.6.2 Sensibilidade à Contaminação 47
2.6.2.1 Medidas Experimentais Realizadas 48
2.6.3 Medidas com Gás de Mistura Certificada 51
2.7 Detalhes Construtivos 52

3 Caracterização do Sistema de Detecção de Fuga 58
3.1 Programa de Aquisição 61
3.2 Parâmetros Obtidos 64
3.2.1 Medidas nos Laboratórios de Instrumentação e Medidas e de EPR .. 65
3.2.2 Determinação dos Parâmetros 67
3.3 Monitorando a Linha de Recuperação 69
3.3.1 Programa de Monitoração 70
3.3.2 Monitoração no Laboratório de Instrumentação e Medidas 72
3.3.2.1 Processos de Manutenção do Sistema do Criostato 72
3.3.2.2 Processo de Transferência de Hélio Líquido 75
3.3.2.3 Manipulação de Amostras 78
3.3.3 Monitoração no Laboratório de EPR 79
3.3.3.1 Execução de Medidas a Baixas Temperaturas 80
3.3.3.2 Atuação do Alarme 81

4 Sistema de Monitoração 84
4.1 Medidor G6-LAO modificado 85
4.2 Módulo Eletrônico de Contagem 86
4.3 Programa de Totalização 89
4.4 Testes e Calibração 90
4.5 Medidas Realizadas e Avaliação 90
4.6 Projeto de Monitoração e Recuperação de Hélio 91
4.6.1 Programa de Controle 94

Conclusão 101

Bibliografia **104**

Apêndice **107**

A Processo de Patente do Detector de Vazamento de Hélio 107

B Instrumentação Virtual ……..... 111

C Manual Técnico de Operação do Detector de Vazamento de Gás Hélio..... 118

D Interface de Comunicação Paralela 121

E Interfaceamento, DLL e Temporização 126

F Depósito do Pedido de Patente do Detector de Vazamento de Gás Hélio 128

LISTA DE FIGURAS

1.1 Diagrama de Fases do He-4 7
1.2 Características principais do gás hélio 8
1.3 Vista parcial do Laboratório de Criogenia do CBPF 9
1.4 Reservatório criogênico *Dewar*, modelo CMSH-100 10
1.5 Reservatório criogênico *Dewar*, modelo CMSH-500 11
1.6 Magnetômetro SQUID, instalado no Laboratório de Instrumentação e Medidas 11
1.7 Diagrama esquemático de abastecimento de hélio líquido e de sua recuperação novamente na forma de gás, após sua utilização no criostato 12
1.8 Diagrama esquemático da produção de hélio líquido a partir do hélio recuperado 13
1.9 Turbina expansora para realização do processo Brayton 14
1.10 Representação do Ciclo Claude e máquina liquefatora associada 15
1.11 Célula de detecção de íons de hélio,com analisador de massa de setor magnético. 19
1.12 Princípio de funcionamento de uma bomba de difusão. 23
1.13 Bomba turbomolecular 24
2.1 Esquema de funcionamento do sensor de oxigênio. 30
2.2 Indicação de pinagem do sensor T039 – Typ250. 31
2.3 Curva característica do sensor T039 – Typ250. 31
2.4 Diagrama do circuito detector. 35
2.5 Diagrama em blocos do sistema de aquisição. 36
2.6 Diagrama esquemático do circuito do sistema de aquisição. 37
2.7 Características do conversor AD974. 40
2.8 Descrição funcional dos pinos do conversor AD974 utilizados. 41
2.9-A Diagrama esquemático da montagem para calibração do detector. 44
2.9-B Diagrama esquemático do processo de descontaminação da mangueira de látex e da proteção mecânica do sensor de oxigênio. 44
2.9-C Diagrama esquemático do processo de contaminação do hélio confinado. 45

2.10 Gráfico – 1. Tensão fornecida pelo detector em função da variação da concentração de oxigênio presente no gás hélio monitorado. 47
2.11 Gráfico 2 – Variação da tensão do detector em função da concentração de oxigênio acumulada no gás hélio confinado. 49
2.12 Diagrama esquemático representando a montagem realizada para a avaliação da sensibilidade do detector à contaminação. 50
2.13 Gráfico 3 – Resposta do detector à contaminação através de um orifício de 6,3 mm de diâmetro a 20 cm do sensor de oxigênio. 51
2.14 Gráfico 4 – Resposta do detector à contaminação através de um orifício de 6,3 mm de diâmetro a 40 cm do sensor de oxigênio. 52
2.15 Gráfico 5 – Resposta do detector à contaminação através de um orifício de 6,3 mm de diâmetro a 60 cm do sensor de oxigênio. 53
2.16 Concentração de oxigênio presente no hélio, em mistura certificada. 54
3.1 Layout da Linha de Recuperação do CBPF e laboratórios. 56
3.2-A Detector conectado à Linha de Recuperação utilizando interface GPIB. . 57
3.2-B Detector implementado com conversor analógico-digital, conectado à Linha de Recuperação. 58
3.3 Fluxograma do programa de aquisição de parâmetros para caracterização do gás hélio recuperado. 60
3.4 Conexão do sensor de oxigênio do dispositivo Detector de Vazamento de Hélio, à Linha de Recuperação. 61
3.5-A Concentração de oxigênio presente no gás recuperado, (aquisição em 24/11/2003 LIM). 62
3.5-B Concentração de oxigênio presente no gás recuperado, (aquisição em 12/01/2004 LIM). 62
3.6-A Concentração de oxigênio presente no gás recuperado, (aquisição em 27/04/2004 EPR). 63
3.6-B Concentração de oxigênio presente no gás recuperado, (aquisição em 29/04/2004 EPR). 63
3.7 Fluxograma do programa de monitoração da Linha de Recuperação utilizando o dispositivo detector de vazamento por via indireta. 69
3.8 Gráfico de monitoração do ramal da Linha de Recuperação do LIM, realizada em 25/09/2003. 71

3.9 Gráfico de monitoração do ramal da Linha de Recuperação do LIM, realizada em 29/09/03. 71
3.10 Gráfico de monitoração do ramal da Linha de Recuperação do LIM, realizada em 11/12/03. 72
3.11 Gráfico de monitoração do ramal da Linha de Recuperação do LIM, realizada em 06/01/04. 72
3.12 Gráfico de detecção da concentração de oxigênio presente no gás hélio recuperado, durante processo de transferência de hélio líquido. 74
3.13 Gráfico de monitoração do ramal da Linha de Recuperação do Laboratório de Instrumentação e Medidas, identificando transferência de hélio para o criostato. 75
3.14 Gráfico de monitoração do ramal da Linha de Recuperação do Laboratório de Instrumentação e Medidas, identificando transferência de hélio para o criostato. 76
3.15 Gráfico de concentração de oxigênio presente no gás hélio recuperado, gerado a partir de arquivo gravado durante substituição da amostra no magnetômetro SQUID, em 4 de dezembro de 2003. 77
3.16 Gráfico de monitoração da Linha de Recuperação do Laboratório de EPR, durante processo de medidas a baixas temperaturas. 78
3.17 Gráfico de monitoração do ramal da Linha de Recuperação do Laboratório de EPR, construído a partir de arquivo adquirido em 24/04/2004. 79
3.18 Gráfico de monitoração do ramal da Linha de Recuperação do Laboratório de EPR, obtido a partir de arquivos adquiridos em 25/03/04, coincidindo com intensas atividades nos laboratórios da mesma ala. 80
4.1 Representação do ciclo de operações de um medidor de vazão tipo volumétrico de quatro estágios. 84
4.2 Quadro das características de funcionamento do modelo G6, para operação com gás hélio. 85
4.3 Medidor modelo G6-LAO, fabricado pela LAO-Indústria, para adaptação e utilização com gás hélio à temperatura ambiente, na Linha de Recuperação do CBPF. 85
4.4 Características dimensionais do medidor de gás modelo G6-LAO. 86

4.5 Parâmetros de calibração do medidor de gás G6. 88
4.6 Avaliação da vazão de gás hélio utilizando o medidor G6-LAO. 89
4.7 Diagrama em blocos da movimentação de hélio líquido e hélio gasoso recuperado, externo ao Laboratório de Criogenia ,juntamente com as implementações sugeridas pelo Projeto de Monitoração e Recuperação. 93
4.8 Diagrama em blocos da movimentação de hélio gasoso recuperado e hélio líquido, internamente ao Laboratório de Criogenia, com as implementações sugeridas pelo Projeto de Monitoração e Recuperação. 94
4.9 Fluxograma das instruções básicas do Programa de Monitoração e Recuperação. 98
4.10 Planilha básica de custo de materiais e equipamentos necessários à implantação do Projeto de Monitoração e Recuperação de Hélio para o CBPF. 99

LISTA DE QUADROS E TABELAS

1.1	Etapas do processo de liquefação do gás hélio internamente à máquina de liquefação KPS 1410.	16
2.1	Dados do sensor Electrovac modelo T039 Typ250.	29
2.2	Tensão do detector em função da variação da concentração de oxigênio.	46
2.3	Tensão do detector em função do volume de ar acumulado no gás hélio confinado.	48
3.1	Variáveis definidas para o fluxograma do programa de aquisição.	59
3.2	Valores médios de concentração de oxigênio obtidos na utilização do programa de aquisição no Laboratório de Instrumentação e Medidas.	65
3.3	Valores de concentração média de oxigênio obtidos na utilização do programa de aquisição no Laboratório de EPR.	66

Introdução

A obtenção de baixas temperaturas é um dos requisitos fundamentais para a pesquisa básica experimental em física, em particular para a pesquisa em física da matéria condensada, sendo normalmente estas temperaturas obtidas a partir da utilização de líquidos criogênicos, como o hélio líquido.

Mais recentemente a demanda de utilização de baixas temperaturas tem se estendido para além dos laboratórios, e técnicas criogênicas têm se difundido cada vez mais na área médica e na indústria, como por exemplo em equipamentos de ressonância nuclear magnética e dispositivos supercondutores.

O Laboratório de Criogenia do CBPF, iniciou suas atividades em 1965, sendo o segundo a ser instalado no Brasil, e seu funcionamento é essencial para a realização da maioria dos trabalhos experimentais da matéria condensada e magnetismo realizados no Centro, além disso ele também tem dado suporte a vários grupos de pesquisa do Rio de Janeiro[1].

No CBPF as diversas pesquisas em matéria condensada e magnetismo, utilizam o hélio líquido como refrigerante criogênico das amostras, que ali têm suas características investigadas, através de técnicas experimentais de medidas de parâmetros físicos e espectroscopias de absorção ressonante.

Após sua utilização nos criostatos, que são equipamentos cujo objetivo é atingir e manter temperaturas criogênicas, o hélio novamente na forma de gás, é recuperado por meio de uma tubulação de aço inox que interliga os laboratórios do Centro. Através desta tubulação chamada de Linha de Recuperação ou Linha de Hélio, o gás é conduzido para o Laboratório de Criogenia, onde será armazenado e posteriormente liquefeito.

Durante o processo de liquefação, é realizada automaticamente a purificação do gás recuperado, sendo purgada pela máquina de liquefação toda contaminação existente juntamente com quantidades do próprio hélio, constituindo-se essa uma das principais fontes de perda de hélio do sistema. Em sua maioria, as contaminações existentes são componentes do ar atmosférico, provenientes da manipulação do hélio nos laboratórios.

O hélio é um gás importado e de custo elevado, entre US$ 14.00 e US$ 20.00 por litro[2], e por essas razões sua aquisição pelo CBPF requer uma programação prévia, face aos recursos que devem ser alocados e também pelos prazos de entrega envolvidos.

O consumo médio do CBPF é estimado em 1500 litros de hélio líquido por ano, e se adquiridos ao preço médio de US$ 14.00 por litro, o gasto anual estará em torno de US$ 21,000.00.

Durante a utilização do hélio nos vários laboratórios do Centro, são previstas perdas de parte do gás, seja na manipulação das amostras que têm suas característica investigadas nos criostatos, ou durante a própria transferência de hélio líquido para os mesmos.

Estas perdas, inerentes ao processo, são consideradas normais, no entanto quando da ocorrência de uma falha do sistema de distribuição-recuperação ou de manipulação em algum laboratório, cria-se uma situação atípica que provoca uma perda além das quantidades previstas.

Tais perdas devem ser consideradas na forma direta, que é o volume de hélio que escapa do sistema, e na forma indireta, que é o volume de hélio recuperado e automaticamente purgado pela máquina de liquefação por apresentar contaminação por componentes do ar atmosférico.

Essa situação de anormalidade pode num curto espaço de tempo levar praticamente à interrupção de um grande número de trabalhos e atividades de pesquisadores, bem como a paralisação de equipamentos de medidas, de centenas de milhares de dólares.

Considerando pois os elevados recursos despendidos na obtenção e recuperação do hélio, e sua vital importância na continuidade de diversas pesquisas e trabalhos, um projeto que se destine a contribuir na monitoração e redução de suas perdas é de grande importância estratégica para todo o Centro.

Os detectores de vazamento de gás hélio hoje disponíveis no mercado operam na detecção direta do gás, utilizando para isso espectrômetros de massa associados a bombas turbomoleculares e câmaras de vácuo. Apresentados em modelos para inserção direta ao sistema ou ao equipamento a ser testado. São equipados com conexões especiais para vácuo ou para operação com dispositivos *sniffers* [3], que são sondas destinadas à análise da atmosfera em uma área específica.

Em ambas as filosofias de supervisão, os valores envolvidos necessários para sua implantação são bastante elevados, visto que equipamentos baseados em espectrômetros de massa possuem custo da ordem de US$ 15,000.00[4].

O principal elemento motivador de nosso trabalho é o fato que muito das perdas de hélio hoje existentes podem ser reduzidas com monitoramento e automação. E que é

possível apresentar um sistema que reúna características originais, quanto ao custo de investimento, adequado à realidade dos recursos com que trabalham a maioria dos centros de pesquisas no Brasil. E também quanto aos dispositivos e equipamentos utilizados que deverão oferecer além de confiabilidade, praticidade de manutenção e facilidade de reposição e adaptação às variantes das realidades encontradas.

Norteado por essas diretrizes, o trabalho teve como objetivos :

- desenvolver um dispositivo que fosse capaz de perceber a contaminação do gás hélio recuperado por oxigênio, determinando a concentração dessa contaminação, e a partir de um algoritmo inteligente de alarme, atuar como detector de fuga de gás hélio para a atmosfera;
- adaptar um medidor de gás comercial, para ser utilizado na medida de vazão do gás hélio que retorna ao Laboratório de Criogenia pela Linha de Recuperação;
- propor um sistema que atuando automaticamente, possa exercer o controle e supervisão da distribuição e recuperação de hélio no CBPF, detectando fugas do gás e processando seu balanço em tempo real. Apresentando características originais de baixo custo de implementação e de facilidade de reposição de componentes e equipamentos.

No capítulo 1, abordamos as características peculiares do gás hélio, sua utilização como refrigerante criogênico no CBPF, e os métodos hoje normalmente empregados para sua detecção.

No capítulo 2, apresentamos o Dispositivo Detector de Vazamento de Gás Hélio por Via Indireta, sua conceituação teórica de atuação e seus componentes principais. Encontra-se também neste capítulo a rotina dos testes e processo de calibração do detector, bem como os detalhes construtivos do mesmo.

No capítulo 3, é feita a descrição dos trabalhos de caracterização do gás hélio recuperado no Laboratório de Instrumentação e Medidas (LIM) e no Laboratório de Ressonância Eletrônica Paramagnética (EPR). Neste mesmo capítulo, a partir da avaliação dos dados obtidos, são determinados os parâmetros de normalidade para a concentração de oxigênio presente no gás hélio recuperado.

Com a definição dos parâmetros de normalidade, são apresentados os resultados dos períodos em que o Detector de Vazamento de Gás Hélio por Via Indireta, monitorou o ramal da linha de recuperação na saída dos laboratórios de Instrumentação e Medidas, e de Ressonância Eletrônica Paramagnética.

Os gráficos mais significativos da monitoração realizada pelo detector, são analisados, e a partir desta análise, discutidas as atuações do sistema de alarme e as respostas do dispositivo para as diferentes atividades dos laboratórios.

No capítulo 4, encontra-se todo o processo de adequação de um medidor de gás comercial para operar na totalização volumétrica de gás hélio, desde a escolha do medidor, a parceria com o fabricante, os testes e os resultados obtidos.

Neste mesmo capítulo apresentamos uma proposta para um sistema de monitoração e recuperação de gás hélio para o Centro, baseado na utilização do Dispositivo Detector de Vazamento de Hélio por via Indireta, no fluxímetro de gás hélio obtido a partir do medidor comercial de gás modificado, na pesagem do volume de hélio líquido que deixa o Laboratório de Criogenia e um programa gerenciador.

Concluímos com o entendimento de que este trabalho não encerra as questões tratadas, mas evolui no caminho de sua solução, através das implementações realizadas e da abordagem original com que foram analisadas antigas questões.

No Apêndice A, está descrito o processo realizado para o cumprimento das prescrições exigidas pelo Instituto Nacional de Propriedade Industrial - INPI, para que fosse aceito o depósito do pedido de patente do Detector de Vazamento de Gás Hélio por via Indireta.Tendo sido toda a documentação analisada e em seguida protocolada com o apoio do CNPq, junto ao INPI, em Brasília.

O conceito de instrumentação virtual e linguagem gráfica de programação, são apresentados no Apêndice B, bem como a interface de comunicação GPIB.

No Apêndice C, é apresentado um manual de instruções para a operação do Dispositivo Detector de Vazamento de Gás Hélio por via Indireta. .

A interface de comunicação paralela, as bibliotecas DLL e as temporizações necessárias para a aquisição dos dados pelo conversor AD e para comunicação com o microcomputador de controle, são abordadas nos Apêndices D e E.

No apêndice F é apresentada a cópia do Depósito do Pedido de Patente do Dispositivo Detector de Vazamento de Gás Hélio que foi protocolado no INPI, composto do Relatório Descritivo, as Reivindicações, Desenhos e Resumo.

Capítulo 1

Distribuição, Recuperação e Detecção de Gás Hélio

O hélio foi o primeiro dos gases nobres a ser descoberto, sendo peculiar o fato que primeiro foi prevista sua existência no sol, e só mais tarde ele foi descoberto na Terra.

Em 1868, o astrônomo francês Pierre-Jules-Cesar Janssen, observando um eclipse total do sol, na Índia, utilizou pela primeira vez um espectrômetro no estudo da cromosfera, que envolve o sol. O espectro da cromosfera continha muitas riscas brilhantes (linha espectral), entre as quais se encontravam as do hidrogênio e uma, amarela, que se julgava ser a risca amarela do sódio.

Aprofundando sua investigação, Janssen tentou obter o espectro da cromosfera com luz solar ordinária, sendo bem sucedido no estudo das várias riscas do espectro e conseguindo provar que a risca amarela não era a do sódio, mas provavelmente uma risca espectral de um novo elemento.

Os astrônomos ingleses Lockyer e Frankland confirmaram estes resultados e provaram que aquela risca amarela não poderia ser obtida de nenhum elemento "terrestre" conhecido, e o nome de "hélio" foi proposto, a partir da palavra grega para Sol, "*helios*".

A procura deste novo elemento na Terra mostrou-se infrutífera até 1895, ano em que William Ramsay examinou o gás liberado quando o mineral cleveita, um minério do urânio, era tratado com ácidos. No espectro deste gás ele encontrou a risca amarela do hélio e provou, portanto, a existência deste elemento na Terra.

William Ramsay foi levado a esta descoberta depois de o químico americano Hillebrand ter verificado, em 1888, que quando fervia o mineral uranitite com ácido sulfúrico diluído, se liberavam quantidades consideráveis de um gás inerte, que ele considerou como sendo uma mistura de nitrogênio.

A descoberta do hélio em materiais radioativos não foi totalmente explicada até a descoberta do rádio em 1898, quando se verificou que o hélio era um dos produtos estáveis da desintegração de elementos radioativos como tório, urânio etc.[5]

O hélio é encontrado em depósitos de gás natural de poços do Texas, Oklahoma e Kansas, nos Estados Unidos, na proporção de 0,25 % a 7 % em volume, consideradas

as maiores reservas do mundo. É também encontrado em outras regiões e países como, no Mar do Norte, Rússia e Argélia.

A atmosfera terrestre possui 5,2 partes de hélio por milhão em volume, totalizando 416 milhões de toneladas. Encontra-se também em algumas águas minerais, misturado ao neônio.

Na coroa solar sua presença está relacionada às reações termonucleares que ocorrem no sol onde dois átomos de hidrogênio se fundem formando um átomo de hélio e liberando energia.[6]

1.1 – Características Principais do Hélio

Todos os elementos do grupo dos gases nobres possuem uma particularidade que lhes confere uma excepcional estabilidade química: a última camada completa com oito elétrons (exceto o hélio, com dois elétrons). Por isso, estes gases são praticamente inertes e se encontram naturalmente sob a forma de átomos isolados, sem se combinarem entre si formando moléculas. Não se pode dizer que são totalmente inertes porque, em condições especiais de temperatura e pressão e em presença de certos catalisadores, conseguem-se alguns compostos, especialmente do xenônio.

Os isótopos mais comuns do hélio são o He-4, que é formado por uma partícula alfa (dois prótons e dois nêutrons) envolta por dois elétrons, e o He-3 (dois prótons e um nêutron), são muito leves e atingem facilmente a atmosfera, terrestre, tendendo a se perder no espaço.

Abaixo de 4,2 K, o hélio se torna líquido, tendo propriedades similares às de um líquido comum, com uma densidade muito baixa (0,13 g/cm^3) e somente a altas pressões (cerca de 25 atmosferas) o hélio se torna sólido. No intervalo de temperatura entre 4,2 K e 2,17 K recebe o nome de hélio I, e abaixo de 2,17 K (ponto lâmbda), de hélio II, passando a apresentar propriedades peculiares.[7]

Na condição de hélio II, por exemplo, seu calor específico aumenta 100 vezes e, sob um resfriamento ainda maior, o hélio II dilata-se ao invés de contrair-se, e sua condutividade térmica chega a ser 800 vezes maior que a do cobre. Passa a apresentar viscosidade nula (superfluidez) e resistência ôhmica próxima de zero (supercondutividade).[7]

As explicações para o fenômeno do He-4 geram ainda alguma controvérsia, no entanto, a mais aceitável baseia-se na condensação de Bose-Einstein.

A diminuição da temperatura, tanto no hélio como em outras substâncias, é acompanhada por novas configurações e novos estados da matéria, na busca de restabelecer o equilíbrio e ou estabilidade.

O He-4 tratando-se de um conjunto de átomos muito simétricos, encontra sua estabilidade a baixas temperaturas não na solidificação mas sim em uma liquefação especial, onde todos os átomos ficam no mesmo estado quântico.

Assim, em vez de termos muitos átomos espalhados, em diferentes estados quânticos e energéticos, temos uma só função de onda que descreve o comportamento dos átomos que lá se encontram [8].

Na figura 1.1 é apresentado o diagrama de fases para o He-4, onde a fase de supercondutividade e superfluidez está identificada por He II líquido.

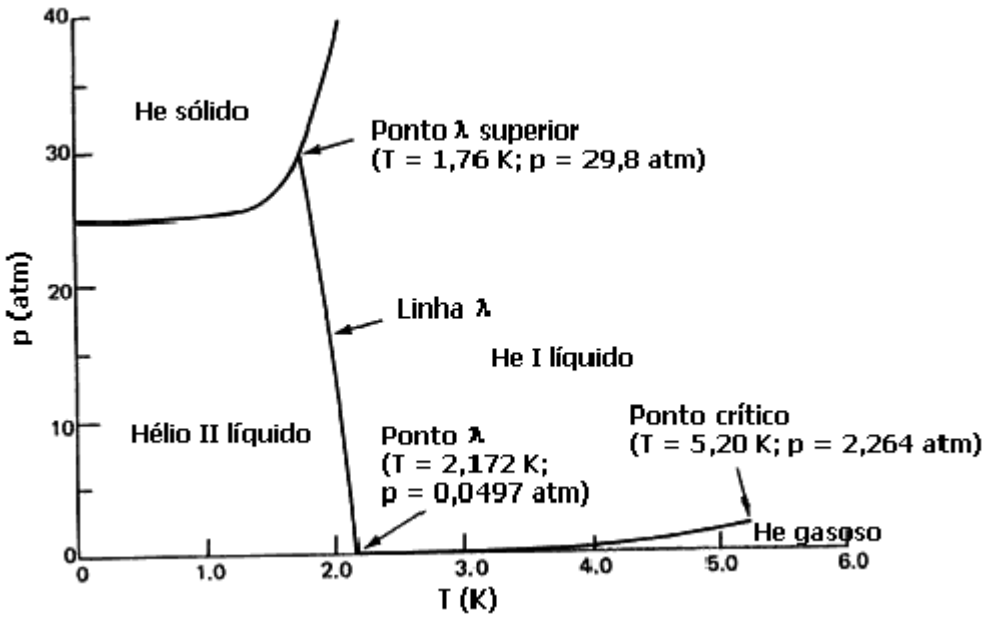


Figura 1.1 : Diagrama de Fases do He-4

Na figura 1.2 são apresentadas algumas das principais especificações do hélio.

Número atômico	Z = 2
Massa molar	4,0026 g/mol
Densidade	0,1785 Kg/m^3
Volume molar	21,0 x 10^{-6} m^3/mol
Ponto de fusão	-272,1 °C (a 25 ,2 atm)
Ponto de ebulição	-268,94 °C

Figura 1.2 : Características principais do gás hélio

É muito provável que o hélio já tenha sido observado entre os gases emanados de poços de petróleo perfurados em nosso país, no entanto, ele ainda não é produzido no Brasil.

1.2 – Distribuição e Recuperação de Hélio no CBPF

O sistema de Distribuição e recuperação de gás hélio do CBPF, é centrado no Laboratório de Criogenia, que opera e coordena o abastecimento de hélio líquido para os diversos laboratórios do Centro, recupera o gás hélio vaporizado nos criostatos e processa sua liquefação.

O Laboratório Criogenia monitora, de forma não automatizada, toda a distribuição e recuperação de hélio do CBPF, por meio de acompanhamento e observação de parâmetros do mesmo, determinando as necessidades de reposição de estoque e também de manutenção dos equipamentos e sistemas.

Em sua infraestrutura, o Laboratório conta hoje com :

Uma máquina de liquefação de hélio modelo 1410 Koch Process System;

Dois compressores de Hélio modelo 1400 Koch;

Duas máquinas de liquefação de Nitrogênio modelo PLN106 – Phillips;

Um sistema fechado de refrigeração de água gelada com capacidade de 25 Toneladas de Refrigeração (TR);

Duas torres de refrigeração com capacidade de 25TR e 10TR;

Um reservatório inflável de borracha, *Gas Bag*, para gás hélio, com capacidade de 50 m^3;

Cilindros e reservatórios *dewar* para armazenamento de hélio gasoso a alta pressão e para hélio líquido respectivamente.[1]

A Figura 1.3 apresenta uma vista parcial do Laboratório de Criogenia, ano de 2004, mostrando em primeiro plano à direita, a máquina de liquefação de hélio, seguida do reservatório *dewar* que recebe o hélio líquido que está sendo produzido, e ao fundo os cilindros de armazenagem de hélio gasoso a alta pressão.

Figura 1.3 : Vista parcial do Laboratório de Criogenia do CBPF.

Nas figuras 1.4 e 1.5, são mostrados reservatórios criogênicos tipo *dewar*, fabricados pela *Cryofab*, utilizados no CBPF para armazenamento, transporte e abastecimento dos laboratórios com hélio líquido.

Os reservatórios criogênicos *dewar*, são "garrafas" construídas com paredes metálicas duplas e polidas, e que inicialmente tinham o espaço entre elas divididos em compartimentos onde se realizava vácuo e também se estabelecia uma guarda de nitrogênio líquido, atualmente esse preenchimento tem sido realizado com materiais de baixíssima condutibilidade térmica denominados superisolantes e vácuo.

A função dos reservatórios *dewar*, é armazenar e transportar líquidos a temperaturas criogênicas, tais como hélio e nitrogênio líquidos, com um mínimo de perda na manutenção da temperatura interna.

O modelo CMSH-100, com capacidade para armazenar um volume de até 100 litros de hélio líquido, figura 1.4, realiza o transporte do hélio líquido do Laboratório de Criogenia para os demais laboratórios usuários do CBPF.

O modelo CMSH-500, com capacidade para 500 litros de hélio líquido, figura 1.5, é utilizado para armazenar o hélio liquefeito a partir do gás recuperado.

Figura 1.4 : Reservatório criogênico *dewar*, modelo CMSH-100, com capacidade para 100 litros de hélio líquido, fabricado pela *Cryofab*.

Figura 1.5 : Reservatório criogênico *dewar*, modelo CMSH-500, com capacidade para armazenamento de 500 litros de hélio líquido, fabricado pela *Cryofab*.

O magnetômetro SQUID, um dos pontos onde foram realizadas monitorações com o Detector de Vazamento de Hélio, é mostrado na figuras 1.6.

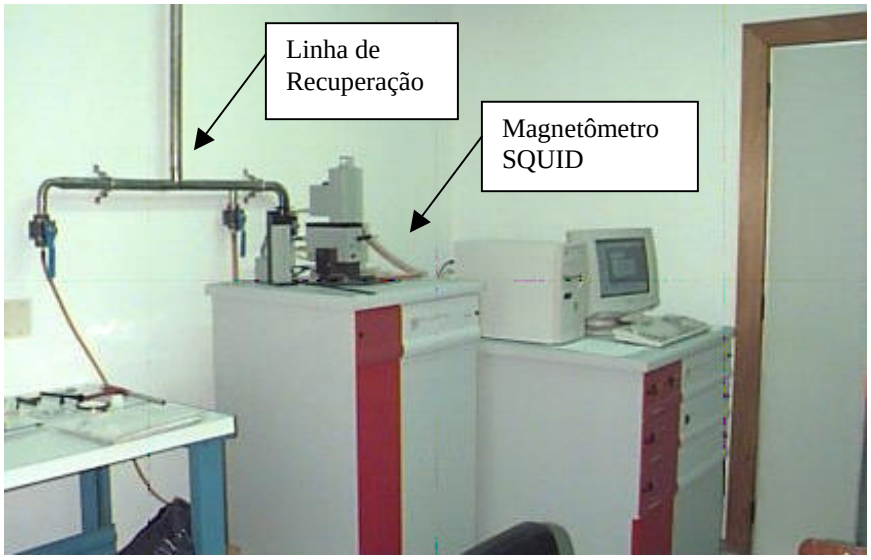


Figura 1.6 : Magnetômetro SQUID, instalado no Laboratório de Instrumentação e Medidas.

Na figura 1.7, está representado de forma esquemática o processo de recuperação e armazenamento do gás hélio vaporizado após sua utilização nos criostatos dos diversos laboratórios do Centro.

Conforme o diagrama da figura, depois de utilizado nos criostatos, o hélio novamente na forma de gás é coletado pela tubulação da linha de recuperação, que opera internamente com uma pressão entre 1,05 atm a 1,1 atm, seguindo então para o Laboratório de Criogenia.

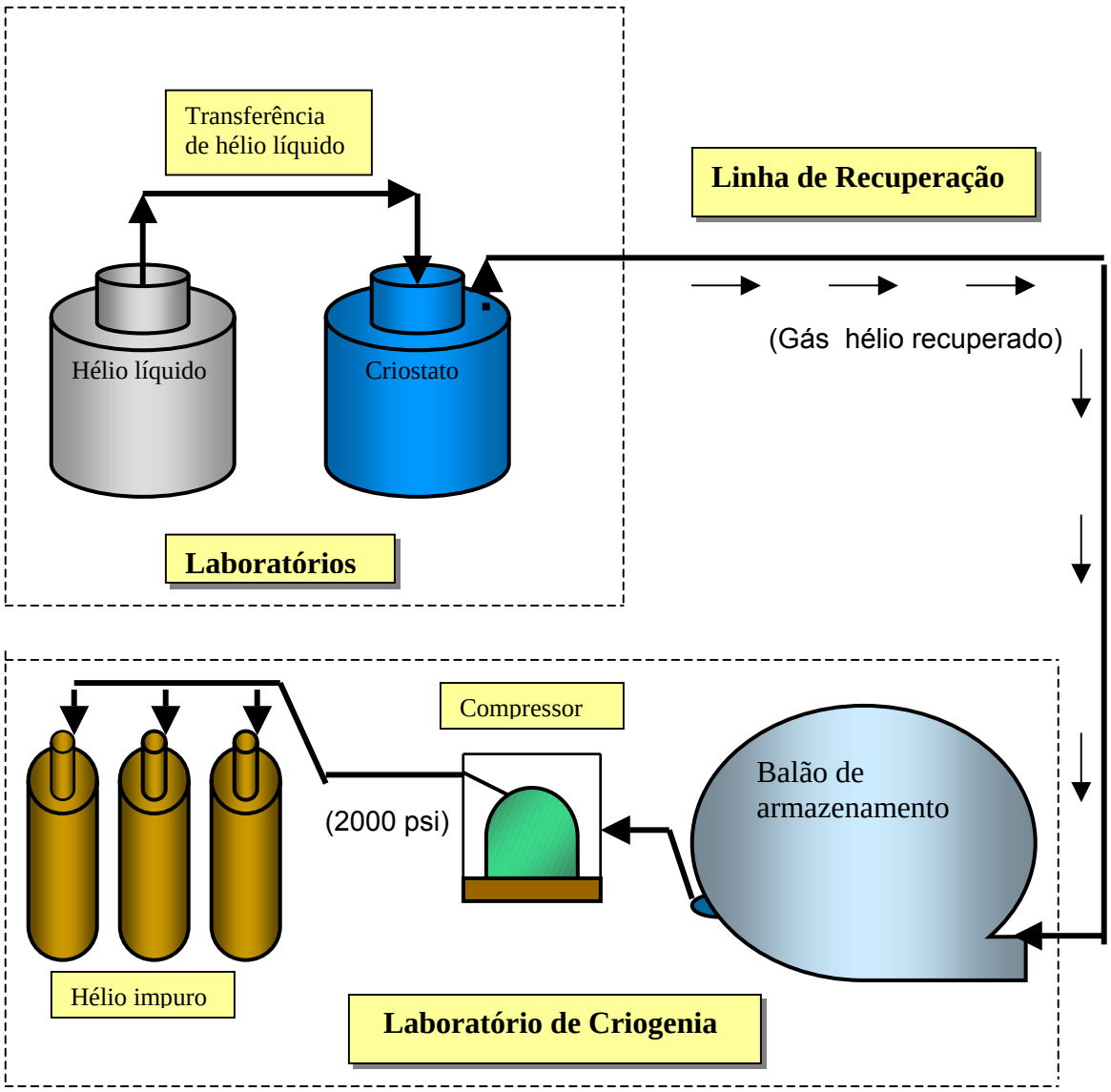


Figura 1.7 : Diagrama esquemático de abastecimento de hélio líquido e de sua recuperação na forma de gás, após sua utilização nos criostatos.

Inicialmente o hélio que retorna ao Laboratório de Criogenia pela linha de recuperação, que passa a ser denominado de Hélio Impuro, é armazenado em um balão coletor inflável , *Gas Bag*, até um volume que não represente risco de causar efeitos de contra-pressão na saída dos criostatos dos laboratórios usuários.

Em seguida o Hélio Impuro armazenado no balão inflável é comprimido e transferido para cilindros adequados, ali permanecendo a uma pressão de 2000 psi, para posterior liquefação.

No processo de liquefação, como representado na figura 1.8, o Hélio Impuro é bombeado e inserido na máquina de liquefação a uma pressão de 240 psi, passando inicialmente por um pré-resfriamento com nitrogênio líquido, onde são consumidos aproximadamente 3 litros de nitrogênio líquido para cada litro de hélio liquefeito.

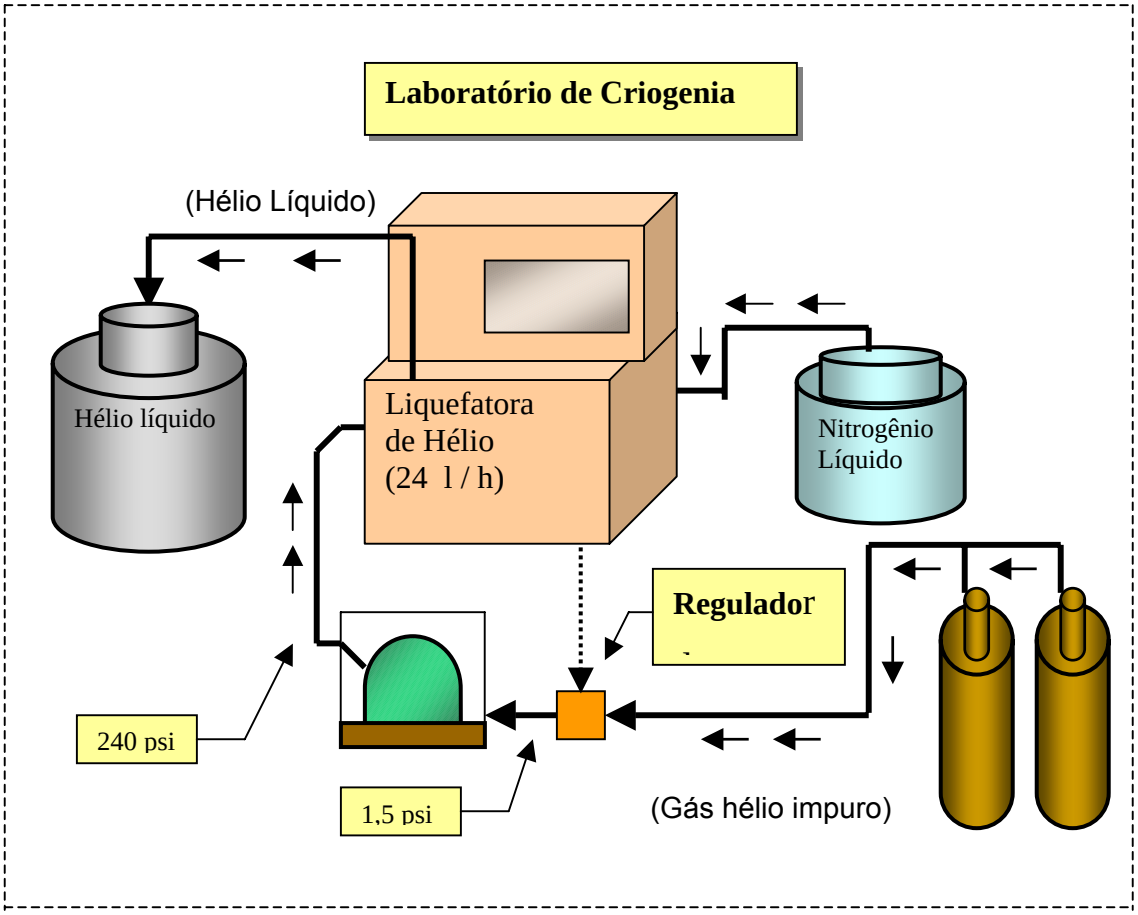


Figura 1.8 : Diagrama esquemático da produção de hélio líquido a partir do hélio recuperado.

O princípio de funcionamento da máquina de liquefação de hélio modelo KPS 1410, baseia-se no chamado Ciclo Claude, que é a composição de dois processos tipo Brayton e um processo tipo Joule-Thomson, associados à utilização de trocadores de calor [9].

No processo Brayton, o gás é introduzido em uma turbina expansora onde depois de realizar trabalho, movendo a turbina, apresenta uma queda em sua temperatura e pressão. A ilustração de uma turbina expansora pode ser vista na figura 1.9, onde estão identificados o ponto de entrada do gás hélio, e o duto de saída do gás hélio resfriado.

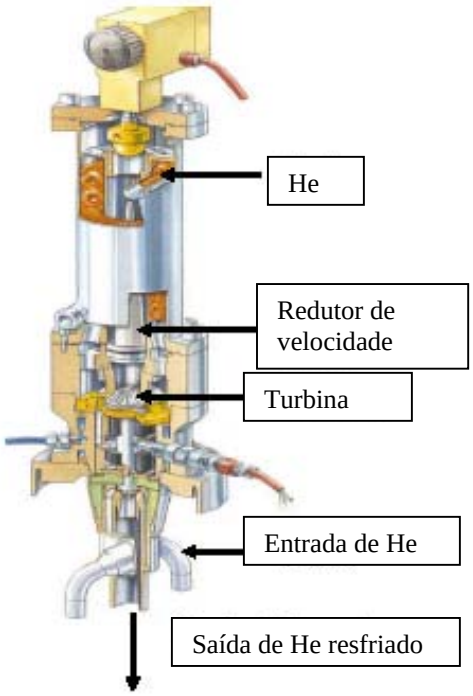


Figura 1.9 : Turbina expansora para realização do processo Brayton .

O processo Joule-Thomson consiste em levar o gás que está a alta pressão e que se deseja liquefazer, a passar por um pequeno orifício chamado de regulador de pressão, provocando no gás uma abrupta expansão com conseqüente queda de sua temperatura.

Se o gás anteriormente expandido e conseqüentemente resfriado circular através do gás comprimido antes que esse sofra sua expansão, a troca de calor provocará a redução de sua temperatura. Dessa forma o gás ainda comprimido ao se expandir

alcançará um resfriamento ainda mais acentuado. O contínuo processo de compressão e expansão fará com que a temperatura do gás caia progressivamente até que finalmente, ele comece a se condensar [9].

Na figura 1.10, temos uma representação do Ciclo Claude com o diagrama esquemático da máquina de liquefação associada, onde identificamos as linhas de alta pressão (HP) e baixa pressão (BP) percorridas pelo gás hélio no processo de liquefação.

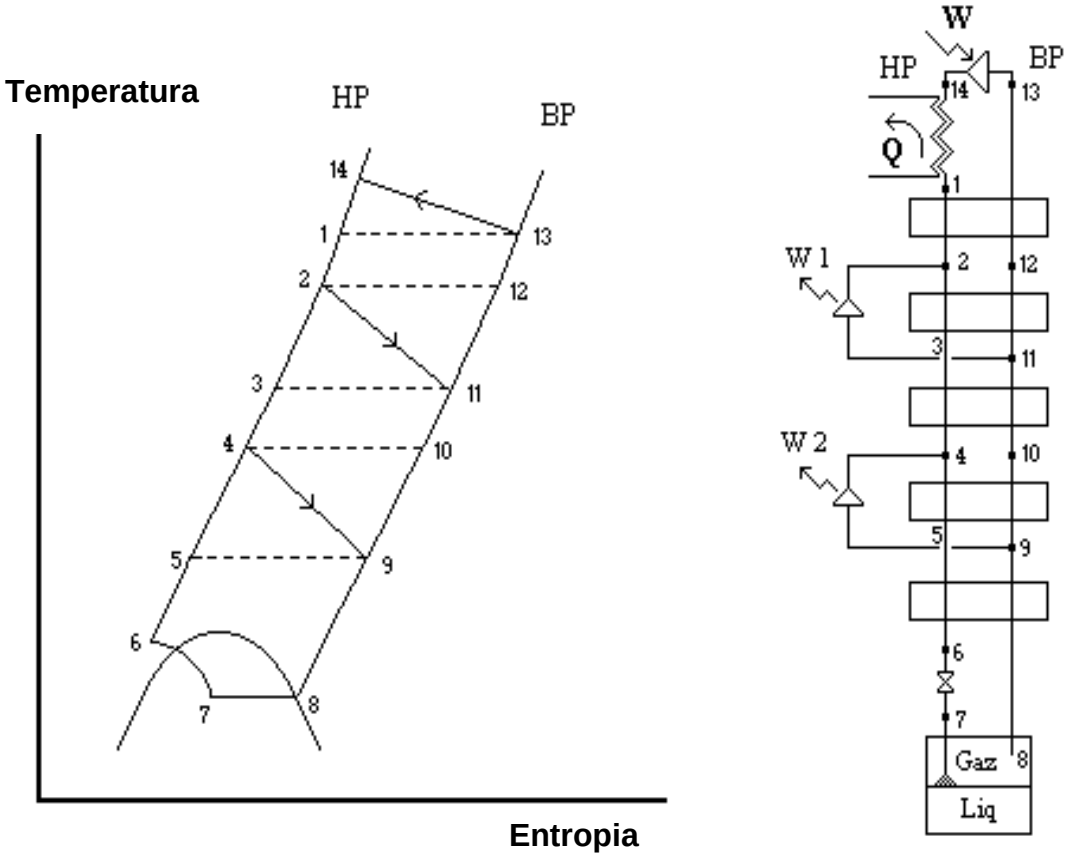


Figura 1.10 : Representação do Ciclo Claude e da máquina de liquefação associada.

A tabela 1.1 apresenta uma descrição de forma resumida das várias etapas que compõem o processo de liquefação do gás Hélio Impuro, desde sua compressão ao ser inserido na máquina de liquefação, passando pelo pré-resfriamento com nitrogênio líquido, as expansões e trocas de calor, até a inversão Joule-Thomson, após a qual sucessivamente parcelas do volume do gás irão se condensando.

1-2	O gás hélio que já foi comprimido pela máquina de liquefação, cede calor para o gás que circula na linha de baixa pressão, por meio de um trocador de calor.
2	Neste ponto o fluxo de gás comprimido se divide ao chegar em uma turbina expansora.
2-11	Na turbina, parte do gás realiza trabalho expandindo-se com conseqüente redução de sua pressão e temperatura (processo Brayton).
2-3	A porção do gás que não realizou trabalho na turbina, troca calor com o gás que sofreu expansão, e dessa forma tem sua temperatura reduzida mantendo-se à mesma pressão.
3-4	O fluxo de gás continua realizando processos de troca de calor com a linha de hélio a baixa pressão.
4-9 4-5	Novamente o fluxo de hélio é dividido e introduzido em uma turbina, expandindo-se e trocando calor, completando assim dois processos Brayton.
6-7	Na seqüência o gás da linha de alta pressão é levado a transpor uma válvula inversora Joule-Thomson, o que pode levar uma parcela do gás a atingir temperaturas abaixo da temperatura crítica, provocando sua liquefação.
8	A própria pressão interna ao reservatório criogênico que recolhe o hélio liquefeito, provoca o deslocamento do mesmo para o reservatório de armazenamento e ao mesmo tempo reconduz o gás não liquefeito para a linha de baixa pressão.
8-13	Após sucessivos processos de troca de calor com o fluxo de hélio da linha de alta pressão, o gás não condensado retorna ao compressor reiniciando o ciclo.

Quadro 1.1 : Etapas do processo de liquefação do gás hélio internamente à máquina de liquefação KPS 1410.

1.3 - Detecção de Gás Hélio

A origem dos métodos de detecção de vazamento de gás hélio está ligada ao "Projeto Manhattan", e sua exigência, sem precedentes até então, de sistemas herméticos, necessários às plantas de enriquecimento de urânio.

Na época, o alto grau de sensibilidade requerida para as verificações de existência de vazamentos levou à escolha do espectrômetro de massa projetado pelo Dr. A. O. C. Nier (1940), que foi modificado para atender às especificações do gás hélio, gás escolhido para detecção de vazamentos do sistema, e também para que apresentasse maior robustez.[10]

A sensibilidade destes equipamentos, que é dada pela razão entre o fluxo de hélio através do vazamento e o aumento de pressão em sua célula de detecção, em 1946, era em torno de 10^{-7} Pa m^3 s^{-1} e evoluiu para o patamar de 10^{-10} Pa m^3 s^{-1} em 1970. Atualmente o nível dos detectores mais sensíveis está em aproximadamente 10^{-13} Pa m^3 s^{-1}, ou seja um fator de ganho de 10^6 em aproximadamente 60 anos [10].

Os métodos de detecção mais utilizados são o Método do Fluxo Direto, o Método do Fluxo Contrário e os detectores com ponta de prova tipo *Sniffer*, sobre os quais iremos tecer uma descrição sucinta de suas características principais e aplicações.

Uma abordagem mais detalhada, será realizada sobre a parte central comum a cada um dos métodos que é a célula de detecção, na qual o gás residual é ionizado e os íons resultantes são acelerados e filtrados em um espectrômetro de massa.

1.3.1 – Método do Fluxo Direto

Nos detectores de vazamento por fluxo direto, o sistema de vácuo é conectado diretamente à célula de detecção e à bomba de vácuo. Estes detectores são bastante apropriados para pequenos vazamentos, onde são requeridas sensibilidades da ordem de 10^{-12} Pa $m^3 s^{-1}$[10] .

Os detectores por fluxo direto apresentam alguns inconvenientes tais como, a oxidação na bomba de difusão, necessidade de reposição de nitrogênio líquido, contaminação dos gases com vapores de óleo, tempo de entrada em operação considerado longo e seqüência operacional complexa.

Estes métodos foram muito utilizados na verificação em sistemas de alto vácuo até meados dos anos 80, a partir de então foram sendo progressivamente substituídos por detectores de fluxo contrário.

1.3.2 – Método do Fluxo Contrário

Este método caracteriza-se por utilizar um arranjo com duas bombas turbomoleculares associadas em oposição, presentes nos detectores mais sofisticados, o que solucionou problemas de contaminação e instabilidade.

O arranjo do fluxo contrário apresenta inúmeras vantagens em relação ao arranjo de fluxo direto, como por exemplo a não necessidade de nitrogênio líquido, a facilidade no transporte , curto intervalo de tempo para o estado operacional, melhor proteção do filamento de emissão de elétrons, maior robustez e menor necessidade de manutenção. Além disso sua operação mais simples facilita sua automação e o controle via comando remoto.

1.3.3 – Detectores com ponta de prova *Sniffer*

Neste método os detectores apresentam um dispositivo externo, *sniffer*, que realiza a admissão do gás a ser testado, sugando-o e conduzindo-o através de uma válvula ou tubo capilar para um detector de hélio tipo fluxo direto ou contrário, interno ao equipamento.

Este método de detecção é muito utilizado para localização de grandes vazamentos em recipientes que contenham hélio ou que estejam sendo contaminados por ele, outra aplicação é na monitoração em pontos de exaustão de um sistema, onde os métodos de fluxo direto ou contrário não podem ser aplicados.

1.3.4 – Espectrometria de Massa (Célula de Detecção)

Dentre todas as técnicas conhecidas para análise de substâncias, a Espectrometria de Massa pode ser considerada como a de mais fácil compreensão e versatilidade.

Um Espectrômetro de Massa é um aparelho que produz a partir de uma amostra de substância eletricamente neutra, um feixe de íons gasosos para posterior separação dos

mesmos, de acordo com suas razões carga-massa e detectá-las para medidas de ocorrências relativas de cada espécie iônica presente.

Desde o primeiro modelo construído por Thomson, até os sofisticados modelos comerciais da atualidade , um espectrômetro de massa é basicamente constituído de quatro partes fundamentais : um Sistema de Manipulação para introduzir a amostra desconhecida no equipamento; uma Fonte de Íons na qual é produzido um feixe de partículas proveniente da amostra; um Analisador de Massa que separa partículas de acordo com a massa; um Detector de Íons, no qual os íons separados são recolhidos e caracterizados.

Na figura 1.11, estão representadas esquematicamente as partes fundamentais de um espectrômetro de massa, utilizado em uma célula de detecção de hélio, com analisador de massa tipo setor magnético.

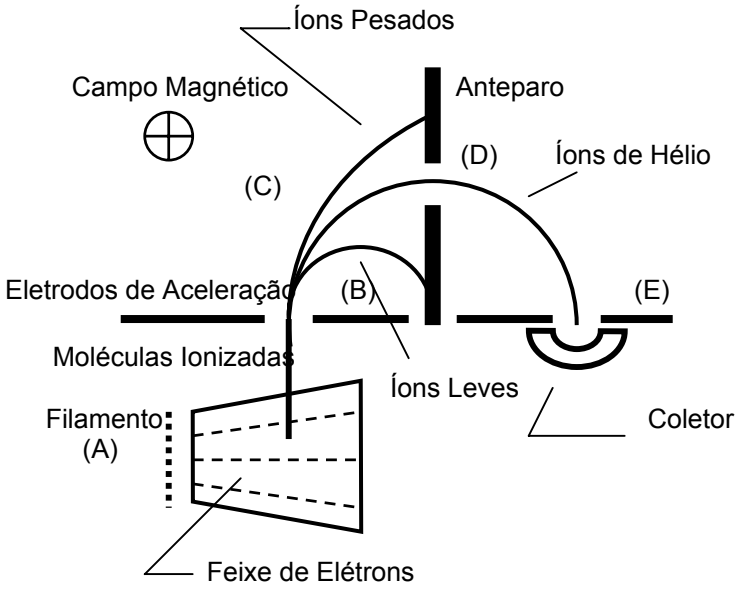


Figura 1.11 : Célula de detecção de íons de hélio, com analisador de massa de setor Magnético.

O espectrômetro requer um percurso de colisão livre para os íons e portanto, funciona a vácuo ou quase vácuo (10^{-5} Torr), sendo o sistema de entrada da amostra desenhado para uma mínima perda de vácuo.

Quando uma corrente é aplicada ao filamento (A), este é aquecido resistivamente até a incandescência, simultaneamente emitindo elétrons. Placas colimadoras são empregadas para o controle do feixe de elétrons emitidos e um potencial de

aproximadamente 70 V é mantido entre o filamento e placa de tal forma que os elétrons sejam acelerados para longe do filamento e passem através das placas colimadoras com uma energia média de 70 eV.

O valor de 70 eV é comum, porque a probabilidade de ionização para muitos compostos é maximizada próximo deste valor.[11]

As placas colimadoras levam os elétrons energizados a colidirem com as moléculas do gás a ser analisado dando origem aos íons.

Os íons formados pelos impactos dos elétrons são acelerados por uma série de placas carregadas negativamente, em direção a uma fenda de entrada (B), indo para o Analisador de Massas, que tem como objetivo separar os íons que são produzidos na fonte de acordo com as diferentes relações carga-massa.

Os projetos dos analisadores mais comuns incluem os analisadores de quadrupolo, de setor magnético e os analisadores de massa por tempo de vôo.

Um campo quadrupolo é formado por quatro barras cilíndricas paralelas, as quais aplica-se uma corrente contínua que afeta o percurso dos íons viajando pelo trajeto centralizado entre os quatro cilindros. Para as tensões dadas, somente os íons de uma relação massa-carga determinada podem passar através do filtro do quadrupolo, enquanto os outros serão varridos como moléculas descarregadas.[12]

O analisador por tempo de vôo, usa a diferença de tempo que levam os íons gerados e acelerados para chegar a um eletrodo coletor. O princípio essencial da espectrometria de massa por tempo de vôo baseia-se em que todos os íons são acelerados com a mesma energia, e suas velocidades são inversamente proporcionais às raízes quadradas de suas massas.

O analisador de massa de setor magnético, emprega um campo magnético que faz com que os íons viajem em um percurso circular de 189, 90 ou 60 graus .

Os íons penetram perpendicularmente às linhas de campo magnético e são obrigados a descrever trajetórias circulares no interior do analisador de massa (C).

Por uma fenda (D) , saem do campo magnético somente os íons de uma determinada razão carga-massa dada por :

$$\frac{m}{q} = \frac{B^2 r_m^2}{2V} \quad , \tag{1.3.1}$$

onde *m* é massa do íon em Kg, *q* é a sua carga em Coulomb, *B* é a intensidade do campo magnético em Tesla, que tem a função de defletor do feixe de íons, r_m é o raio médio de curvatura descrita pelo feixe no analisador de massa e *V* é a tensão de aceleração linear de íons dada em volts.

Os íons que saem do analisador de massa são coletados (E) de duas formas, usando um Copo de Faraday (*Faraday Cup*) ou um Multiplicador de Elétrons. No Copo de Faraday, que é o detector mais simples, os íons que saem do analisador de massa entram num copo metálico que está aterrado. Quando os íons se chocam com as paredes do copo, os mesmos são neutralizados, absorvendo um elétron do copo metálico. A perda de elétrons do copo dá origem a uma corrente que poderá ser avaliada entre o copo e a terra.

Logo quanto maior o número de íons que entram no copo maior será a corrente detectada. Uma das melhores características do Copo de Faraday é a de que todos os íons são detectados com a mesma eficiência, de acordo com suas massas. O Copo de Faraday no entanto é limitado por baixas pressões, tornando-se impraticável abaixo de 10^{-9} Torr.

Para baixas pressões, abaixo de 10^{-9} Torr, o Multiplicador de Elétrons, é um detector bastante preciso. O Multiplicador de Elétrons, tem formato de um cone, sendo a "boca" do cone fortemente negativa em relação ao fim do cone, de tal forma que íons positivos são acelerados em direção à superfície do cone. Ou seja, na medida em que atingem o cone, os íons com alta velocidade ejetam elétrons da superfície do mesmo.

Estes elétrons secundários são acelerados em direção ao fim do cone, chocando-se com a superfície do mesmo repetidamente e causando a liberação de mais elétrons da superfície do cone. Esta multiplicação do número de elétrons causa uma "cascata" de elétrons no fim do cone. O gradiente no cone é ajustado de tal forma a manter um mínimo de 10^5 elétrons emitidos no fim do cone para cada íon que entra. A corrente eletrônica é amplificada para produzir uma corrente elétrica ou sinal iônico que é proporcional à corrente iônica incidente no detector.

A corrente formada para a neutralização desses íons passa por um resistor, fechando o circuito com a terra, como esta corrente é extremamente pequena, a diferença de potencial no referido resistor deverá ser adequadamente amplificada.

Este sinal amplificado é enviado para um registrador que fornece espectros, intensidade de íon em função da tensão de aceleração linear do mesmo, apresentando um gráfico de picos em função da tensão de aceleração do íon.

A identificação de átomos, grupos de átomos e moléculas se dá pela comparação com uma curva padrão e do conhecimento prévio da razão carga-massa dos íons possíveis de serem encontrados na amostra em estudo.

1.3.5 – Sistema de Bombeamento

Se a célula de detecção de vazamento não é muito diferente da utilizada no projeto original da década de 40, o mesmo não se pode dizer do sistema de bombeamento, que sofreu consideráveis modificações, onde a bomba de difusão do projeto original foi substituída nos equipamentos mais modernos por bombas turbomoleculares e bombas isentas de óleo.

As bombas difusoras operam pelo princípio da transferência de momentum para as moléculas gasosas. Nestas bombas, um sistema de aquecimento elétrico ajustado na base do corpo da bomba aquece um fluido (óleo) até a formação de vapor. O vapor de óleo sobe por um tubo até a parte superior da bomba onde é ejetado através de estreitas aberturas anulares em direção à parte inferior da bomba [11].

Devido à diferença de pressão interna e externa do tubo, o vapor é ejetado a uma velocidade extremamente alta, e como as moléculas de óleo têm maior peso, ao se chocarem com as moléculas do gás realizam uma perfeita transferência de momentum e o conseqüente bombeamento do gás para a parte inferior da bomba onde existe uma saída conectada a uma bomba de apoio.

Ao entrar em contato com as paredes refrigeradas da bomba o vapor de óleo se condensa e escorre novamente para o reservatório de fluido.

A grande maioria das bombas de difusão empregadas têm vários estágios de ejeção de fluido e são chamadas de multiestágio. A câmara a ser bombeada é conectada no flange superior e a bomba de apoio acoplada no flange inferior.

Um dos problemas inerentes das bombas difusoras é a perda de fluido através do duto de saída, perda esta que é minimizada usando uma série de placas refrigeradas (*baffle*), que condensam o fluido vaporizado reconduzindo-o novamente para o reservatório.

A perda de fluido através do topo da bomba pode ter conseqüências mais sérias pois o vapor de óleo pode contaminar a câmara de vácuo e todo o sistema. Este problema pode ser evitado em quase sua totalidade, utilizando dispositivos chamados de “armadilhas” (*traps*), que são superfícies frias muito eficientes para reter o vapor de fluido.

A primeira dessas “armadilhas” é projetada de forma que as moléculas de gás não atravessem sem colidir pelo menos uma vez com a superfície da placa, e para as moléculas que atravessarem a primeira “armadilha”, uma segunda com placas refrigeradas com nitrogênio líquido, *cold trap*, poderá realizar a captura.[10]

Na figura 1.12 é representado esquematicamente o princípio de funcionamento da bomba difusora.

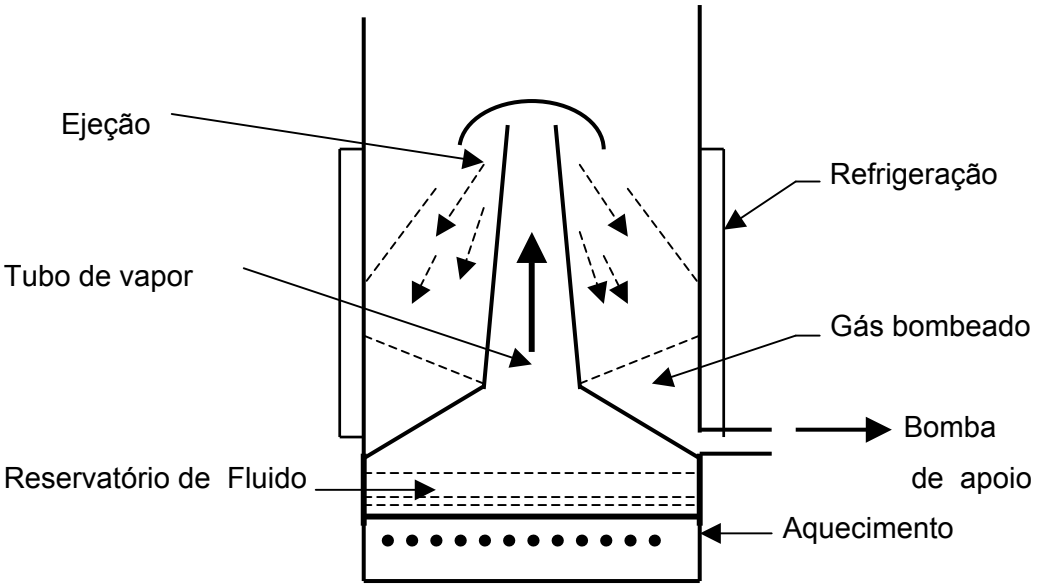


Figura 1.12 : Princípio de funcionamento de uma bomba de difusão

A bomba turbomolecular é uma bomba do tipo compressão, cujo princípio de funcionamento é similar ao da bomba difusora. A diferença é que a transferência de momentum não ocorre por colisões com jato de vapor ejetado a alta velocidade, mas sim pelo impacto das moléculas do gás com as palhetas de uma turbina que gira em alta velocidade.

Uma bomba turbomolecular como as atualmente utilizadas, conforme mostrada na figura 1.13, apresenta uma estrutura onde vários sistemas de palhetas são presos a um mesmo eixo impulsionado por um motor de alta rotação, constituindo o rotor da bomba.

Outros sistemas de palhetas são fixos na carcaça da bomba, constituindo o estator da bomba. O espaçamento entre as palhetas do rotor e estator é da ordem de 1mm, e rotação do rotor é superior a 20000 rpm.[13]

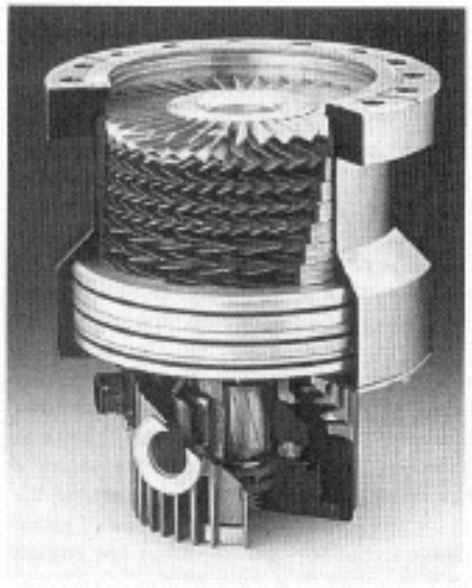


Figura 1.13 : Bomba turbomolecular

1.4 – Conclusão

Em resumo, a tecnologia de detecção de gás hélio foi desenvolvida para atender à verificação da qualidade de sistemas de vácuo, adequando-se às exigências evolutivas dos mesmos e desenvolvendo aparatos técnicos nesta direção, estando hoje disponíveis no mercado detectores de gás hélio extremamente precisos e sofisticados.

No entanto estes equipamentos não visam atender um estado de supervisão contínua de plantas de distribuição e recuperação de gás hélio, mas sim a testes programados de estanqueidade ou busca de falhas (vazamentos) já percebidos por suas conseqüências.

Geralmente são equipamentos pesados, em torno de 30 Kg, a exceção de alguns equipamentos tipo *sniffers* mais modernos que pesam em torno de 8 Kg e são considerados equipamentos para atuação em campo.[4]

Exigem ambiente de instalação adequado à sua operação tais como, refrigeração, tensão estabilizada, nível de vibração reduzido, e seu custo é elevado, superando a faixa dos US$ 30,000.00, o que torna sua utilização como dispositivo de supervisão a ser instalado de forma distribuída inviável.[4]

Capítulo 2

O Detector de Fuga

Tendo em vista equacionar as dificuldades de implantação e manutenção apresentadas pelos sistemas detectores de hélio convencionais, e por não encontrarmos no mercado um sistema comercial que permita monitorar em tempo real as fugas de gás hélio da linha de recuperação, foi desenvolvido o dispositivo Detector de Vazamento de Gás Hélio por via Indireta, para o monitoramento das tubulações de hélio ou criostatos que o utilizem como refrigerante criogênico.

O detector desenvolvido não utiliza espectrômetro de massa, bomba turbomolecular e os sistemas normalmente associados aos equipamentos convencionais anteriormente descritos.

O Detector de Hélio por via Indireta se fundamenta nos conceitos de efusão e difusão de gases, e se baseia em uma sonda sensora de oxigênio, dispositivo sensor amplamente utilizado, que deverá ser inserido na tubulação ou equipamento que se deseja monitorar.

A sonda de oxigênio gera um sinal de corrente proporcional à concentração do mesmo presente no gás hélio, traduzindo dessa forma a contaminação do gás pelo ar atmosférico. O sinal enviado pela sonda é digitalizado pelo circuito eletrônico do detector, e sua comparação com valores previamente ajustados irá sensibilizar ou não um alarme sonoro e visual incorporado ao mesmo. A integração do sinal permite programar a identificação de vazamentos contínuos, associados a pequenas vazões, enquanto a derivada do sinal identifica vazamentos de grandes proporções.

O detector realiza uma monitoração da linha de recuperação de forma contínua e automática, indicando a contaminação do gás ou seja, a ocorrência de vazamento no início do processo, antes que o mesmo evolua comprometendo o sistema e ou equipamentos utilizados.

O Detector de Vazamento de Gás Hélio por via Indireta, pode operar de forma autônoma, ativando um alarme sonoro e visual toda vez que a concentração de oxigênio presente no gás hélio ultrapassar os valores pré-estabelecidos como toleráveis, ou pode estar associado a um microcomputador, comunicando-se com ele por meio de sua porta paralela.

Nesta condição, o detector pode utilizar algoritmos inteligentes no monitoramento da linha de hélio, tais como temporização de alarme e a avaliação da evolução do nível de concentração de oxigênio, interpretando como falha do sistema não simplesmente a ultrapassagem de um valor, mas a forma como os valores de concentração se sucedem.

Assim, por exemplo, serão consideradas como falhas, uma forte variação no nível de concentração em curto intervalo de tempo, mesmo que o valor de concentração máxima ainda não tenha sido atingido; ou um incremento residual na concentração de oxigênio que permaneça constante ao longo do tempo.

Associado a um microcomputador, é possível proceder a análise de todo um período de monitoramento, por meio dos gráficos e relatórios arquivados, ou apenas a investigação na atuação do alarme.

2.1 – Difusão e Efusão de Gases

A difusão é a dispersão gradual de uma substância em outra [10]. Para os gases este processo é relativamente veloz, se comparado com os estados líquido e sólido. Thomas Graham, químico escocês, realizou em 1829 vários experimentos onde mediu a velocidade de difusão de gases. Apoiado nesses dados, estabeleceu-se a Lei de Difusão de Graham, onde a velocidade de difusão de um gás através de outro é inversamente proporcional à raiz quadrada da densidade do gás, ou de maneira mais abrangente, a velocidade de difusão de um gás é inversamente proporcional à raiz quadrada de sua massa molecular.

A efusão é a passagem de um gás através de um orifício [10]. Graham relatou em 1846 que, a temperatura constante, a velocidade de efusão de um gás através de um determinado orifício é inversamente proporcional à raiz quadrada de sua densidade ou de sua massa molecular. Este se tornou o enunciado da Lei de Efusão de Graham.

A saída de gases por orifícios praticados nas paredes dos depósitos ou dutos que os contém é regida por leis análogas à dos líquidos [21]. Para os líquidos a velocidade de saída será dada por :

$$V = \sqrt{2.g.h} \qquad (2.1)$$

Fazendo h representar a altura da coluna de gás correspondente à pressão existente no orifício, expressando essa altura h por meio da pressão equivalente de uma

coluna de mercúrio b e designando por μ_H e μ_g as massas específicas do mercúrio e do gás respectivamente, podemos estabelecer a proposição :

$$\frac{\mu_H}{\mu_g} = \frac{h}{b} \quad \text{donde} \quad h = b\frac{\mu_H}{\mu_g} \tag{2.2}$$

Substituindo na equação 2.1 teremos :

$$V = \sqrt{\frac{2gb\mu_H}{\mu_g}} \quad = \quad \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 13{,}6\frac{b}{\mu_g}} \tag{2.3}$$

$$V = 16{,}3\sqrt{\frac{b}{\mu_g}} \tag{2.4}$$

Dessa forma podemos concluir que a quantidade de gás que sai em t segundos por um orifício de área A, será dado por :

$$Q = A \cdot V \cdot t \quad \Rightarrow \quad Q = A \cdot t \cdot 16{,}3\sqrt{\frac{b}{\mu_g}} \tag{2.5}$$

A efetivação dos cálculos de efusão de gases por orifícios em que as diferenças de pressões interna e externa não são significativas, deverá envolver parâmetros de ajuste , para que se obtenha uma melhor aproximação dos valores reais.

2.2 - O Sensor de Oxigênio

Os sensores de oxigênio são amplamente utilizados na detecção indireta de gases combustíveis em indústrias, no controle da qualidade dos gases emitidos pela combustão de motores na indústria de veículos, na supervisão de atmosferas modificadas seja pela indústria de alimentos ou no setor de saúde.

Os sensores de oxigênio fabricados de óxido de zircônio estabilizado com óxido de cálcio (*calcia-stabilized zirconia* ou CSZ), têm sido muito estudados e, recentemente, foi

produzido filme de zircônia (óxido de zircônio) estabilizado na fase cúbica, preparado a temperatura ambiente por um método eletroquímico [14].

Este novo processo dispensa a sinterização do óxido e dessa forma reduz as perdas ocorridas no processo tradicional, decorrentes da transição indevida da fase tetragonal para monoclínica [14], com reflexos na redução do custo de fabricação do composto.

Pelo fato de estes sensores apresentarem hoje grande confiabilidade e serem comercialmente disponíveis a um custo razoável, na faixa de dezenas de dólares, eles foram escolhidos para este trabalho.

Três fabricantes foram pesquisados, Fujikura Ltd., Pasco e a Eletrovac GMBH, sendo escolhido o sensor fabricado pela Eletrovac [15], modelo T039-Typ050, cuja faixa de utilização é de 0,1% a 20,9% de oxigênio, apresentando uma resposta de 100 a 200 microamperes, estando sua sensibilidade compatível com a utilização pretendida e preço adequado à nossa proposta de trabalho.

Na tabela 2.1, são apresentadas as características principais do sensor Eletrovac T039 Typ 250.

Fabricante	Eletrovac GMBH
Modelo	T039 Tpy 250
Sinal de Saída	100μA a 200μA com 20,9% de O_2
Tempo de Resposta	2 a 10 segundos
Dependência da Temperatura	0,034% do sinal medido por °C
Polarização do Sensor	0,7 a 1,6 Volts
Tensão de Aquecimento	1,6 a 4 Volts
Máxima Temperatura de Capa	250 °C
Tempo de Aquecimento	Aproximadamente 2 minutos

Quadro 2.1 : Dados do Sensor Eletrovac modelo T039 Typ 250

2.3 - Princípio de Funcionamento do Sensor de Oxigênio

Os compostos de ZrO_2 / CaO com o óxido de cálcio variando de 15% a 28% mol, possuem uma fase cúbica chamada de Zircônia estabilizada (CSZ ou *cubic zirconia*) onde

alguns sítios de Zr^{4+} são substituídos por Ca^{2+} criando uma vacância de ânions O^{2-}. A grande quantidade de cálcio presente na estrutura produz uma deficiência de população de oxigênio, tornando conseqüentemente estes materiais bons condutores de ânions O^{2-}.

O bombeamento eletroquímico de oxigênio deste material é otimizado quando aquecido a temperaturas de 250 °C a 400 °C, nos sensores comerciais, embora o composto seja estável a temperaturas mais elevadas.

Se uma diferença de potencial é aplicada nas faces de uma célula eletrolítica de Zircônia, quando ela está aquecida, o oxigênio é reduzido para O^{2-} no lado do catodo e atravessa a zircônia onde é re-oxidado para gás oxigênio no lado do anodo. Esta passagem através do zircônia gera uma corrente elétrica provocada pelos íons portadores de carga.

Um orifício no lado do catodo limita a entrada de oxigênio mantendo uma diferença de concentração nos dois lados da célula, limitando a corrente de saturação.

Na figura 2.1 está esquematizado o princípio de funcionamento do sensor de oxigênio, com a identificação de seus componentes básicos, a indicação da migração de ânions O^{2-} e a circulação da corrente gerada pelos portadores de carga.

Na figura 2.2 temos o sensor e a indicação de sua pinagem, e na figura 2.3 são apresentadas as curvas típicas da corrente gerada em função da concentração de oxigênio presente no gás.

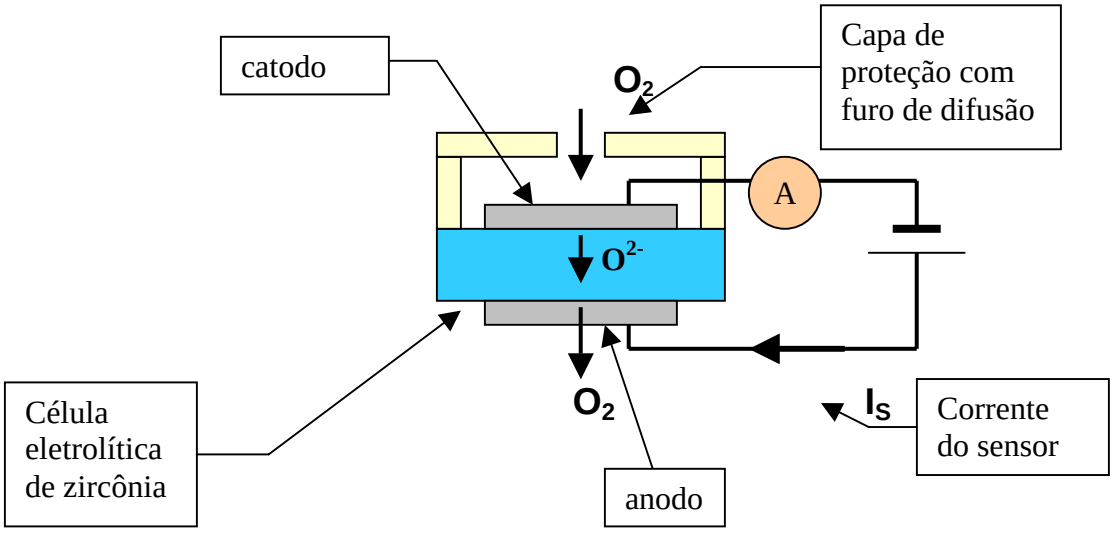
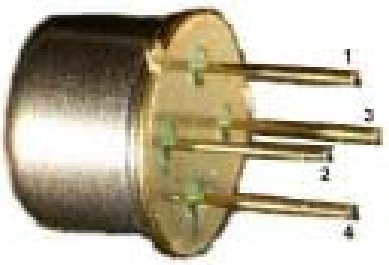
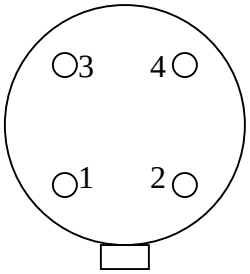


Figura 2.1 : Esquema de funcionamento do Sensor de oxigênio.





(Vista lado dos pinos)

1 ..... H_+ 2 ..... H-

3 ..... Sen_+ 4 ..... Sen-

Figura 2.2 : Indicação da pinagem do sensor T039-Typ 250

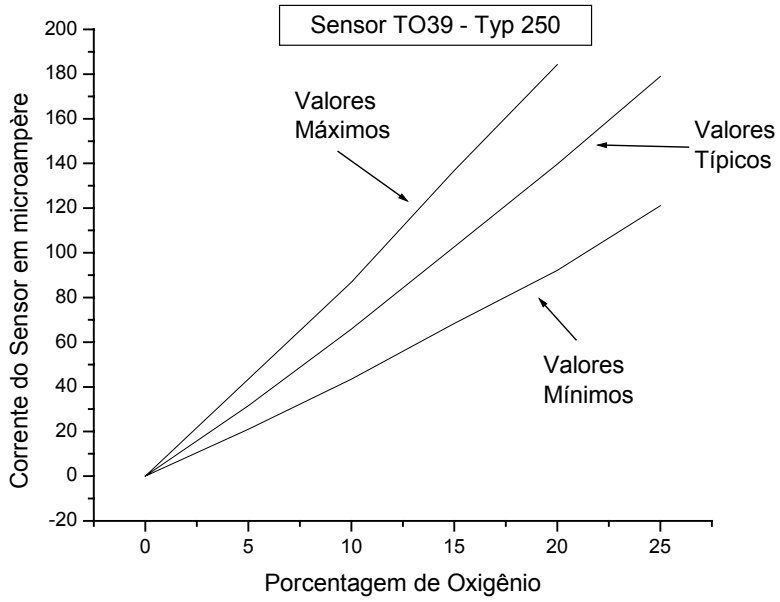


Figura 2.3 : Curva característica do sensor T039-Typ250 da Eletrovac

2.4 – Circuito Detector

O Detector de Vazamento de Gás Hélio por via Indireta se divide em dois módulos, sendo um deles o circuito detector, que fornece as tensões de aquecimento e polarização para o funcionamento do sensor de oxigênio e recebe o sinal analógico de corrente enviado pelo sensor, proporcional à concentração de oxigênio presente no gás hélio que está sendo monitorado.

O outro módulo é o do conversor analógico digital, que realiza a aquisição do sinal de tensão enviado pelo circuito detector, cuja amplitude é proporcional à informação de corrente do sensor de oxigênio. Além deste sinal, o conversor também captura o sinal de tensão enviado pelo sensor que monitora a temperatura do gás e as tensões de aquecimento da célula eletrolítica de zircônio e de polarização do alarme do sensor que foram ajustadas.

O circuito eletrônico que recebe o sinal de corrente do sensor de oxigênio, foi desenhado no programa *CircuitMaker* e sua placa de circuito impresso, no programa *TraxMaker*, projetada para ser confeccionada em uma única camada.

Basicamente o circuito do detector é composto pelos seguintes blocos funcionais :

- Uma fonte de alimentação com entrada para tensão alternada em 110 V ou 220 V selecionada por chave comutadora unipolar de acionamento não automático, composta de um transformador (T1) 110-220 VCA / ±12 VDC, uma ponte retificadora de 1 ampère (D2) e circuitos de regulação executados com diodos zeners e filtros para obtenção das tensões de ±15 VDC, ±9 VDC e + 6,2 VDC que irão suprir o conversor analógico digital, o sensor de temperatura LM35, a polarização da célula eletrolítica de zircônio e circuito de amplificação de corrente do sensor de oxigênio (S1) Eletrovac TO-39 Typ250;
- Uma fonte de tensão constante com ganho regulável na faixa de 1 a 4 volts com 2 watts de potência máxima, responsável pelo aquecimento do sensor de oxigênio (S1), executada com dispositivo regulador de tensão (U1) tipo LM317, sendo a tensão máxima aplicada sobre o sensor limitada a 4 volts através de um potenciômetro interno (R2) e ajuste externo no painel de comando pelo potenciômetro R3. Ao conjunto da fonte foi acoplado um par de proteções (C1/C2 e C3/C4) contra oscilações parasitas, que surgem na linha de alimentação associadas ao próprio funcionamento do LM317, devido às suas realimentações internas;

- Um circuito para a amplificação da corrente fornecida pelo sensor de oxigênio (S1), e que disponibiliza para o conversor A/D um sinal de tensão proporcional à concentração de oxigênio. O circuito de amplificação de corrente foi projetado utilizando um CI TL084 , que opera comparando a tensão enviada pelo sensor e a tensão de referência, pré-ajustada por meio do potenciômetro R15, de forma a poder sensibilizar o circuito de alarme através da polarização do SCR1 e dos transistores Q1 e Q2;
- Um circuito de alarme sonoro , que tem sua atuação determinada pela comparação realizada pelo CI TL084C entre a tensão enviada pelo sensor e a pré-ajustada. Um nível elevado da concentração de oxigênio irá enviar uma tensão ao potenciômetro R12, cujo ajuste determinará o disparo do gate e a condução do SCR1, energizando a bobina do relé que ativa o alarme sonoro;
- Um circuito de alarme visual que também é comandado pelo CI TL084C quando este aplica nos transistores Q1 e Q2 uma tensão que determina seu estado de condução, conforme os valores ajustados dos potenciômetros R19 e R20. Através do ajuste diferenciado de R19 e R20 podemos estabelecer uma indicação qualitativa da concentração de oxigênio, visto que a condução dos transistores Q1 e Q2 não ocorrerá para os mesmos valores de tensão enviados pelo detector de vazamento de hélio.

  Ao contrário do que ocorre no alarme sonoro em que o *reset* se dá de forma manual, no alarme visual ele é automático, em função do desaparecimento do nível de tensão na saída do diodo D6, que determinou a condução dos transistores, servindo desta forma como uma indicação de situações momentâneas de variação da concentração de oxigênio que não representam risco de grave contaminação ou perda de quantidades de hélio além da normalidade.
- o circuito detector ainda dispõe de um sensor para monitorar a temperatura do gás, utilizando para isso um circuito integrado tipo LM35 (U5), sensor de temperatura que opera na faixa de –55 a 150 graus Celsius, com ganho de 10mV/^{0}C.

No circuito detector optou-se por realizar o aquecimento do sensor de oxigênio (S1) através de uma fonte de tensão constante, em virtude de o sinal de corrente gerado por este sensor apresentar uma dependência da variação de temperatura muito pequena, aproximadamente de 0,034% do sinal medido por grau Celsius [15].

Como o dispositivo deverá atuar, predominantemente, na monitoração de gases com temperaturas próximas da ambiente, na faixa entre 15 ºC e 20 ºC aproximadamente, e sua calibração é efetuada para temperatura de 25 ºC, o patamar de erro devido à variação da corrente fornecida pelo sensor em função da variação da temperatura, não será significativo, devendo permanecer na faixa de 0,3%, não comprometendo a confiabilidade do equipamento, e em contrapartida, permitindo a execução de um circuito eletrônico de muito menor complexidade.

As situações mais extremas ocorrerão durante as transferências de hélio líquido para os criostatos, quando o gás recuperado que chega ao sensor atinge temperaturas próximas a 0 ºC ou mesmo inferiores. Nestes casos, poderão ocorrer variações em torno de 25 ºC em relação ao ponto de calibração do sensor, o que deverá produzir um erro de aproximadamente 0,85% no sinal medido.

A figura 2.4 apresenta o diagrama esquemático do circuito detector, com a indicação de seus componentes principais.

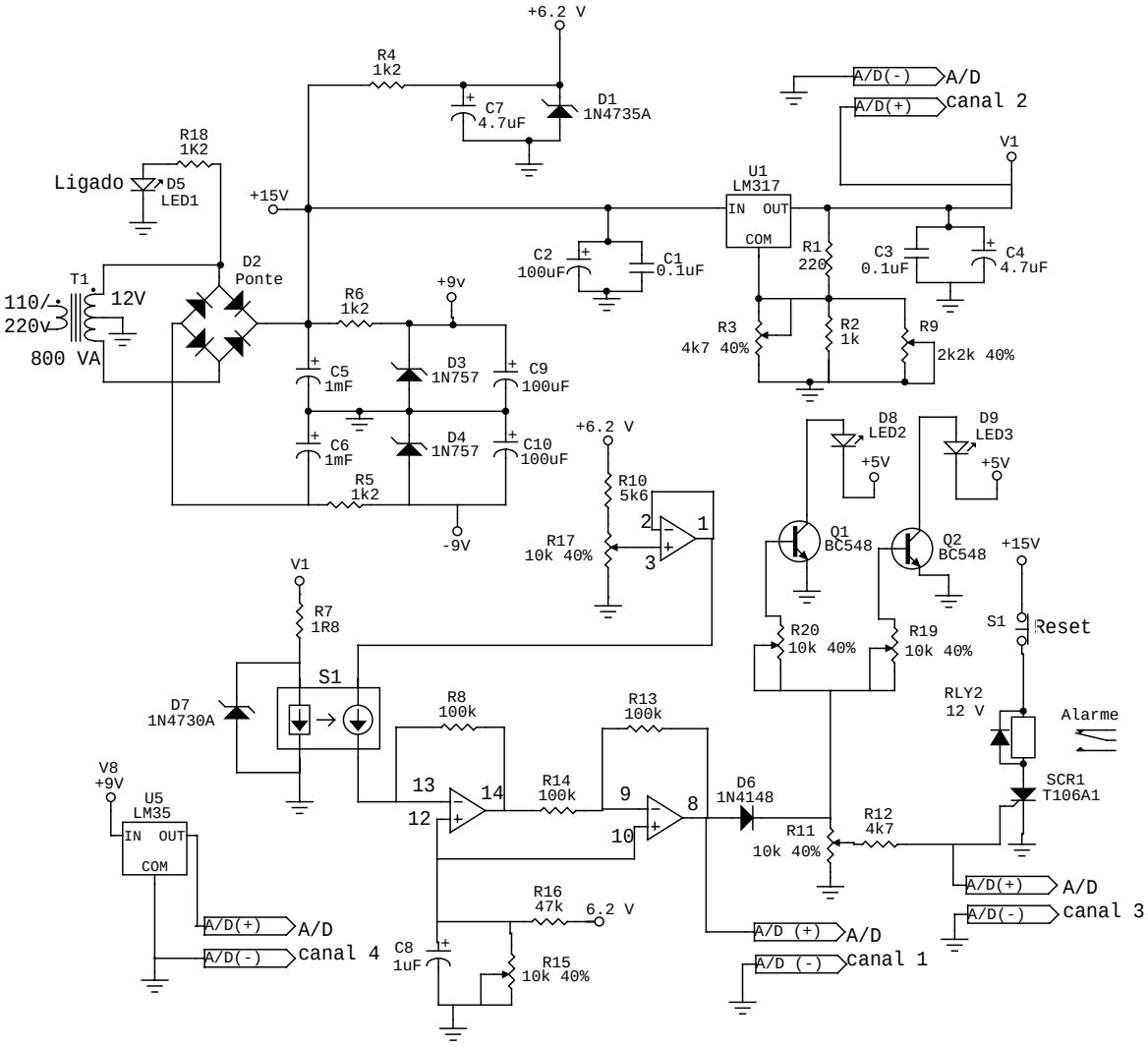


Figura 2.4 : Diagrama do circuito detector

2.5 – O Sistema de Aquisição de Dados

Para realizar a aquisição dos sinais que serão processados no circuito detector, a saber: o sinal de corrente enviado pelo sensor de oxigênio, tensão de aquecimento do sensor, tensão de polarização e tensão correspondente à temperatura do gás monitorado, foi utilizado um sistema de aquisição, composto de um amplificador com ganho ajustável, um filtro passa-baixas com freqüência de corte de 100 Hz, um conversor analógico digital (ADC) de 16 bits e freqüência de amostragem de até 200 KHz, com quatro canais analógicos e uma saída serial.

A porta paralela foi utilizada como a interface de comunicação com o microcomputador, e um programa de controle que permite o fácil uso do sistema de aquisição foi desenvolvido em linguagem de programação orientado a objeto.

A figura 2.5 apresenta um diagrama em blocos do sistema de aquisição, identificando os módulos funcionais que compõem o sistema.

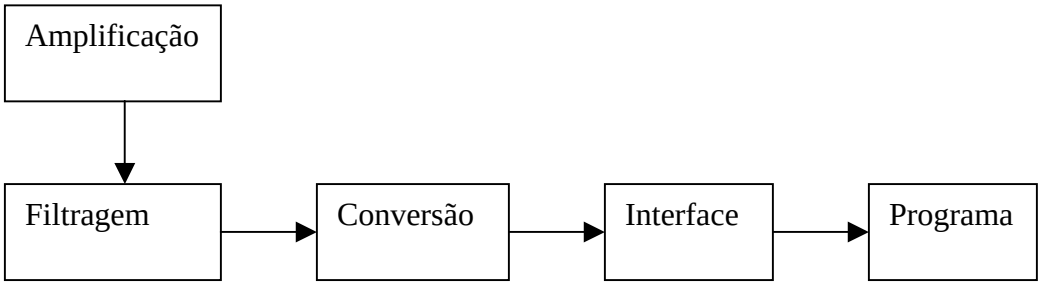


Figura 2.5 : Diagrama em blocos do sistema de aquisição.

O circuito eletrônico do sistema de aquisição, é apresentado na figura 2.6, e também foi desenhado no programa CircuitMaker e sua placa de circuito impresso, no programa TraxMaker, projetada para ser confeccionada em uma única camada.

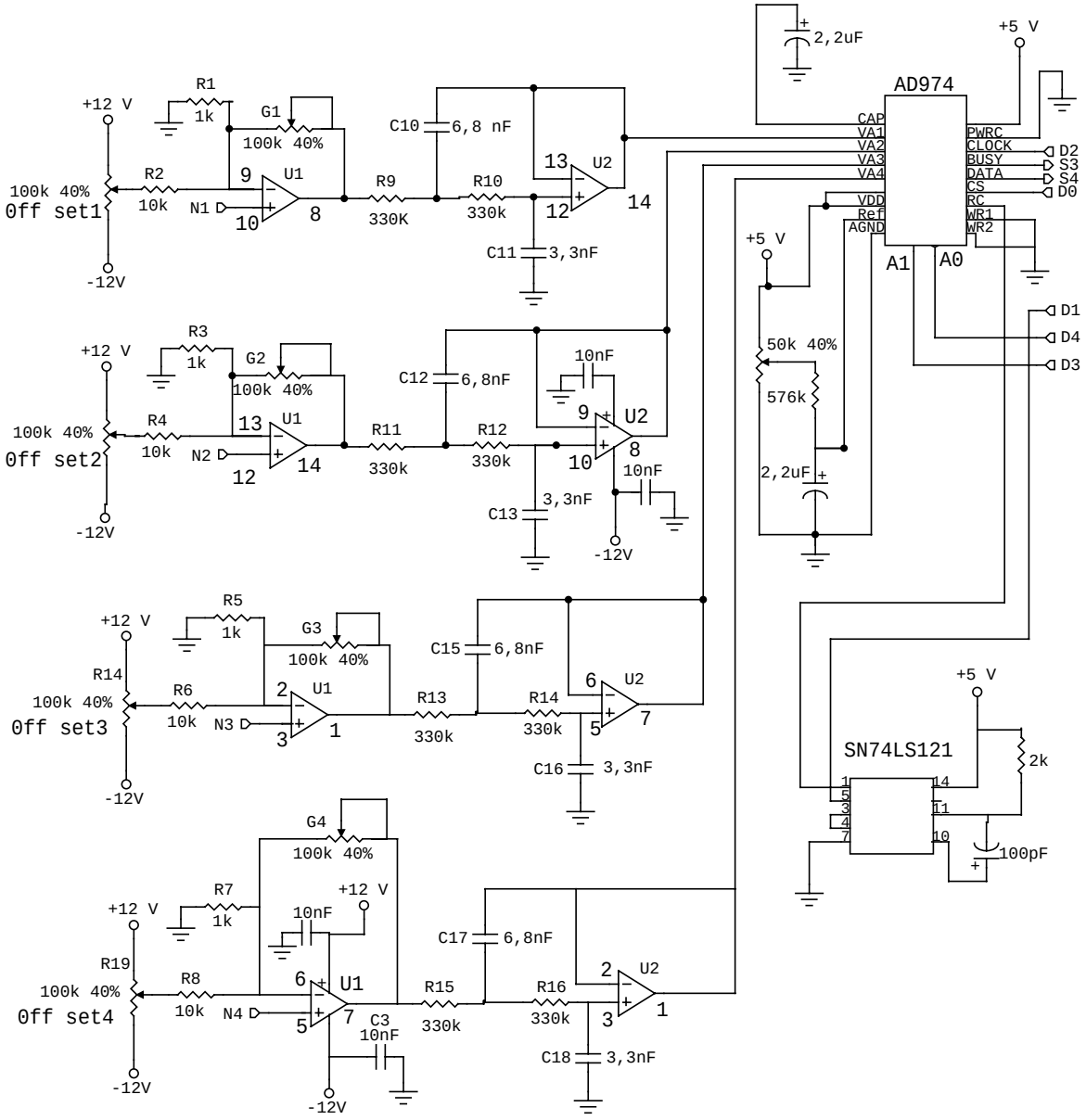


Figura 2.6 : Diagrama esquemático do circuito do sistema de aquisição

2.5.1 – Módulo de Amplificação

O estágio de amplificação dos sinais, utiliza um amplificador operacional quádruplo da Texas Instruments, modelo TL084 (U1), configurado no modo amplificador não inversor, com ganho variável de 1 a 100.

O ganho variável deste amplificador, possibilita o ajuste do nível do sinal em aquisição, de forma que este sempre mantenha um comportamento linear dentro da faixa de interesse.[16] [19]

Suas principais características são:

- Baixo consumo;
- Baixo *off-set*;
- Alta impedância de entrada;
- Alto s*lew-rate* (13 V/μs);
- Proteção contra curto-circuito na saída

Por possuir um alto *slew-rate*, tabelado em 13V/μs, que é taxa máxima de variação da saída de um amplificador operacional real[17], e a partir do valor da freqüência máxima de 100 Hz, garantimos que o valor de V_0 obtido é bem superior aos limites de saturação do amplificador, e portanto durante toda a excursão do sinal, de 0 V a 5 V, o valor de *slew-rate* não será ultrapassado. Dessa forma os valores de tensão de saída não serão distorcidos pela incapacidade do amplificador operacional de acompanhar a velocidade de variação do sinal que esta sendo adquirido.

2.5.2– Módulo de Filtragem

Para realizar a filtragem no sinal adquirido, foi utilizado em cada canal um filtro Passa-Baixas Butterworth de 2ª Ordem, com freqüência de corte de 100 Hz, através também do CI TL084 (U2), fabricado pela TEXAS.

A opção por esse filtro, foi em virtude de ele apresentar uma banda passante plana, uma distorção média, não necessitarmos de taxas de transição rápidas, serem fáceis de projetar e possuírem função de transferência simples.[17] [18]

Como o projeto utilizará uma freqüência de amostragem de 100 Hz, a aquisição poderá ser realizada com sucesso para um sinal de freqüência máxima de 50 Hz, de acordo com o teorema de Nyquist, o que satisfaz plenamente as nossas necessidades

O circuito do filtro Passa-Baixas de 2ª ordem, se baseia na utilização de amplificador operacional com amplificador de ganho unitário, alimentado por um circuito RC.[17] [23]

Para a determinação dos componentes passivos, determinou-se $R_1 = R_2$ e $C_1 = 2C_2$, fixou-se o valor dos resistores e calculou-se os valores dos capacitores. Este circuito irá permitir a passagem de freqüências inferiores a:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi R_2 C_2} \quad \text{(Hz)} \qquad (2.8)$$

2.5.3 – Módulo de Conversão

O sistema de aquisição utiliza um conversor analógico digital modelo AD974, fabricado pela Analog Devices [21], cujo funcionamento pode ser resumido como se segue:

- Este CI é controlado por dois sinais, R/C e CS;
- Quando o sinal R/C vai para nível baixo, por um intervalo de 50 ns, o sinal de entrada será armazenado num vetor de capacitor interno e a conversão terá início;
- Uma vez iniciado o processo de conversão, o sinal BUSY, irá para o nível baixo até que a conversão esteja completa;
- Internamente, os sinais R/C e CS são levados para nível baixo juntos não existindo a exigência de que o sinal seja levado para o nível baixo primeiro quando iniciada a conversão;
- Deverá haver um atraso de 10 ns entre os dois sinais iniciando em nível baixo;
- Completada a conversão, o sinal de BUSY retornará para o nível alto e o AD974 reiniciará a busca do sinal de entrada.

As características principais que determinaram a utilização deste conversor estão resumidas na figura 2.7.[22]

- Resolução de 16 bits
- Freqüência de amostragem de 200 Khz
- Interface Serial
- Dispor de 4 canais analógicos multiplexados
- Minimizar erro de fundo de escala, por meio de uma tensão de referência de 2,5 V
- Faixa de tensão de entrada de –10 V a +10 V (adotada faixa de 0 a 5 V)
- Utilizar poucos componentes externos
- Poder utilizar fonte de alimentação de 5 V

Figura - 2.7 : Características do conversor AD974

Durante os testes do protótipo do sistema, foram detectadas instabilidades no processo de aquisição, sendo verificado que a porta paralela do microcomputador não conseguia gerar o pulso R/C na velocidade adequada para o processo de conversão do AD974.

Para solucionar a inadequação, optou-se pela geração do pulso via hardware, utilizando-se para isso o CI 74LS121, um monoestável, cuja largura de pulso de saída pode ser ajustada via rede RC (resistor-capacitor).

Conforme as informações do fabricante do componente, ao se utilizar um capacitor de 100 pF e um resistor de 1,2 KΩ, a largura do pulso ficará em torno de 100 ns.

Na figura 2.8 é apresentado o quadro com descrição dos pinos do CI, utilizados neste projeto.

PINOS	DESCRIÇÃO
CS	Seleciona a entrada do CI. Com R/C em LOW, e o CS na borda de descida, iniciará a conversão. Com R/C em *High*, e CS na borda de subida, habilitará a seqüência de saída de dados serial.
DATA CLOCK	*Clock* de entrada ou saída do dado serial, dependente do estado lógico do pino EXT/INT. Para usa-lo como *clock* de dados interno, EXT/INT = lógica *LOW*.
R/C	Usado para controlar o modo de conversão e leitura.
DATA	Saída de dado serial
A1, A0	Entrada dos endereços dos multiplexadores.
BUSY	Saída de *BUSY* vai ao nível baixo quando uma conversão é iniciada, e permanece em nível baixo até que a conversão esteja completa e os dados estejam armazenados no registrador de deslocamento interno do CI

Figura 2.8 : Descrição funcional dos pinos do conversor AD974 utilizados.

2.5.4 - O Programa de Aquisição

Como o *hardware* projetado possui características bastante específicas para sua conexão à porta paralela do PC, não há um programa ou dispositivo *driver* que possa realizar diretamente esse interfaceamento, sem que tenha sido desenvolvido especificamente para essa finalidade.

Assim, o conjunto de ferramentas de *software* que o sistema possui tem como objetivo, prover um programa que possa efetuar a leitura dos dados do ADC, salvá-los e construir os gráficos utilizando estes dados; disponha de um VI (*Virtual Instrument*) para linguagem *LabView*; e uma DLL (*Dynamic Link Library*) que possibilite a incorporação do *hardware* projetado a programas de outras linguagens.

Informações mais detalhadas sobre as ferramentas de *software*, interfaceamento, DLL, *Virtual Instrument* e temporização, são apresentadas no apêndice deste trabalho, bem como o código fonte do programa.

2.6 - Testes e Calibração

Para que se obtivesse uma caracterização de funcionamento do Detector de Vazamento de Hélio por via Indireta, foram realizados ensaios para sua calibração e simulações de contaminação e fuga.

A realização dos ensaios foi dividida da seguinte forma :

- Caracterização de resposta;
- Sensibilidade à contaminação (simulação de fuga).

Nos testes de caracterização de resposta, buscou-se identificar um modelo matemático que traduzisse o comportamento do detector em face à ocorrência de contaminação do hélio monitorado e também a calibração do equipamento.

Nos testes de sensibilidade, o objetivo foi avaliar o tempo de resposta do detector a contaminações e os níveis de perdas associadas a estes tempos, simulando situações possíveis de falhas na operação com criostatos ou na linha de recuperação.

2.6.1 – Testes de Caracterização de Resposta

O processo dos testes de caracterização de resposta do detector foi realizado primeiramente sem que se permitisse o acúmulo do ar injetado como contaminante do hélio, e em seguida com acúmulo do ar injetado. A execução dos testes obedeceu à seguinte rotina :

1- Inicialmente confinou-se um volume de gás hélio puro em um balão;
2- O dispositivo mecânico de proteção do sensor de oxigênio foi conectado ao balão por meio de uma mangueira de látex;
3- Foi executada a descontaminação (expulsão das partículas de ar) da mangueira e do dispositivo mecânico de proteção do sensor, abrindo-se a válvula do balão e liberando-se a passagem do gás hélio confinado, através da mangueira e do sensor para dentro de um reservatório de água;
4- Considerou-se o sensor e mangueira limpos, quando o sinal de tensão enviado pelo detector atingiu e se estabilizou no valor de 1,172 V;
5- Concluído o processo de limpeza, obstruiu-se a saída após o sensor e também a conexão do balão para a mangueira, confinando-se assim um volume de 10 ml de hélio na mangueira de látex;

6- Injetou-se um volume determinado de 1ml de ar no volume de hélio confinado na mangueira de látex;
7- Aguardou-se que o sinal de tensão enviado pelo sensor se estabilizasse em um novo patamar ;
8- Anotados os dados, repetiu-se todo o processo de descontaminação e confinamento do mesmo volume de hélio, e injetou-se em seguida 2 ml de ar no gás confinado;
9- Repetiu-se processo com volumes crescentes do ar injetado como contaminante, até o volume de 15 ml;
10- Para os testes realizados com acúmulo do contaminante, foram injetados volumes de ar iguais a 1ml, de forma sucessiva, até que o volume de gás hélio confinado estivesse contaminado com um volume de 15 ml de ar.

NOTA : Foi considerada a composição do ar com uma concentração média de 21% de oxigênio.

As figuras 2.9-A, 2.9-B e 2.9-C, apresentam os diagramas esquemáticos das montagens realizadas para os testes de calibração.

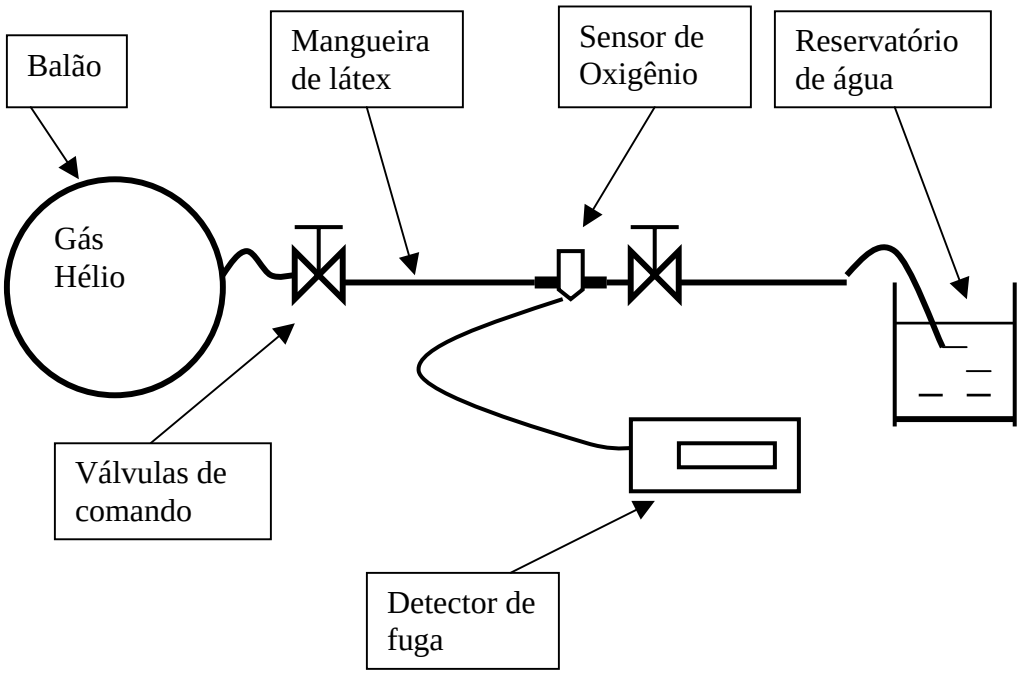


Figura 2.9-A : Diagrama esquemático da montagem para calibração do detector

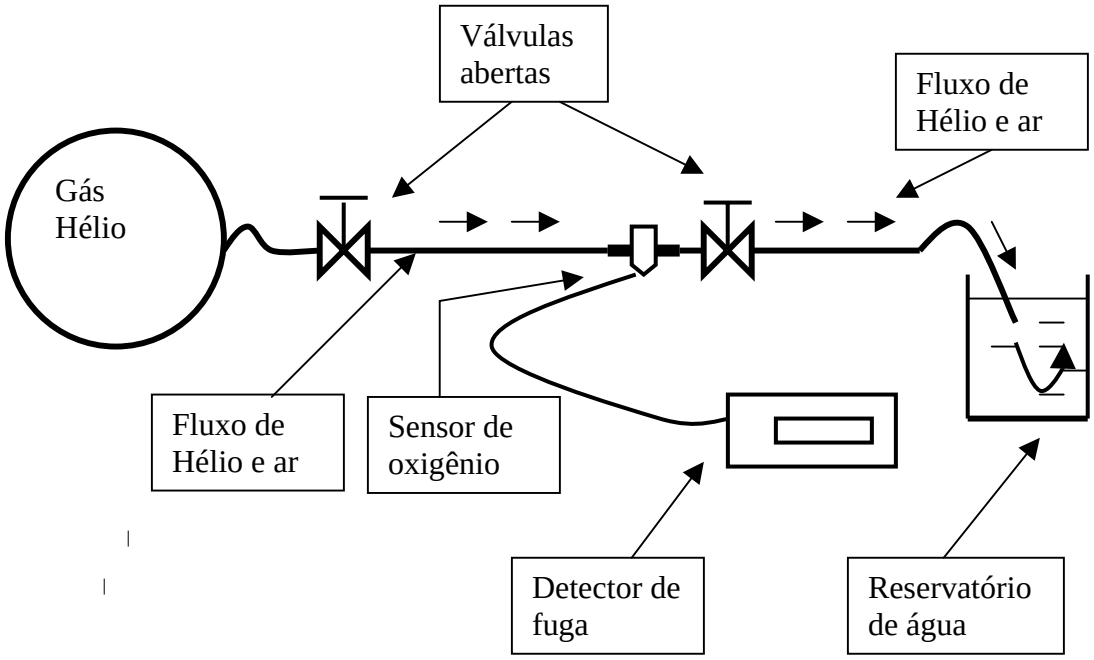


Figura 2.9-B : Diagrama esquemático do processo de descontaminação da mangueira de látex e da proteção mecânica do sensor de oxigênio

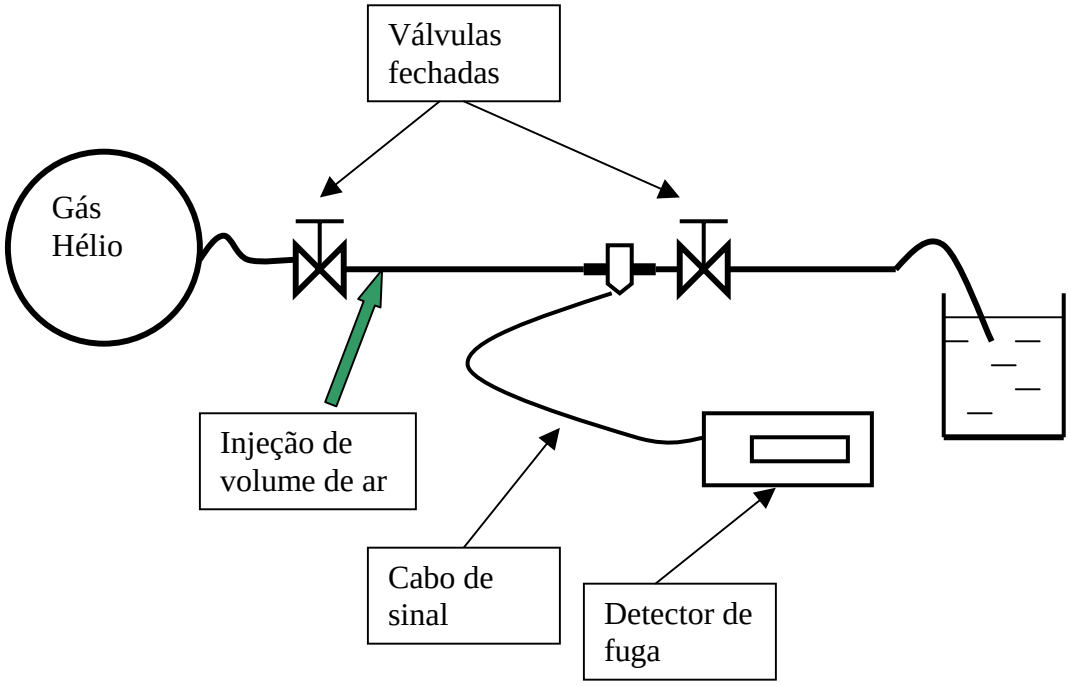


Figura 2.9-C : Diagrama esquemático do processo de contaminação do hélio Confinado

2.6.1.1– Medidas realizadas

Conforme descrito no item 2.6.1, foram realizadas medidas de tensão fornecidas pelo detector, em função do volume de ar injetado no hélio confinado na mangueira de látex conectada ao senhor, primeiramente sem acúmulo dos volumes de ar injetados e em seguida, em outro experimento, permitindo o acúmulo do ar injetado.

Transcorrido o tempo de aquecimento do sensor, aproximadamente de 3 minutos, as medidas foram iniciadas, sendo que para cada volume de ar ser injetado, repetiu-se o procedimento por três vezes e adotou-se a média aritmética dos valores de tensão lidos como a medida apresentada .

Os resultados obtidos são apresentados na tabela 2.2 e no gráfico 1 (figura 2.10), para os testes sem acúmulo do ar; e na tabela 2.3 e no gráfico 2 (figura 2.11), para os testes em que se permitiu o acúmulo do ar.

Volume de ar injetado (ml)	Concentração de Oxigênio (%)	Tensão do Detector (V)	Barra Erros
0	0	1,18	0,0236
1	2,1	1,30	0,026
2	4,2	1,50	0,03
3	6,3	1,70	0,034
4	8,4	1,92	0,0384
5	10,5	2,16	0,0432
6	12,6	2,53	0,0506
7	14,7	2,81	0,0562
8	16,8	3,04	0,0608
9	18,9	3,29	0,0658
10	21,0	3,62	0,0724
11	23,1	3,81	0,0762
12	25,2	4,07	0,0814
13	27,3	4,33	0,0866
14	29,4	4,59	0,0918
15	31,5	5,20	0,104

Quadro 2.2 : Tensão do detector em função da concentração de oxigênio.

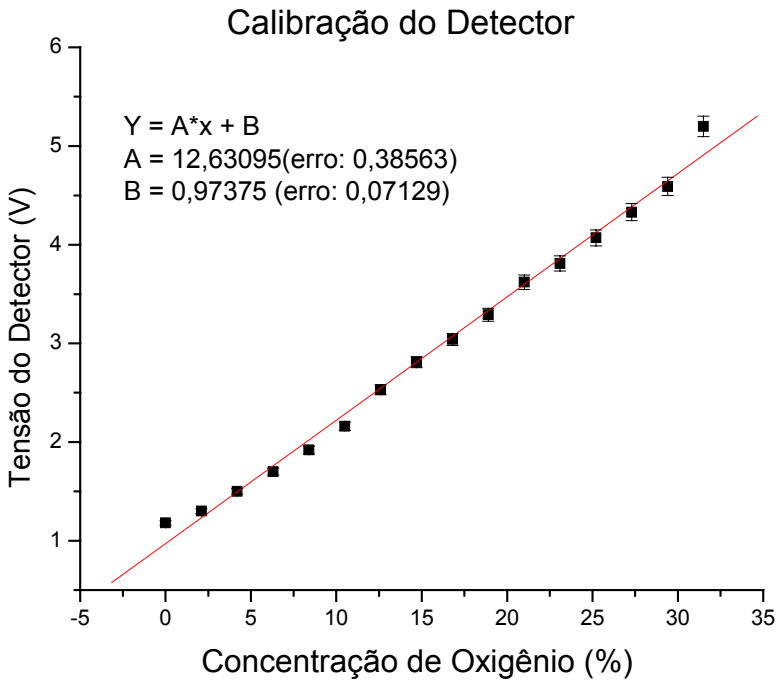


Figura 2.10 : Gráfico 1- Tensão fornecida pelo detector em função da variação da concentração de oxigênio presente no gás hélio monitorado.

A tensão de aquecimento do sensor foi ajustada para 3,6 V, a de polarização em 1,2 V e a temperatura média era de 21 ºC.

As medidas mostraram que a resposta do detector é linear com a concentração de oxigênio, apresentando portanto coerência com os dados fornecidos pelo fabricante do sensor de oxigênio, *Electrovac GMBH* [6], que mostra nas curvas típicas do sensor, linearidade da corrente fornecida em função da variação da concentração de oxigênio, para o patamar de temperatura em que foram realizadas as medidas.

Volume de ar injetado (ml)	Concentração de Oxigênio (%)	Tensão do Detector (V)	Barra de Erros
0	0	1,18	0,0246
1	2,1	1,29	0,0258
2	4,2	1,33	0,0266
3	6,3	1,37	0,0274
4	8,4	1,44	0,0288
5	10,5	1,50	0,03
6	12,6	1,55	0,031
7	14,7	1,63	0,0326
8	16,8	1,71	0,0342
9	18,9	1,81	0,0362
10	21,0	1,91	0,0382
11	23,1	2,02	0,0404
12	25,2	2,16	0,0432
13	27,3	2,29	0,0458
1 4	29,4	2,44	0,0488
15	31,5	2,63	0,0526

Quadro 2.3 : Tensão do detector em função do volume de ar acumulado no gás hélio confinado.

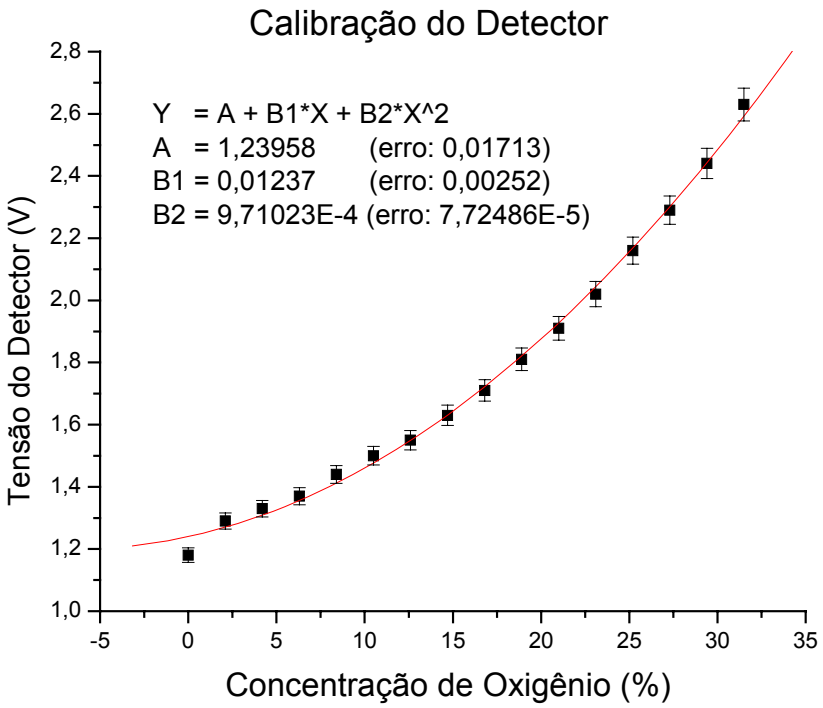


Figura 2.11 : Gráfico 2 – Variação da tensão do Detector em função da concentração de oxigênio acumulada no gás hélio confinado.

2.6.2 – Sensibilidade à Contaminação

Para os testes de sensibilidade à contaminação, o dispositivo de proteção mecânica do sensor de oxigênio foi conectado a um duto de 19 mm de diâmetro interno e de comprimento variável, e este ligado a um balão de hélio puro.

Realizada a descontaminação do duto e do dispositivo de proteção mecânica do sensor, liberou-se o gás hélio do balão, para o preenchimento de todo o volume disponível .

Transcorrido o tempo de aquecimento do sensor, iniciou-se as medidas da tensão fornecida pelo detector, arquivadas em um programa de computador desenvolvido em linguagem de programação *LabView 5.0* [8] na forma dos índices de concentração de oxigênio presentes no gás hélio.

Estabilizada a leitura da concentração de oxigênio, introduziu-se no reservatório tubular de hélio, um orifício de vazamento, com diâmetros variados e afastamentos distintos em relação ao sensor de oxigênio.

A figura 2.12 mostra de forma esquemática o arranjo elaborado para os testes de sensibilidade à contaminação.

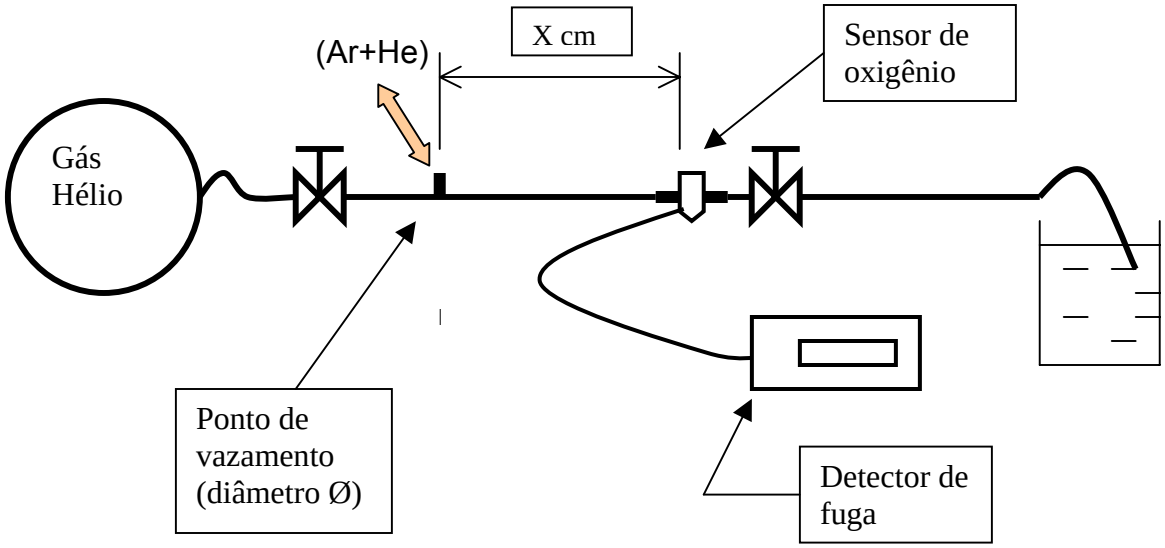


Figura 2.12 : Diagrama esquemático representando a montagem realizada para avaliação da sensibilidade do detector à contaminação.

2.6.2.1 – Medidas experimentais realizadas

A resposta do Detector de Vazamento a uma simulação de fuga de hélio, através de uma válvula de esfera de ¾", orifício de fuga de 6,3 mm de diâmetro, é apresentada nas figuras 2.13, 2.14, 2.15, para uma distância do ponto de vazamento ao sensor, de 20 cm, 40 cm e 60 cm respectivamente.

Após a limpeza do duto, o gás hélio foi confinado e aguardou-se 10 minutos de estabilização das leituras , quando então se procedeu a abertura total do orifício de 6,3 mm de diâmetro, iniciando-se a contaminação do gás .

Transcorridos aproximadamente 7 minutos após a abertura do orifício, o detector acusou a contaminação do gás (ponto A no gráfico 2 da figura 2.13), passando a informar

a presença de um processo de evolução gradativa do nível de concentração de oxigênio presente no hélio.

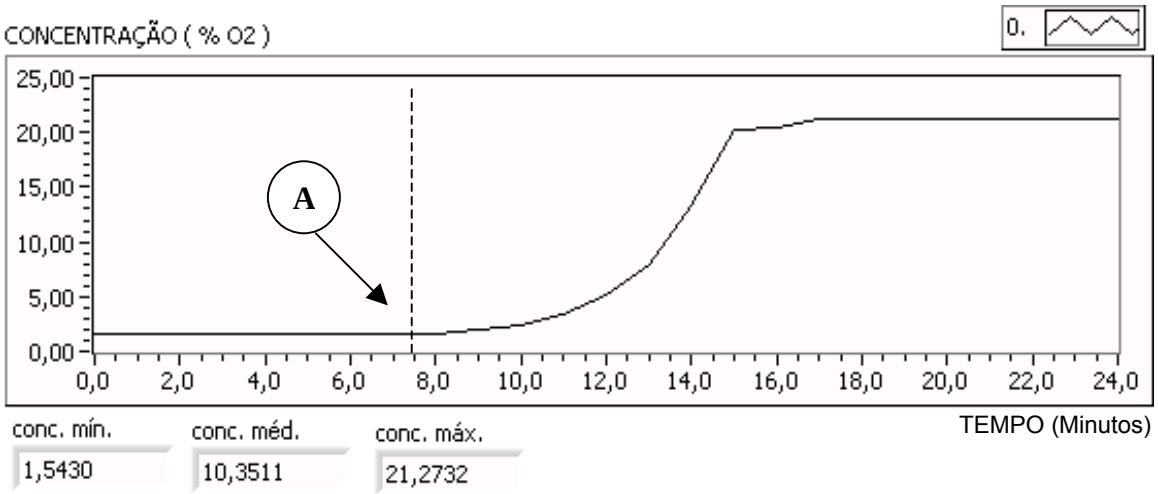


Figura 2.13 : Gráfico 3 - Resposta do Detector à contaminação através de um orifício de 6,3 mm de diâmetro a 20 cm do sensor de oxigênio.

Concluído os primeiros testes, procedeu-se o deslocamento do ponto de fuga para 40 cm de distância do sensor, mantendo-se o mesmo diâmetro de 6,3 mm para o orifício. Realizou-se um processo de descontaminação do duto e aguardou-se que as leituras fornecidas pelo Detector se estabilizassem, para só então efetuar a abertura do orifício iniciando-se a contaminação do gás hélio confinado.

Após um período de aproximadamente 12 minutos transcorridos da abertura do orifício, o detector assinalou a contaminação do gás (ponto A, no gráfico 3 figura 2.14), passando a apresentar um quadro evolutivo no nível da concentração de oxigênio presente no gás hélio confinado.

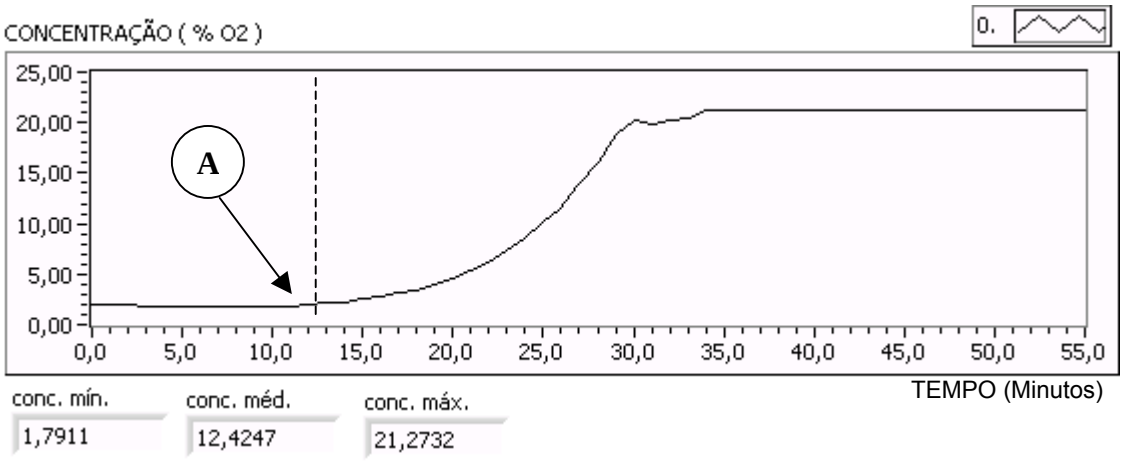


Figura 2.14 : Gráfico 4 - Resposta do detector à contaminação através de um orifício de 6,3 mm de diâmetro a 40 cm do sensor de oxigênio.

Em seguida realizou-se, conforme anteriormente, a descontaminação do duto e a observação do período de estabilização das leituras de tensão do Detector, para só então efetuar a abertura do mesmo orifício de 6,3 mm de diâmetro, mas agora a uma distância de 60 cm da sonda de oxigênio.

Depois de aproximadamente 16 minutos do início da contaminação, o detector assinalou a presença da contaminação (Ponto A, no gráfico 4 figura 2.15), passando a apresentar valores crescentes no nível de concentração de oxigênio no gás hélio confinado.

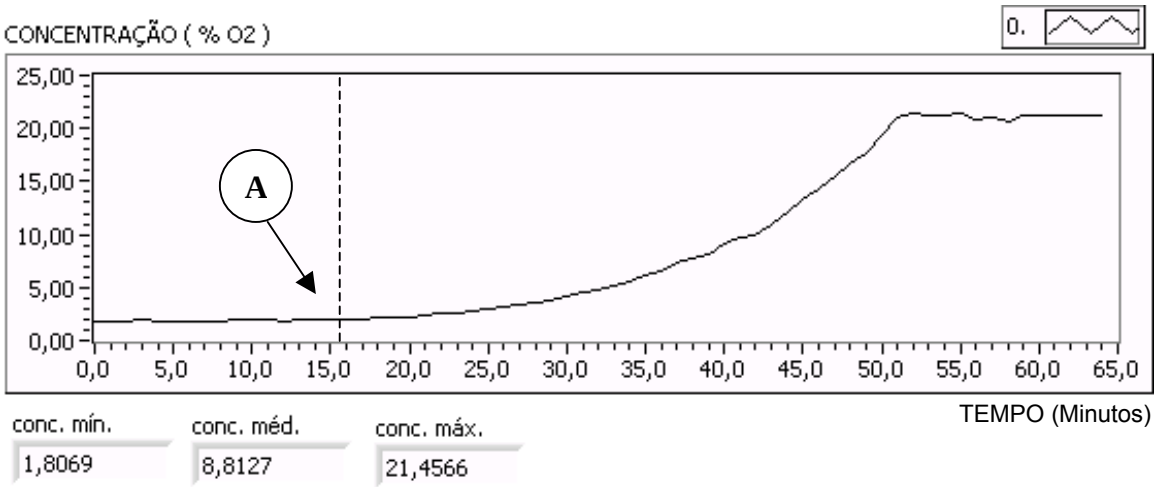


Figura 2.15 : Gráfico 5 – Resposta do detector de vazamento à contaminação através de um orifício de 6,3 mm de diâmetro a 60 cm do sensor de oxigênio.

Como não havia fluxo de gás hélio de forma a proceder ao arraste das moléculas do gás contaminante, o Detector apresentou uma resposta com padrão semelhante aos testes de contaminação do hélio confinado, com acúmulo do contaminante, figura 2.11.

2.6.3 – Medidas com Gás de Mistura Certificada

Para efeito de verificação de sensibilidade e precisão do Dispositivo Detector de Vazamento, foram também realizadas, no Laboratório de Biocerâmica, medidas utilizando gás com mistura certificada, no padrão He + 5% de O_2.

O Dispositivo Detector foi conectado através de um duto de látex a um reservatório contendo o gás de mistura certificada, foi realizada a limpeza dos dutos e da proteção mecânica do sensor, por meio da liberação do gás através do duto e da proteção mecânica do sensor, seguindo para uma saída submersa em um recipiente com água.

O Dispositivo Detector foi ajustado para realizar a média de 03 (três) aquisições a cada minuto, com as tensões de aquecimento e polarização do sensor seguindo o padrão dos testes anteriores ou seja, 3,6 V e 1,2 V respectivamente.

A resposta do Dispositivo Detector é mostrada na figura 2.16, indicando a estabilização da concentração média de oxigênio em aproximadamente 5,8%.

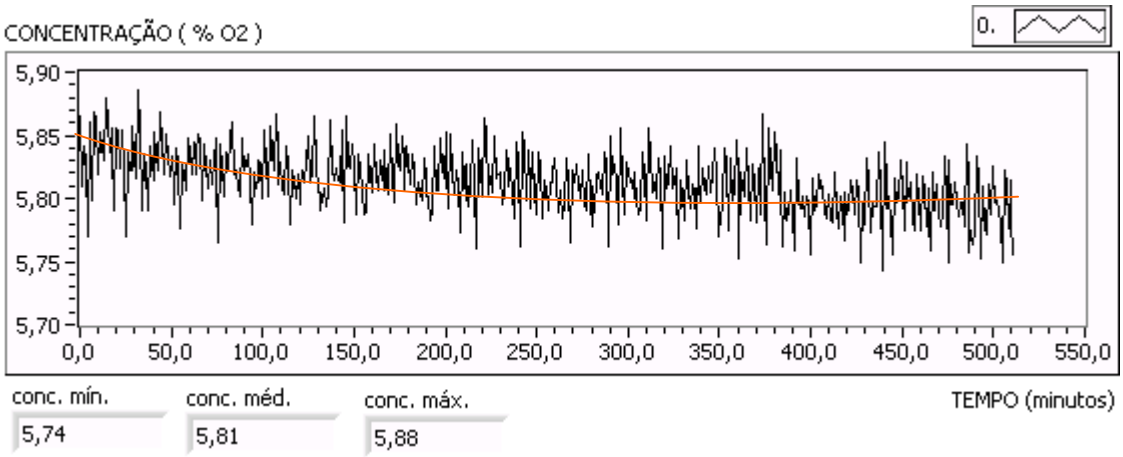


Figura 2.16 : Concentração de oxigênio presente no gás hélio, em mistura certificada.

2.7 – Detalhes Construtivos do Dispositivo Detector

A construção do dispositivo detector de fuga, buscou atender a três requisitos: confiabilidade, flexibilidade de operação e praticidade de manutenção. Partindo-se dessas premissas, optou-se pela utilização de componentes de comprovada eficiência e ampla utilização, como o sensor de oxigênio *Electrovac*, o sensor de temperatura LM35 e o conversor AD974. Os circuitos foram concebidos procurando evitar sempre que possível, configurações críticas de funcionamento para os componentes e suscetibilidade do sistema a interferências.

As interfaces foram pensadas de maneira que não fosse necessário um elevado número de ajustes para a operação do dispositivo, o que poderia dificultar sua aplicação em um número expressivo de situações distintas.

Para se obter praticidade de manutenção, desde a sua inserção ao sistema, foi buscada a forma que menos interferisse na rotina de funcionamento do mesmo. Assim, conforme projetado, o dispositivo tanto pode ser conectado à linha de recuperação de hélio, com a mesma em funcionamento, como pode também ser retirado da linha sem que seja necessário interromper sua operação. A figuras 2.17 e 2.18, mostram o detector de vazamento conectado à linha de recuperação de hélio no Laboratório de Instrumentação e Medidas.

Figura 2.17 : Detector de vazamento conectado ao ramal da Linha de Recuperação, no Laboratório de Instrumentação e Medidas

Figura 2.18 : Detalhe do detector de vazamento conectado ao ramal da Linha de Recuperação do Laboratório de Instrumentação e Medidas

O acesso ao sensor de oxigênio é obtido com facilidade e sem a necessidade de utilização de ferramentas especiais. O projeto de construção do dispositivo de proteção mecânica do sensor de oxigênio permite que ele seja totalmente desmontado, conforme é mostrado na seqüência da figura 2.19.

Figura 2.19 : Seqüência de operações necessárias para se obter acesso ao sensor de oxigênio do dispositivo detector de vazamento.

A concepção em dois módulos eletrônicos distintos, buscou racionalizar os trabalhos de manutenção do dispositivo, uma vez que o módulo detector, é responsável pelo funcionamento do sensor de oxigênio, do sensor de temperatura e nele se encontra a fonte de alimentação do equipamento. Por sua vez, o módulo conversor executa a tarefa de digitalizar o sinal de temperatura, os sinais das tensões de aquecimento e de

polarização do sensor e o da tensão proporcional à concentração de oxigênio. Este arranjo de certa forma determina setores para as causas das falhas de funcionamento que possam vir a ocorrer.

Na figura 2.20, é possível observar os dois módulos eletrônicos distintos, o de detecção, na posição superior, e o de conversão na posição inferior.

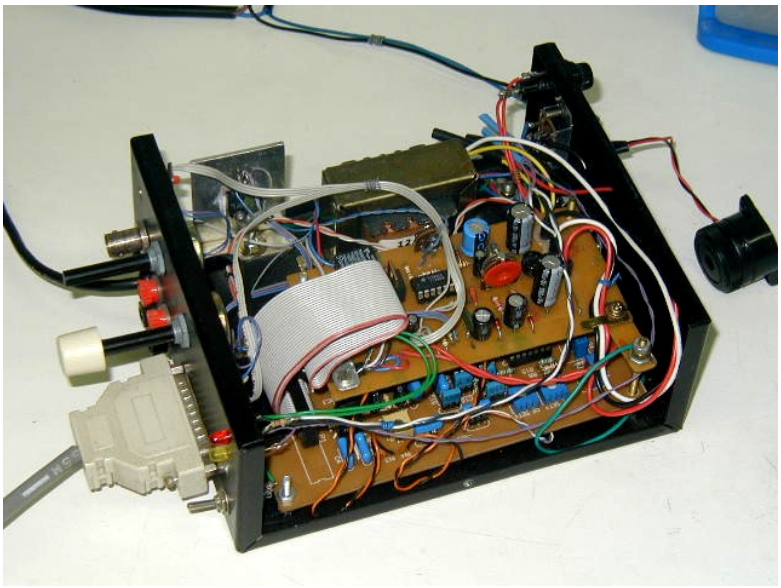


Figura 2.20 : Vista interna do detector de vazamento de hélio, apresentando os módulos eletrônicos de detecção e de conversão.

Nas figuras 2.21 e 2.22 encontram-se a máscara das trilhas e a máscara das trilhas alinhadas com os componentes respectivamente. A partir destas configurações foi confeccionada a placa de circuito impresso do módulo eletrônico de conversão, que pode ser vista nas figuras 2.23 e 2.24.

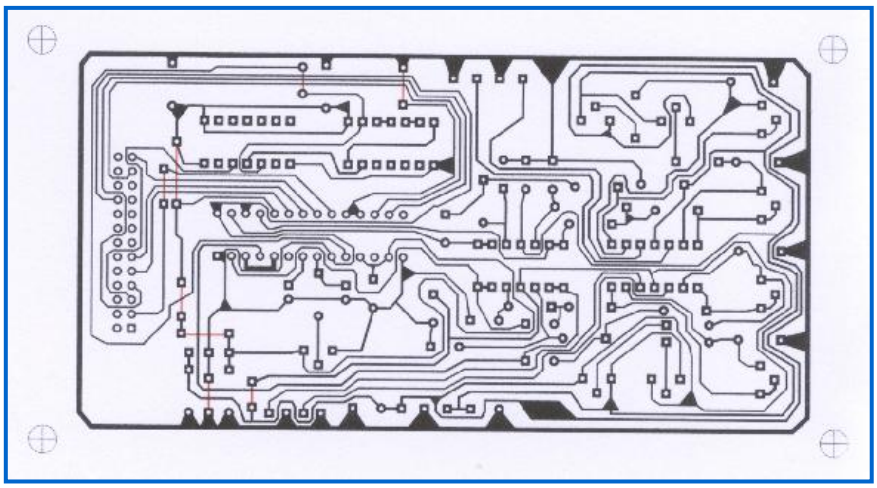


Figura 2.21 : Máscara das trilhas para fabricação do módulo conversor

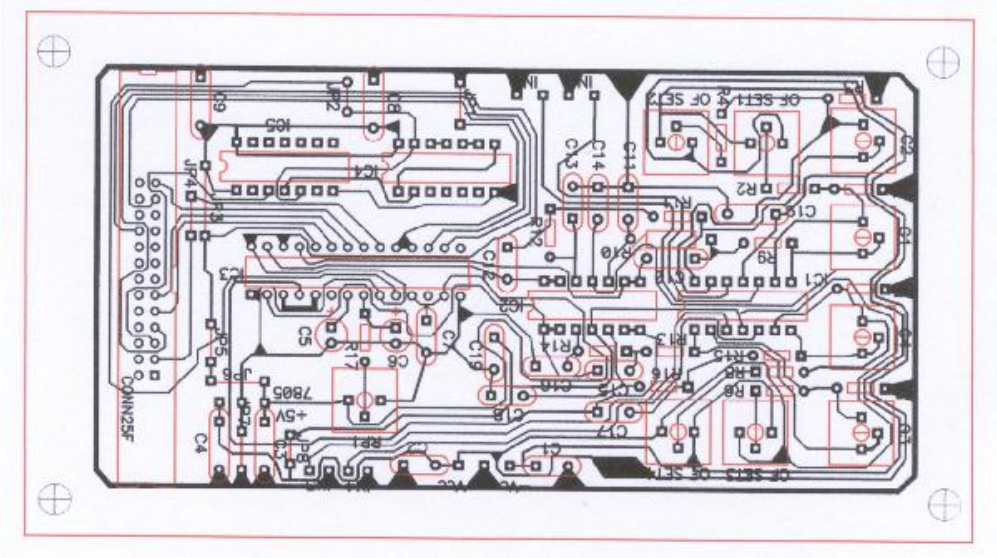


Figura 2.22 : Máscara das trilhas do módulo conversor alinhadas com os componentes.

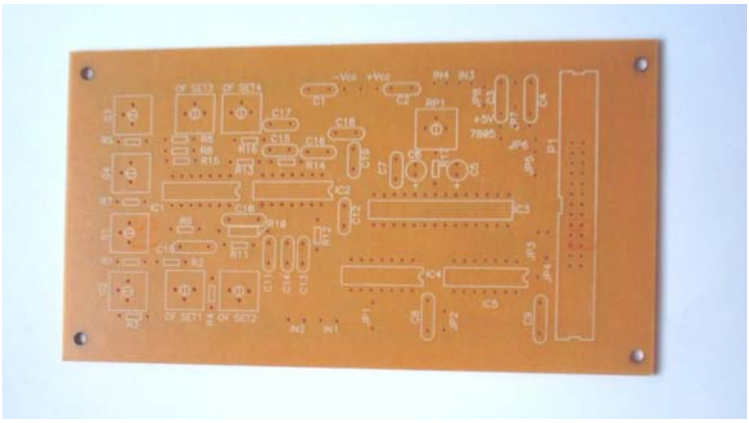


Figura 2.23 : Placa de circuito impresso do módulo de conversão (lado dos componentes)

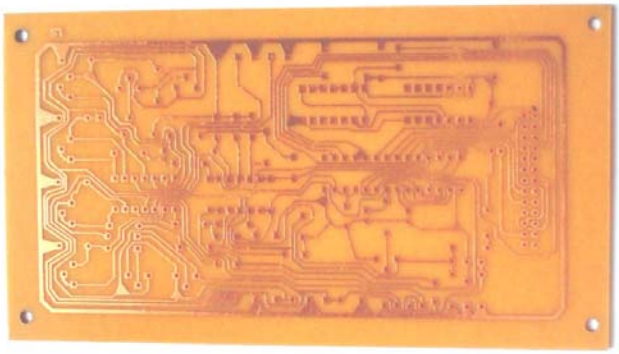


Figura 2.24 : Placa de circuito impresso do módulo de conversão (lado da solda)

Capítulo 3

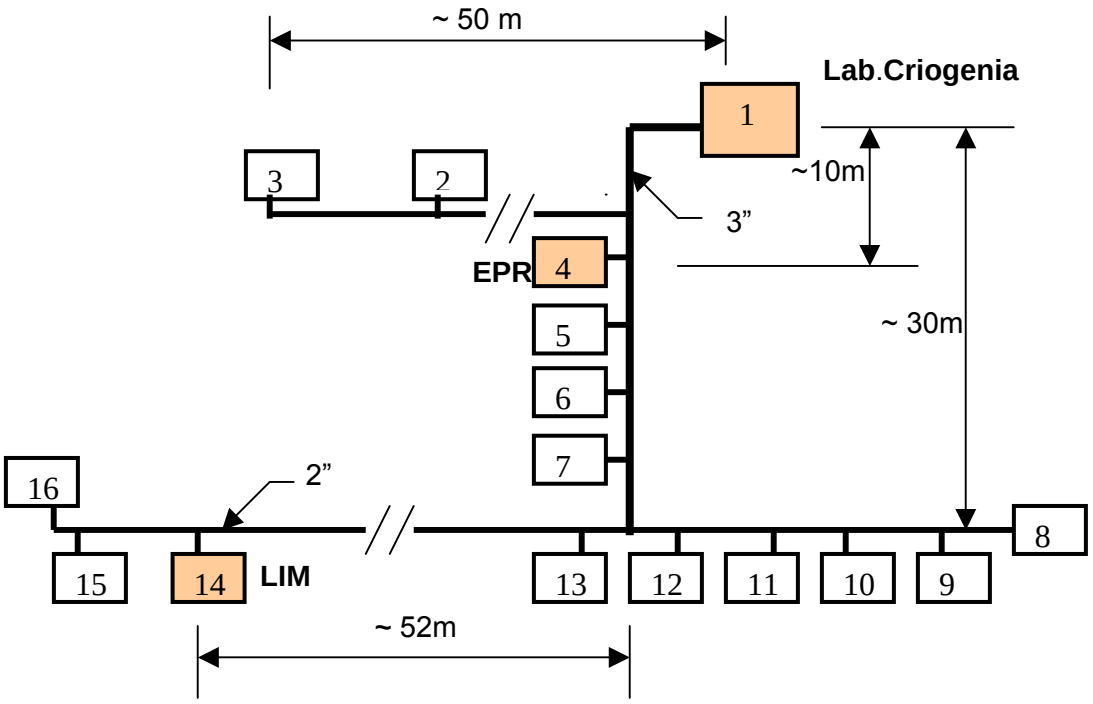
Caracterização do Sistema de Detecção de Fuga

Para que se obtivesse parâmetros quanto aos níveis de contaminação do gás hélio que retorna ao Laboratório de Criogenia pela linha de recuperação, procedeu-se a instalação do Dispositivo Detector de Vazamento de Gás Hélio por Via Indireta , primeiramente no ramal da linha de recuperação que atende ao Laboratório de Instrumentação e Sistemas de Medidas (LIM), no período de setembro de 2003 a janeiro de 2004, sendo em seguida, o Dispositivo Detector transferido para o Laboratório de Ressonância Paramagnética Eletrônica (EPR), ali permanecendo de janeiro a maio de 2004.

A escolha destes laboratórios para o levantamento de parâmetros caracterizadores do gás hélio recuperado, buscou atender os seguintes critérios :

- facilidade para acompanhar o comportamento do Detector durante o processo de medidas, de maneira que fosse possível perceber falhas eventuais de montagem, como por exemplo, em componentes, ou conexões, e distinguí-las de procedimentos normais do laboratório;
- facilidade de instalação, ou seja, inserção do equipamento sem que fosse necessário alterar a rotina ou o processo das medidas realizadas pelo laboratório;
- localizações que pudessem representar pontos de início e final da Linha de Recuperação de Hélio e dessa forma tentar agregar dados do gás recuperado proveniente de um único laboratório, e também do gás quando este já recebeu a contribuição do conjunto da maioria dos laboratórios da planta de recuperação;
- segurança na continuidade de operação da Linha de Recuperação de gás hélio que atende aos laboratórios do Centro.
- coleta de dados em pontos em que houvesse a contribuição de laboratórios de grande atividade.

A Figura 3.1, apresenta o layout da linha de recuperação de gás hélio do CBPF, com a indicação das bitolas das tubulações e distâncias de referência, do Laboratório de Criogenia aos laboratórios onde foram efetuados os levantamentos dos parâmetros, utilizando o Detector de Vazamento de Gás Hélio por Via Indireta.



POSIÇÃO	LABORATÓRIO
1	Laboratório de Criogenia
2	Magneto-ótica / Fosfatos Cerâmicos
3	Correlação Angular
4 e 5	EPR (novo e antigo)
6 e 7	Supercondutividade II e I
8 e 9	Efeito Mossbauer
10	Filmes Finos
11	Resistividade e Magnetismo
12	RMN
13	Sala Limpa (Sputtennng)
14	Instrumentação e Sistemas de Medidas (LIM)
15	Raios X
16	Magnetismo (novo)

Figura 3.1 : *Layout* da Linha de Recuperação do CBPF e laboratórios.

Nos dois pontos de levantamento de parâmetros das características do gás hélio recuperado, Laboratório de Instrumentação e Laboratório de EPR, a forma de aquisição dos dados foi idêntica. O sensor de oxigênio do Dispositivo Detector foi conectado ao

ramal da Linha de Recuperação do laboratório e a aquisição dos dados enviados pelo Detector foi realizada por meio de um programa de computador elaborado em linguagem de programação gráfica *LabView 5.0*. O mesmo programa efetuou os cálculos de concentração mínima, média e máxima para cada intervalo de aquisição e construiu gráficos dos períodos de aquisição.

A comunicação entre o Dispositivo Detector e o computador de monitoramento foi realizada de duas formas, inicialmente através de um multímetro digital equipado com uma interface GPIB e posteriormente através de um conversor analógico digital (CAD).

As figuras 3.2.A e 3.2.B, apresentam um diagrama esquemático da conexão do Dispositivo Detector à Linha de Recuperação e ao computador de monitoramento.

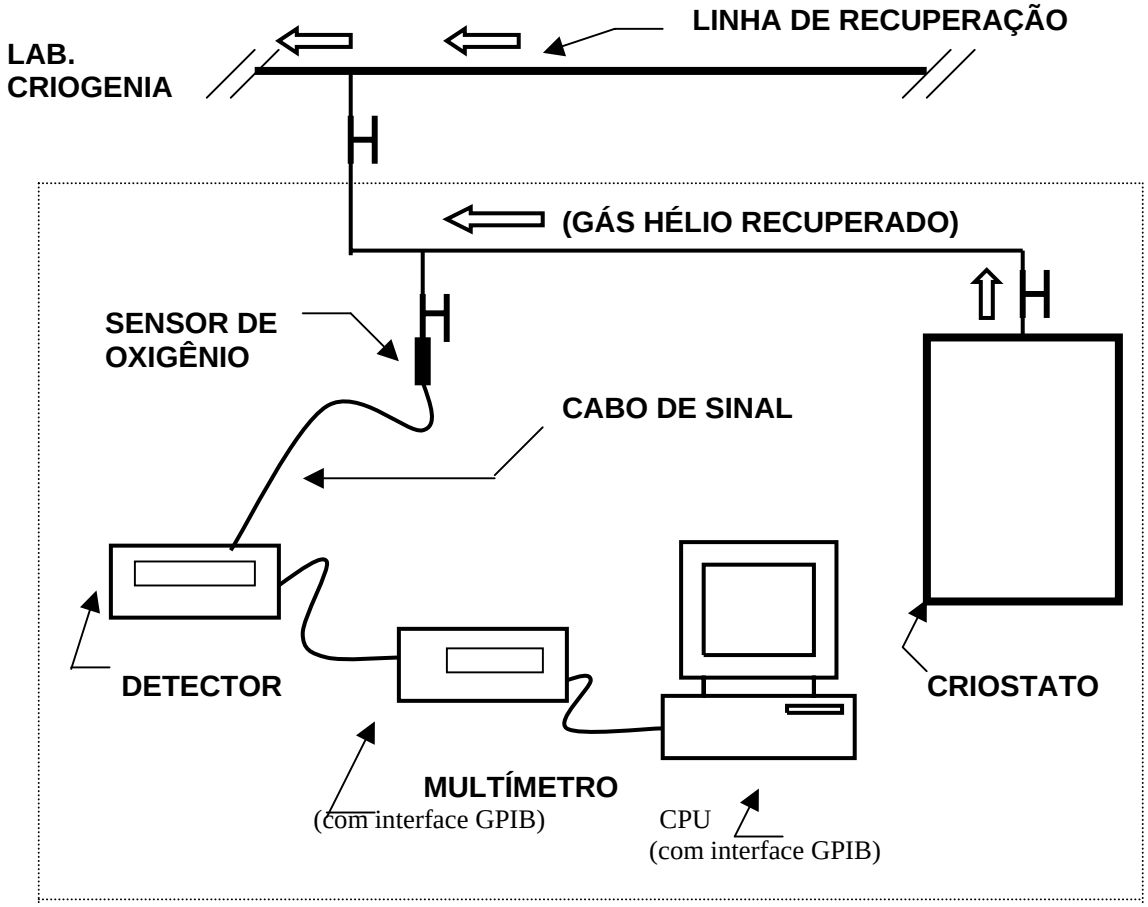


Figura 3.2.A : Detector conectado à Linha de Recuperação utilizando interface GPIB

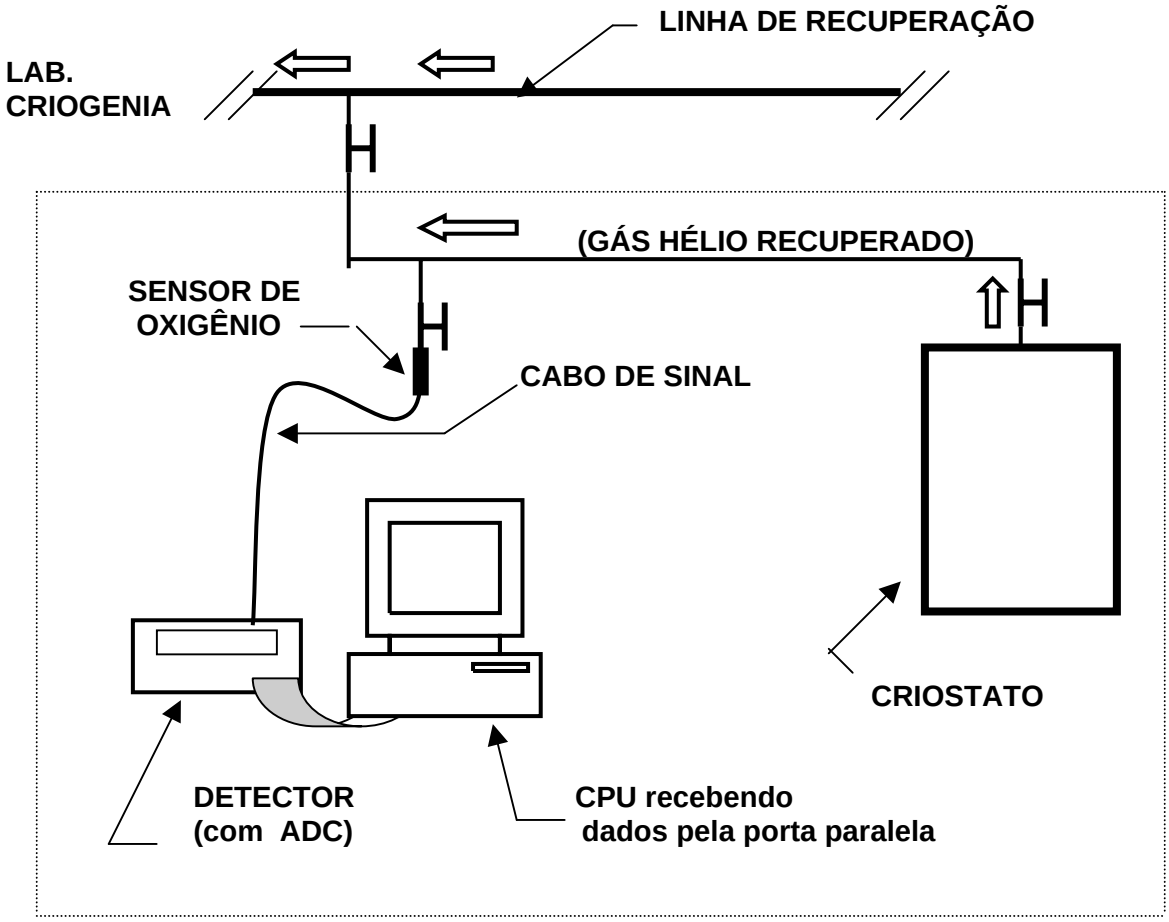


Figura: 3.2.B – Detector implementado com conversor analógico digital, conectado à Linha de Recuperação

3.1 - Programa de Aquisição

O programa utilizado para a aquisição dos dados para a caracterização do gás hélio recuperado, foi desenvolvido em linguagem de programação gráfica *LabView* versão 5.0. Os valores de tensões enviados pelo Detector de Vazamento por Via Indireta, foram adquiridos pelo programa, e depois de processados, forneceram os parâmetros de concentração de oxigênio equivalentes, presentes no gás hélio recuperado naquele momento.

O programa realiza o cálculo da concentração média de oxigênio presente no gás para cada conjunto de valores adquiridos e processados, podendo a quantidade de valores amostrados ser alterada, bem como o intervalo de tempo entre as aquisições.

Após a determinação da concentração média de oxigênio equivalente para cada conjunto de valores de tensão adquirido, este é arquivado e comparado com os demais valores médios de concentração anteriormente calculados. A partir desta comparação, o programa pode apresentar, após cada média calculada, as concentrações mínima, média e máxima de oxigênio presente no gás recuperado até aquele instante.

Os gráficos elaborados pelo programa de aquisição são apresentados como valor de concentração média de oxigênio versos intervalo de tempo.

Um fluxograma do programa de aquisição é apresentado na figura 3.3, sendo as variáveis utilizadas definidas na tabela 3.1.

P_{Total}	Período de tempo durante o qual serão realizadas as aquisições
N_{Total}	Número total de aquisições a serem efetuadas
P_T	Registro totalizador do tempo durante o qual serão realizadas as aquisições
N_T	Registro contador do número total de aquisições efetuadas
I	Registro contador de aquisições efetuadas
T	Registro totalizador de tempo entre as aquisições
V_i	Valor de tensão adquirido
T_{ajuste}	Intervalo de tempo especificado entre aquisições
$O_2(\%)$	Concentração média de oxigênio equivalente presente no gás recuperado

Tabela 3.1 : Variáveis definidas para fluxograma do programa de aquisição.

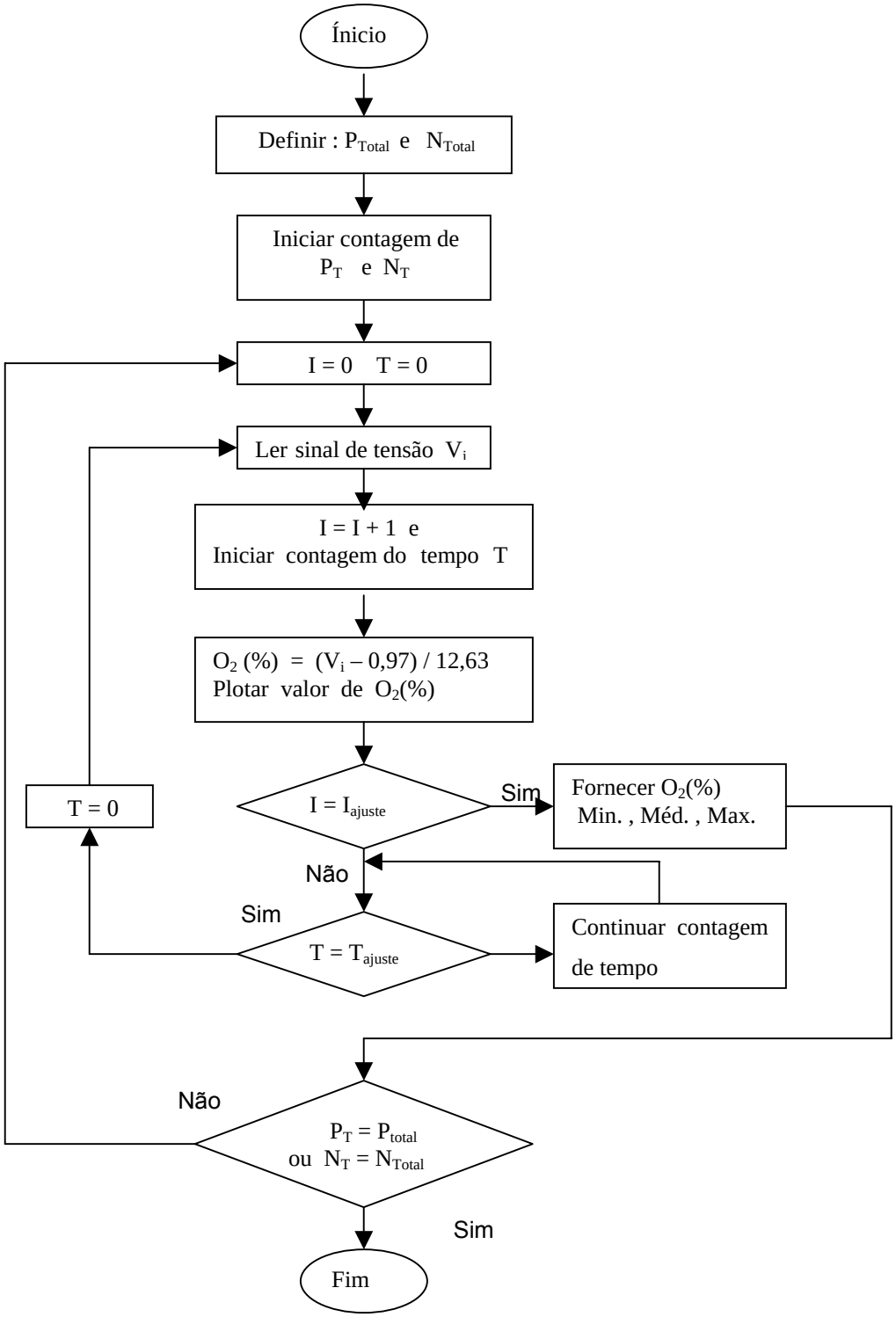


Figura 3.3 : Fluxograma do Programa de Aquisição de Parâmetros para caracterização do gás hélio recuperado.

3.2 – Parâmetros Obtidos

Na obtenção dos parâmetros caracterizadores do gás hélio recuperado, o dispositivo de proteção mecânica do sensor de oxigênio foi conectado através de uma válvula de esfera ao ramal da Linha de Recuperação de cada laboratório, na seqüência da saída do criostato, conforme representado esquematicamente na figura 3.4.

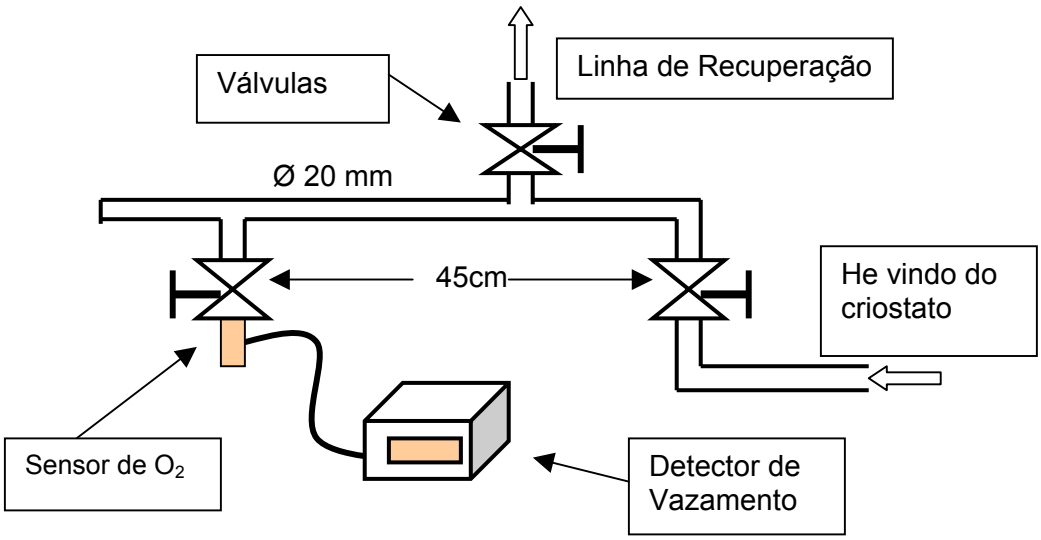


Figura 3.4 : Conexão do sensor de oxigênio do dispositivo Detector de Vazamento de Hélio, à Linha de Recuperação

A tensão de aquecimento do sensor de oxigênio foi ajustada em 3,6 V e a de polarização em 1,2 V, valores obtidos nos ensaios de calibração do detector, para os quais o dispositivo apresentou melhor desempenho e regularidade de atuação.

O programa realizou três medidas por minuto, graficando a concentração média e apresentando ao final do período de aquisição, os valores de concentrações mínima, média e máxima.

Os gráficos foram executados a partir de um programa desenvolvido em linguagem gráfica *LabView 5.0* , utilizando os dados arquivados pelo programa de aquisição, e apresentando a variação da concentração de oxigênio presente no gás hélio recuperado em função do tempo de monitoração.

3.2.1 – Levantamentos nos Laboratório de Instrumentação e Medidas e de EPR

Alguns dos gráficos característicos dos levantamentos realizados nos Laboratórios de Instrumentação e Medidas (LIM), e no Laboratório de EPR, que foram utilizados na determinação dos parâmetros de caracterização do gás recuperado, são apresentados nas figuras 3.5-A e B, e figuras 3.6-A e B, provenientes dos Laboratórios de Instrumentação e Medidas e do Laboratório de EPR, respectivamente.

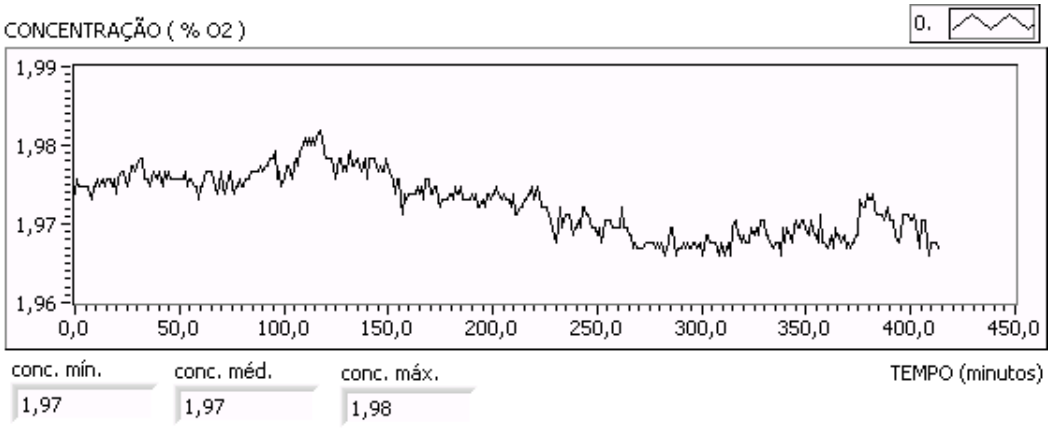


Figura 3.5-A : Concentração de oxigênio presente no gás recuperado, (aquisição 24/11/2003 LIM).

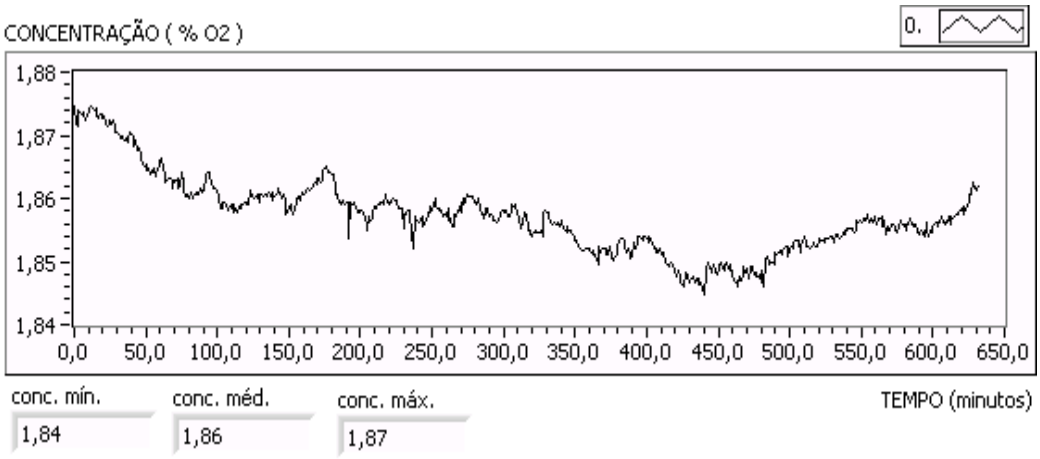


Figura 3.5-B : Concentração de oxigênio presente no gás recuperado, (aquisição 12/01/2004 LIM).

Nos demais arquivos obtidos da aquisição de dados do ramal da linha de recuperação do Laboratório de Instrumentação e Medidas, em torno de 20 arquivos considerados válidos para a definição dos parâmetros, o comportamento em relação ao nível de concentração de oxigênio presente no gás foi semelhante. Havendo, apenas alterações decorrentes dos diferentes procedimentos e situações relativas, devido às medidas em curso no laboratório, tais como colocação de amostras no criostato, transferência de líquido criogênico ou substituição de equipamentos, que serão analisadas posteriormente nos arquivos de monitoração da Linha de Recuperação.

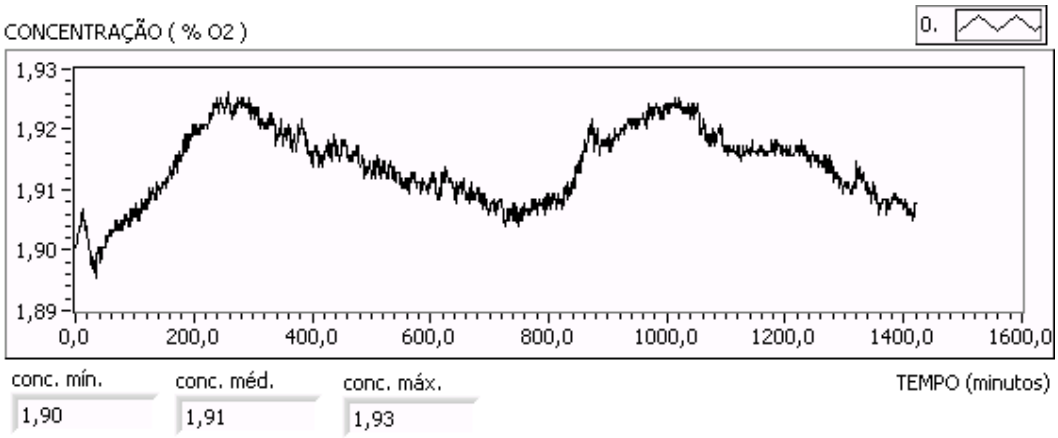


Figura 3.6-A : Concentração de oxigênio presente no gás recuperado, (aquisição 27/04/2004 EPR).

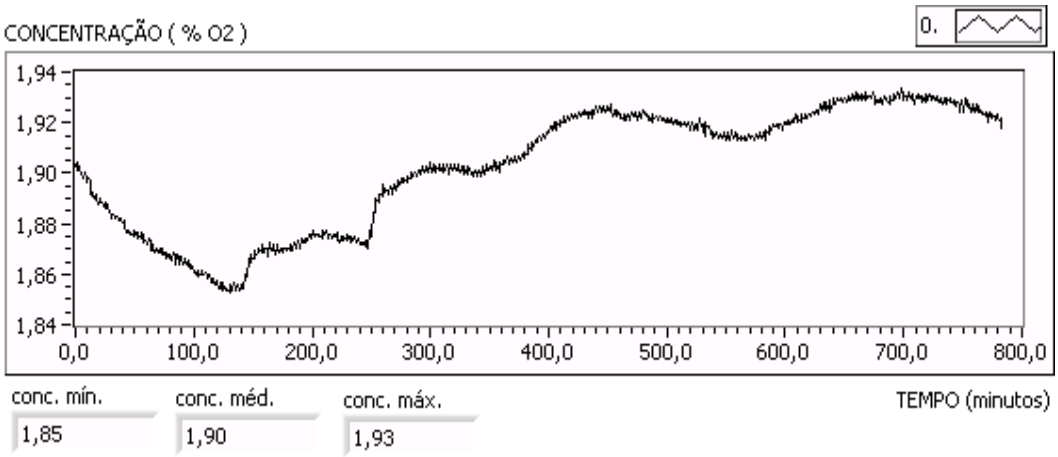


Figura 3.6-B : Concentração de oxigênio presente no gás recuperado, (aquisição 29/04/2004 EPR).

Embora os levantamentos realizados no Laboratório de EPR apresentassem praticamente os mesmos níveis médios de concentração de oxigênio no gás recuperado, em comparação com os dados obtidos no ramal da linha de recuperação do LIM, pôde-se perceber uma maior oscilação destes valores ao longo do tempo, semelhantes aos das figuras 3.6-A e B.

Este comportamento creditamos à influência da contribuição dos gases vindos dos demais laboratórios existentes na planta de recuperação, sobretudo dos laboratórios que operam na mesma ala.

3.2.2 – Determinação dos Parâmetros

No total, foram realizadas entre 250 a 290 horas de aquisições em cada um dos laboratórios para fins de caracterização do gás recuperado, sendo selecionados 28 arquivos, que apresentavam como características de:

- tempo de aquisição, em média, não inferior a 4 horas;
- mínima interferência de ajustes, seja no criostato ou no próprio sistema de detecção;
- não ocorrência de perturbações (interrupções, manutenções, etc), da rede elétrica do Centro.

Considerando os dados obtidos nos Laboratórios de Instrumentação e Medidas, e de EPR, foram admitidos como parâmetros, as ocorrências dos seguintes níveis de concentração média de oxigênio no gás hélio na Linha de Recuperação:

- 1,8 % para concentração mínima;
- 1,9 % para concentração média;
- 2,0 % para concentração máxima.

As tabelas 3.2 e 3.3, apresentam os valores médios das concentrações de oxigênio, obtidos a partir da seleção dos arquivos gravados pelo programa de aquisição durante os períodos de coleta de dados nos laboratórios de Instrumentação e Medidas, e de EPR respectivamente, com os quais definiram-se os parâmetros para concentração de oxigênio presente no gás recuperado.

Considerando que a calibração do Detector se realizou com gás confinado, cuja dinâmica de comportamento é bem menos complexa que a dos gases na Linha de Recuperação, os dados apresentados pelo Detector deverão ser analisados

principalmente como um indicador de comportamento, podendo mesmo para isso fazer-se uso de uma escala arbitrária de valores.

Tempo de aquisição (Minutos)	Concentração Mínima	Concentração Média	Concentração Máxima
600	0,019	0,020	0,020
1040	0,018	0,018	0,019
550	0,019	0,020	0,020
900	0,019	0,020	0,020
400	0,021	0,022	0,024
3500	0,017	0,018	0,019
450	0,019	0,019	0,019
500	0,019	0,020	0,020
700	0,019	0,019	0,019
700	0,017	0,018	0,018
400	0,018	0,018	0,018
1040	0,018	0,018	0,019
2300	0,018	0,019	0,019
400	0,020	0,021	0,021
Xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
Médias	0,018	0,019	0,020

Tabela 3.2 : Valores médios de concentração de oxigênio obtidos na utilização do programa de aquisição no Laboratório de Instrumentação e Medidas

Tempo de aquisição (minutos)	Concentração Mínima	Concentração Média	Concentração Máxima
3500	0,019	0,020	0,020
470	0,019	0,019	0,020
1500	0,019	0,019	0,020
3500	0,019	0,020	0,021
360	0,019	0,020	0,021
650	0,019	0,019	0,020
2750	0,019	0,019	0,020
220	0,019	0,019	0,020
470	0,019	0,020	0,020
500	0,019	0,020	0,020
1400	0,019	0,019	0,019
900	0,018	0,019	0,019
2800	0,018	0,019	0,019
800	0,018	0,018	0,021
xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
Médias	0,018	0,019	0,020

Tabela 3.3 : Valores de concentração média de oxigênio obtidos na utilização do programa de aquisição no Laboratório de EPR

3.3 - Monitorando a Linha de Recuperação

A partir da determinação dos parâmetros de concentração de oxigênio considerados como de ocorrência normal no gás hélio recuperado, nos Laboratórios de Instrumentação e Medidas e de EPR, iniciou-se um período de monitoração do ramal da Linha de Recuperação destes dois laboratórios, com intenção de avaliar o desempenho do Detector de Vazamento de Gás Hélio por via Indireta.

Buscou-se verificar se as alterações nos processos de medidas e a dinâmica dos laboratórios eram percebidas pelo dispositivo e detectadas por este, caso provocassem alterações nas concentrações de oxigênio presente no gás hélio recuperado.

A inserção do detector à Linha de Recuperação foi feita de forma semelhante à utilizada para coleta de dados (Figura 3.4), com os quais se definiram os parâmetros de normalidade ou seja, o invólucro de proteção mecânica do sensor de oxigênio foi conectado através de uma válvula tipo esfera à tubulação que recebe o duto de saída (mangueira de látex) do gás hélio vaporizado no criostato.

Para esta nova situação, o programa e o dispositivo receberam implementações, passando a contar com um sinalizador do nível da concentração de oxigênio na tela do computador e também com um alarme sonoro ajustado de acordo com os parâmetros predeterminados.

3.3.1 – Programa de Monitoração

O programa utilizado na monitoração da linha de recuperação foi desenvolvido também em linguagem gráfica *LabView 5.0*, a partir da estrutura já existente do programa de aquisição de dados anteriormente utilizado, agregando-se a este os parâmetros de normalidade e sinalizações.

O sinal de corrente proporcional à concentração de oxigênio presente no gás recuperado e convertido para sinal de tensão no dispositivo detector de vazamento é comparado com os valores definidos de normalidade, determinando qual a sinalização na tela do painel de comando do computador e a atuação ou não do alarme sonoro do detector.

A atuação do alarme do detector foi condicionada não apenas à ultrapassagem do valor máximo considerado como normal para a concentração de oxigênio presente no gás recuperado. Entendeu-se também como situações de alerta, e portanto necessárias de verificação, as bruscas elevações do nível da concentração de oxigênio , os crescimentos residuais mas constantes ao longo do tempo, e níveis de concentração extremamente reduzidos.

As bruscas elevações de concentração, poderiam estar associadas a manobras de transferência ou ao início de vazamentos de grandes proporções; os crescimentos residuais aos vazamentos diminutos e praticamente imperceptíveis, e as reduzidas concentrações à falhas no próprio sistema de detecção.

O programa de monitoração, apresenta em tempo real, a concentração de oxigênio no ponto de supervisão, e a concentração mínima, média e máxima, de todo o período de monitoração, atualizada a cada valor adquirido.

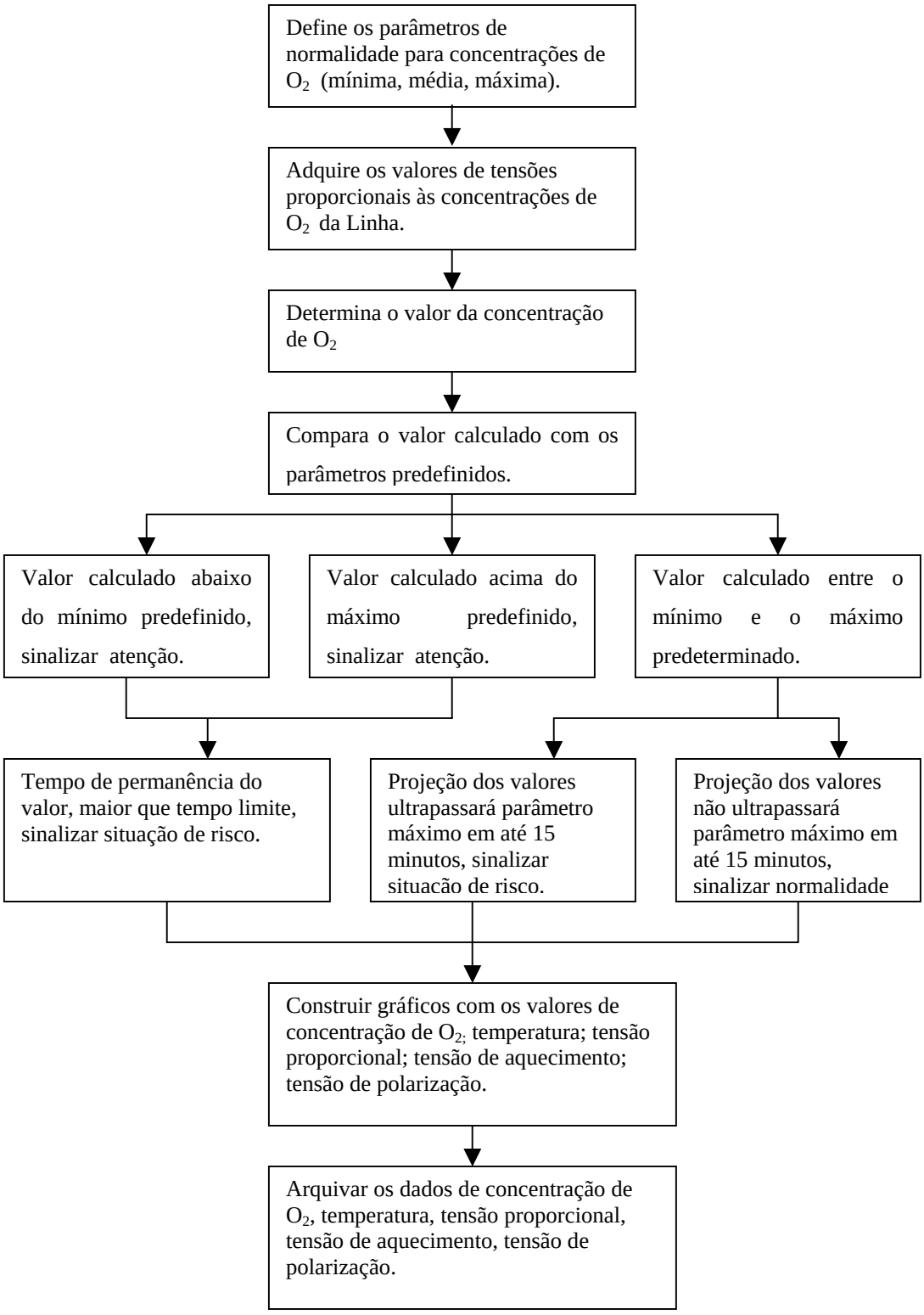


Figura 3.7 – Fluxograma do programa de monitoração da linha de recuperação utilizando o dispositivo detector de vazamento por via indireta.

Para uma melhor avaliação da evolução dos valores adquiridos, na tela do painel de controle do programa são apresentados os gráficos da concentração de oxigênio; da tensão proporcional à corrente enviada pelo sensor de oxigênio; da temperatura do gás ou do ambiente; da tensão de aquecimento e da tensão de polarização do sensor.

Ainda na tela do painel de controle do programa de monitoração é possível saber através de um indicador visual, se o nível de concentração de oxigênio atual encontra-se na faixa de situação normal, de atenção ou de emergência.

Todos os parâmetros adquiridos pelo programa são arquivados, possibilitando suas análises e tratamentos posteriores, bem como comparações com procedimentos repetidos, o que ao longo do tempo poderá vir a proporcionar um ajuste característico do Detector para cada laboratório e ou procedimento de um criostato específico. Na figura 3.7 é apresentado um fluxograma do algoritmo do programa de monitoração.

3.3.2 – Monitoração no Laboratório de Instrumentação e Medidas

De início o detector de vazamento de gás hélio por via indireta permaneceu realizando a monitoração do ramal da linha de recuperação do Laboratório de Instrumentação e Medidas, passando em seguida a monitorar o ramal do Laboratório de EPR.

Cumprido os períodos iniciais de monitoração em ambos os laboratórios, o deslocamento do Detector entre eles passou a ser função de medidas e ou procedimentos que pudessem contribuir na verificação de desempenho do mesmo.

A seguir são apresentadas algumas das seqüências de gráficos obtidos a partir da monitoração do ramal da linha de recuperação do Laboratório de Instrumentação e Medidas, para os diversos processos e medidas realizadas em seus dois criostatos.

Alguns dos gráficos construídos utilizaram arquivos obtidos durante a busca de parâmetros de caracterização do gás hélio recuperado, sendo estes novamente analisados, mas sob uma outra perspectiva, a da comparação do seu perfil com outros gráficos ao longo do tempo.

3.3.2.1 – Processos de manutenção do sistema do criostato

Os arquivos que geraram os gráficos das figuras 3.8 a 3.11, foram obtidos em aquisições realizadas todas com os mesmos ajustes do Dispositivo Detector de

Vazamento por via Indireta, a saber: tensão de aquecimento de 3,6 V, tensão de polarização de 1,2 V e concentração média a partir de 3 valores adquiridos por minuto.

Durante estas aquisições, o magnetômetro SQUID do laboratório de Instrumentação e Medidas esteve realizando procedimentos e medidas conforme a normalidade das rotinas do Laboratório.

Na seqüência dos gráficos obtidos a partir das aquisições, foi possível verificar que os valores de concentração média de oxigênio presente no gás recuperado apresentaram uma queda, coincidindo com serviços de rotina de manutenção nos sistemas de apoio do magnetômetro, quando comparados com os valores dos gráficos referentes às aquisições de datas anteriores, saindo do patamar médio de 1,9% a 2%, para 1,8%.

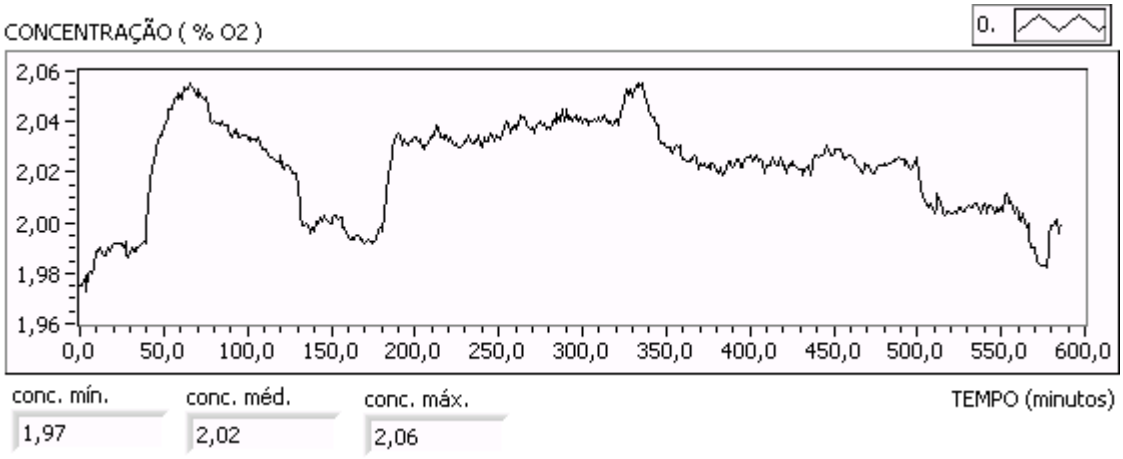


Figura 3.8 : Gráfico de monitoração do ramal da linha de recuperação do LIM

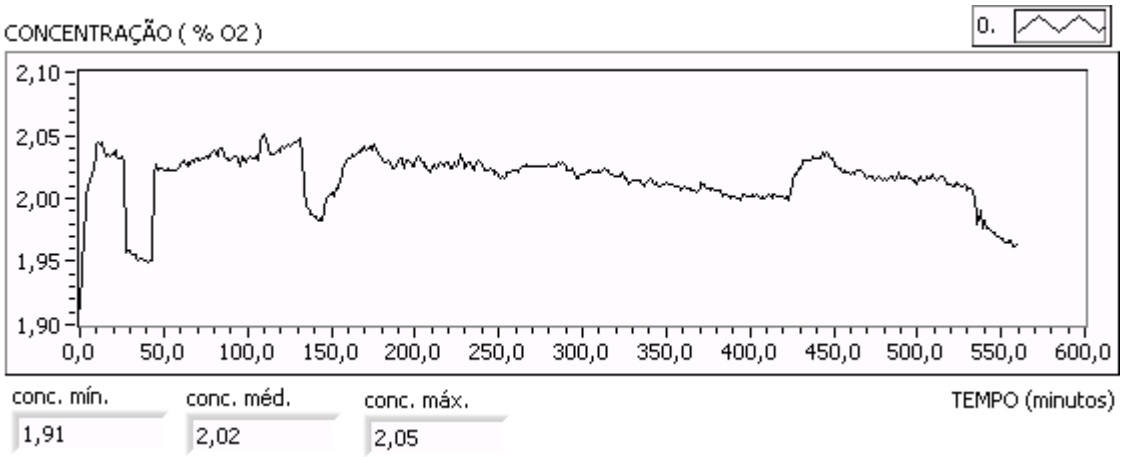


Figura 3.9 : Gráfico de monitoração do ramal da linha de recuperação do LIM

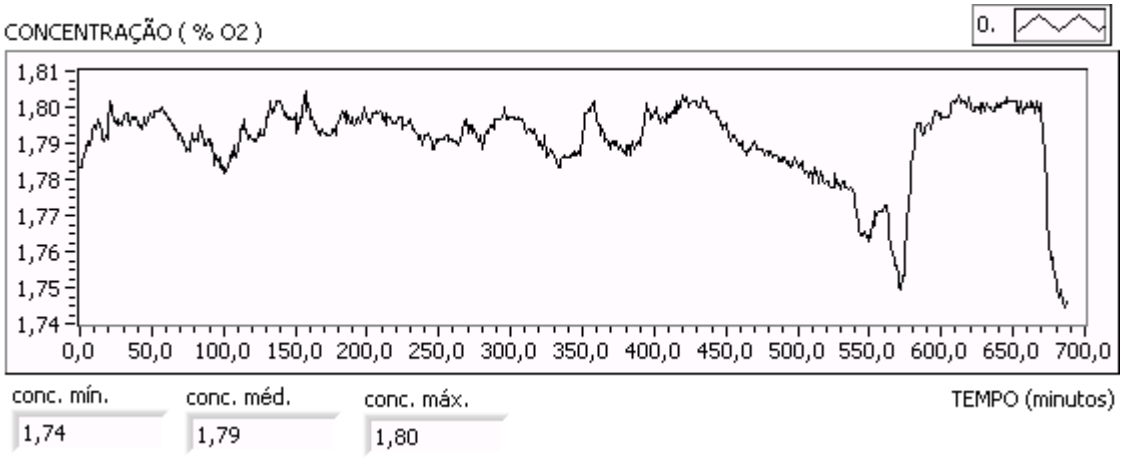


Figura 3.10: Gráfico de monitoração do ramal da linha de recuperação do LIM

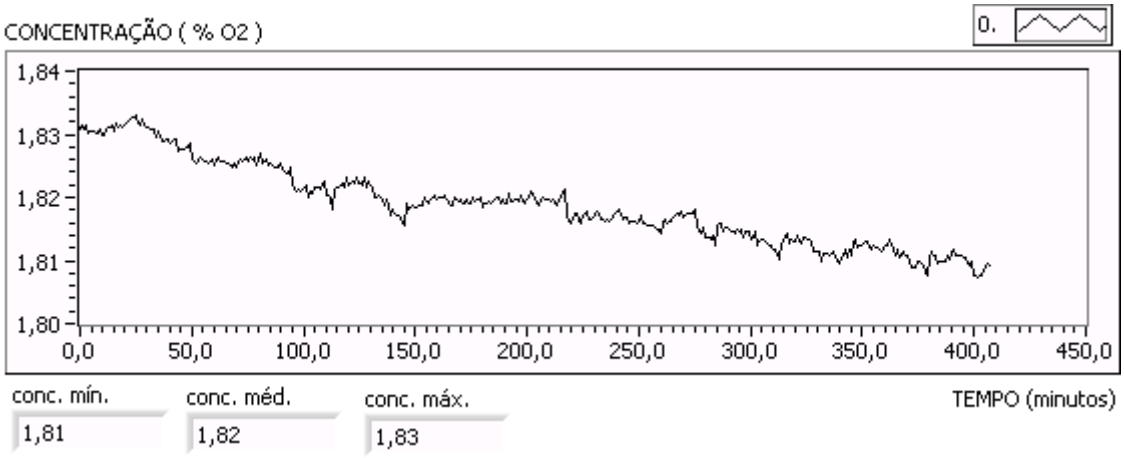


Figura 3.11: Gráfico de monitoração do ramal da linha de recuperação do LIM

3.3.2.2 – Processo de transferência de hélio líquido.

No início do processo de transferência de hélio líquido para o criostato, ocorre um aumento do volume de gás hélio no ramal da linha de recuperação específico do criostato que está sendo reabastecido.

Este aumento de volume se deve à evaporação do hélio líquido introduzido no criostato, que se encontra em uma temperatura mais elevada, sendo esta elevação inversamente proporcional ao volume de hélio líquido existente no criostato no início do processo de transferência.

Em função disto, há uma sensível redução na temperatura do gás hélio que segue pela linha de recuperação para o laboratório de criogenia, apresentando no trajeto próximo ao criostato, ramal de tubulação do laboratório, temperaturas menores do que aquelas que normalmente ocorrem durante os processos de medidas.

Esta condição temporária de acentuada redução de temperatura do gás hélio recuperado provoca uma diminuição na capacidade do sensor em detectar a presença de oxigênio no mesmo neste período, em vista de os ajustes (tensão de aquecimento do sensor), terem sido feitos para uma condição de temperatura próxima à ambiente.

As figuras 3.12, 3.13 e 3.14 apresentam gráficos cujos arquivos foram adquiridos durante processos de transferência de hélio líquido para o magnetômetro SQUID, nos

quais é possível perceber a redução dos valores de concentração média de oxigênio presente no gás recuperado, em função da queda de temperatura do gás que chega até o sensor de oxigênio.

O arquivo da figura 3.12 foi adquirido em 17/01/2004, estando o criostato contendo um volume de hélio correspondente a 22,3% de sua capacidade no início da transferência. A concentração média de oxigênio detectada neste instante (ponto 226), foi de 1,95 %.

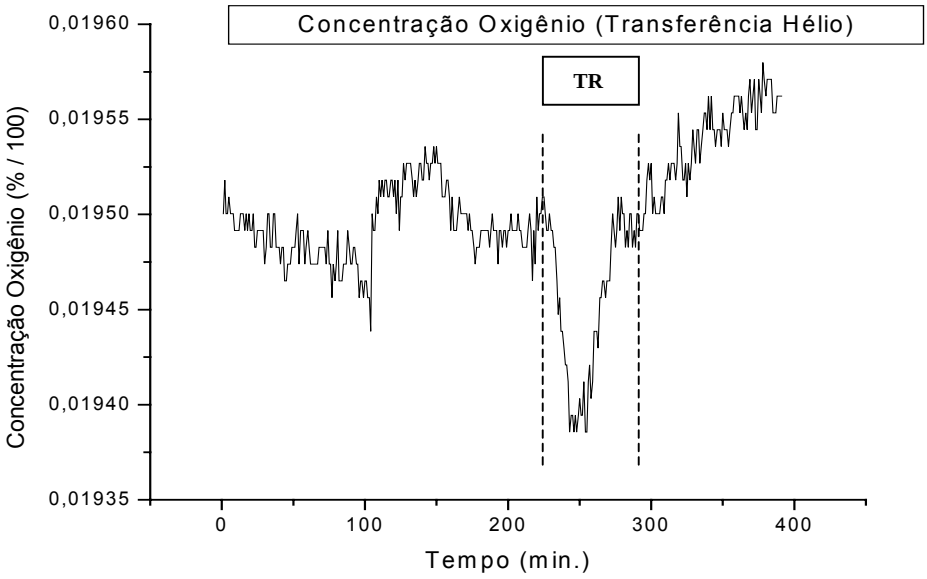


Figura 3.12 : Gráfico de detecção da concentração de oxigênio presente no gás hélio recuperado durante processo de transferência de hélio líquido.

O trecho assinalado como **TR** no gráfico da figura 3.12, identifica o período de transferência de hélio líquido para o criostato.

Aproximadamente 25 minutos após ter iniciado o processo de transferência, a tubulação do ramal da linha de recuperação estava envolta em uma camada de gelo, desde do comando de válvulas até a saída do laboratório. Este período coincide com as menores taxas de concentração de oxigênio apresentadas pelo gráfico, em torno de 1,93 % (ponto 250).

A transferência se completou com o preenchimento de 98% da capacidade do criostato, e foi executada em aproximadamente 50 minutos.

Como o sensor de oxigênio do detector de vazamento de hélio por via indireta foi conectado em uma derivação da linha de recuperação, este não sofreu o impacto total da redução de temperatura e nem congelamento, permanecendo desta forma operante, apesar de ter sua sensibilidade reduzida.

Na figura 3.13, é feita uma outra análise do gráfico gerado pelo arquivo Conc0611, identificando no mesmo o trecho correspondente a um processo de transferência de hélio, assinalado também como **TR.**

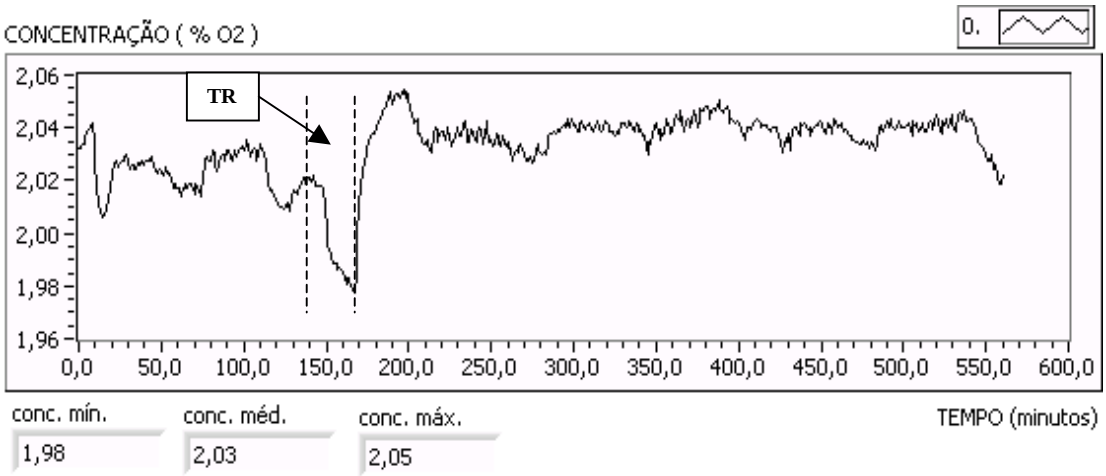


Figura 3.13 : Gráfico de monitoração do ramal da Linha de Recuperação do Laboratório de Instrumentação e Medidas, identificando transferência de Hélio Líquido para o criostato.

Nesta ocasião, no início da transferência, o magnetômetro SQUID ainda possuía um volume de hélio líquido correspondente a 50% de sua capacidade, e todo o processo de reabastecimento foi concluído em aproximadamente 30 minutos.

Mesmo estando o criostato com um volume inicial superior à situação da transferência representada pela figura 3.12, 50% contra 23%, a transferência normalmente implica em significativa redução na temperatura do gás recuperado, e o detector de vazamento irá representar no gráfico esta dinâmica, como uma acentuada queda na concentração de oxigênio presente no gás, acompanhada de uma oscilação em curto intervalo de tempo, como identificado pelo setor **TR**, no gráfico da figura 3.13.

Esse comportamento pode ser uma forma de identificar um processo de transferência em um arquivo de monitoração, como é possível faze-lo no gráfico do arquivo MoreH101103 da figura 3.14.

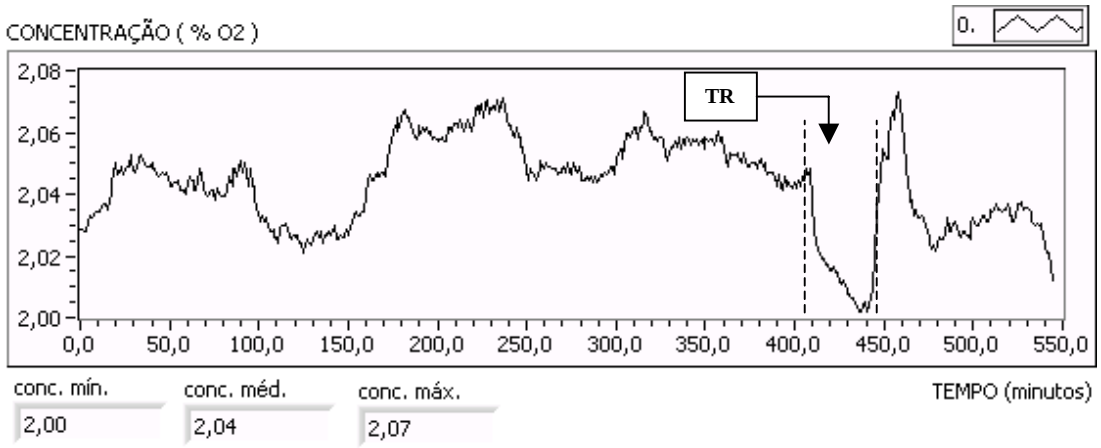


Figura 3.14 : Gráfico de monitoração do ramal da linha de recuperação, do Laboratório de Instrumentação e Medidas, identificando transferência de hélio líquido para o criostato.

3.3.2.3 – Manipulação das amostras

A colocação de amostras no magnetômetro SQUID, bem como a substituição de amostras no mesmo, é realizada segundo certos procedimentos de segurança que têm o objetivo de evitar a contaminação do criostato com o ar atmosférico.

A retirada da haste que introduz no magnetômetro a amostra cujas características magnéticas estão sendo investigadas só é realizada com o fechamento da câmara que dá acesso ao hélio líquido interno ao criostato.

Preparada a amostra, esta é introduzida no magnetômetro através da mesma haste, que a posiciona de forma adequada na região de temperaturas criogênicas. Feito isso, o sistema automaticamente, como medida de segurança, e para evitar contaminação, realiza uma seqüência de pequenas purgas de gás hélio para o sistema de recuperação.

Esses pequenos volumes de gás hélio “empurrados” para a linha de recuperação, quase sempre são percebidos pelo detector, pois criam um curto período de oscilação da concentração de oxigênio.

Uma vez que não haja falha na manipulação da amostra ou do equipamento, a vedação do sistema é praticamente perfeita, e nessas condições o gás lançado na linha de recuperação poderá apresentar um curto período de tendência de elevação da taxa de concentração de oxigênio presente no gás recuperado (limpeza do sistema), para logo em seguida retroceder em função da pureza do hélio purgado e de sua reduzida temperatura.

A figura 3.15, mostra um gráfico de concentração, gerado a partir de um arquivo (4122) gravado durante a manipulação de uma amostra no SQUID, em 4/12/2003. Percebe-se a momentânea oscilação da taxa de concentração, identificada no gráfico como setor A, e em seguida a seu retorno para os valores normais de monitoração.

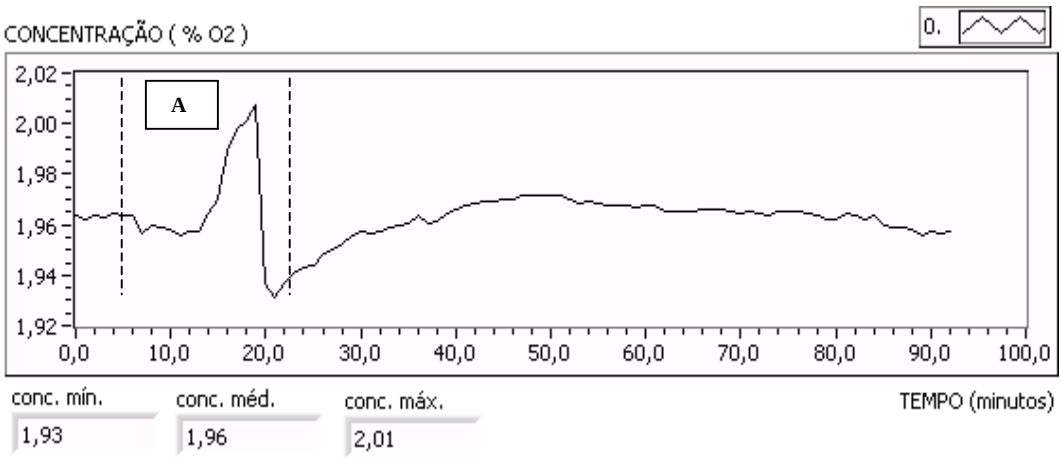


Figura 3.15 : Gráfico de concentração de oxigênio presente no gás hélio recuperado, gerado a partir de arquivo gravado durante substituição de amostra no magnetômetro SQUID, em 4 de dezembro de 2003

3.3.3 – Monitoração no Laboratório de EPR

Os gráficos a seguir apresentados foram obtidos a partir dos arquivos gravados durante o período de monitoração do ramal da Linha de Recuperação do Laboratório de EPR.

Foram selecionados os gráficos ou seqüência destes, que evidenciassem a capacidade do dispositivo em identificar alterações na rotina do criostato, seja em processos normais de medição, ajustes diferenciados do sistema ou de operação.

Os ajustes do Dispositivo Detector seguiram os mesmos parâmetros utilizados no Laboratório de Instrumentação, e idêntica forma de conexão ao ramal da Linha de Recuperação.

3.3.3.1 – Execução de Medidas a Baixas Temperaturas

Antes de se iniciar efetivamente o processo de medidas das características de uma amostra utilizando-se o EPR, uma série de passos devem ser implementados na preparação do equipamento.

É necessário primeiramente que a temperatura do criostato e também do porta-amostras atinjam a temperatura de 4,2 K, a partir da qual iniciam-se as medidas com a elevação gradual da temperatura, até à temperatura ambiente.

Como a temperatura interna do criostato está elevada, inicialmente o hélio líquido injetado no mesmo se vaporiza seguindo para a linha de recuperação, provocando a queda da temperatura do gás recuperado.

A queda acentuada da temperatura do gás recuperado provoca uma redução da sensibilidade do sensor de oxigênio, que fica evidenciada no gráfico de detecção como uma coincidente diminuição nos valores apresentados para a concentração de oxigênio do gás recuperado. O gráfico da figura 3.16, mostra o comportamento do Detector durante todo um processo de medidas no EPR, desde da preparação do criostato.

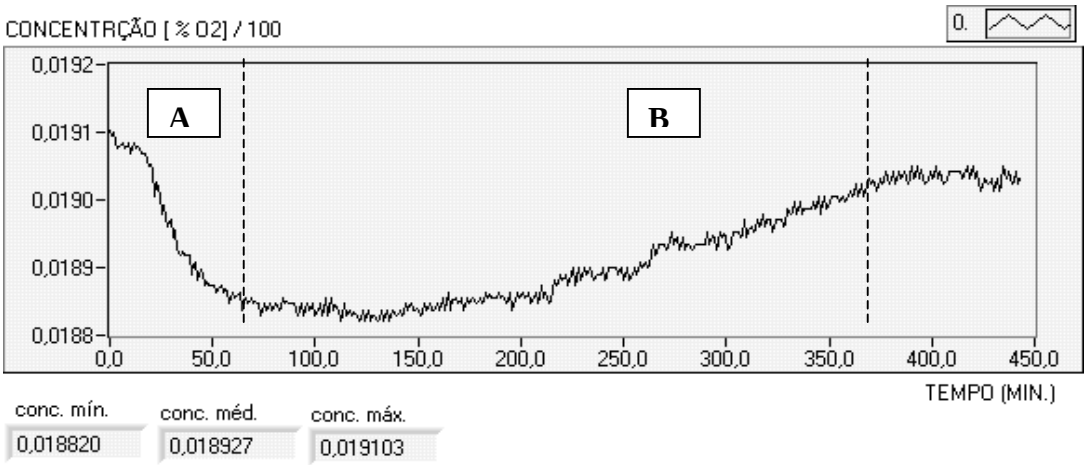


Figura 3.16 : Gráfico de monitoração da Linha de Recuperação do Laboratório de EPR, durante processo de medidas a baixas temperaturas.

Na figura 3.16, o setor “A” do gráfico, identifica o período no qual se realiza a circulação de hélio no sistema, de forma que a temperatura do criostato e do porta-amostras atinjam a temperatura de 4,2 K e, a partir daí se iniciem as medidas de investigação das características da amostra. O setor “B” do gráfico, identifica o período no qual se efetuam as medidas com gradativa elevação da temperatura.

3.3.3.2 – Atuação do Alarme

Um dos motivos pelo qual o Laboratório de EPR foi escolhido para que ali se instalasse o dispositivo detector de vazamento de gás hélio por via indireta, foi a possibilidade de se conseguir avaliar a influência que a contribuição dos gases provenientes de diversos laboratórios do Centro, e também a localização de laboratórios contíguos e de grande utilização de hélio como refrigerante criogênico, exerceriam na qualidade do gás recuperado de forma prolongada ou de curta duração.

Mesmo tendo sido conectado a um ramal (derivação) da linha de recuperação que atende ao Laboratório de EPR, o dispositivo detector foi capaz de identificar períodos de maior atividade dos laboratórios mais próximos do ponto de monitoração.

O gráfico mostrado na figura 3.17 apresenta uma seqüência de aquisições realizadas em 24 de março de 2004 no ramal da Linha de Recuperação do Laboratório de EPR, iniciadas às 9h30min, onde se verificam constantes variações da taxa de concentração de oxigênio presente no gás recuperado em um patamar elevado, média de 1,9 %, que determinou atuação do alarme do Dispositivo Detector, comportamento que se repetiu no dia 25 de março, coincidindo com intensas atividades nos Laboratórios da mesma ala e a não execução de medidas no EPR.

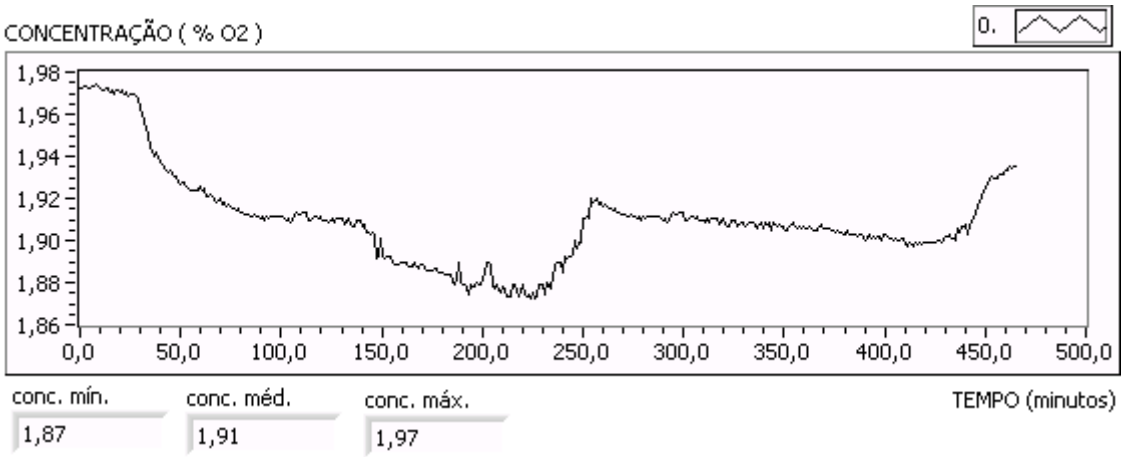


Figura 3.17 : Gráfico de monitoração do ramal da linha de recuperação do Laboratório de EPR, construído a partir de arquivos adquiridos em 24/04/2004.

As variações ocorridas no dia 25/03/2004, na concentração de oxigênio presente no gás hélio recuperado, no ramal da linha de recuperação do Laboratório de EPR, no ponto em que estava conectado o sensor de oxigênio, são apresentadas no gráfico da figura 3.18.

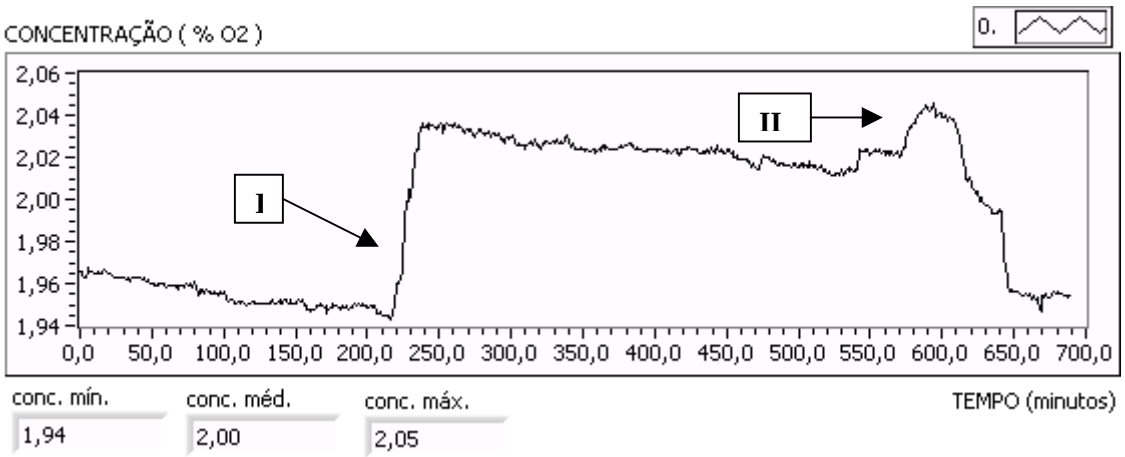


Figura 3.18 : Gráfico de monitoração do ramal da linha de recuperação do Laboratório de EPR, obtido a partir de arquivos adquiridos em 25/03/04, coincidindo com intensas atividades nos Laboratórios da mesma ala.

Durante a monitoração realizada no dia 25 de março de 2004, houve 01 (uma) atuação do alarme do Dispositivo Detector de Vazamento, por volta de 14h35min, que se coincide no gráfico da figura 3.18, com o momento da elevação da taxa de concentração de oxigênio, identificada como **I**, a partir da qual houve uma estabilização da taxa de concentração em um patamar acima do valor ajustado como máximo normal.

Uma segunda elevação da taxa de concentração de oxigênio ainda ocorreu por volta das 20h30min, identificada no gráfico como **II**, registrando o valor máximo atingido, após o qual houve um declínio das taxas de concentração, retornando ao patamar ajustado como de normalidade.

A elevação da taxa de concentração de oxigênio presente no gás recuperado, segundo uma rampa com características tão abruptas, sugere que a contaminação poderia estar sendo suprida por uma forma de bombeamento.

Acreditamos também que a não execução de medidas no EPR nesta data, contribuiu para que o Detector pudesse perceber as variações na concentração de oxigênio presente no gás recuperado. Uma vez que a não existência de bombeamento de hélio recuperado no sentido do Laboratório de EPR para o Laboratório de Criogenia, facilitaria a difusão do gás na Linha de Recuperação através do ramal (derivação) que atende o laboratório, até o ponto de monitoração.

Capítulo 4

Sistema de Monitoração

Poder avaliar o volume de gás hélio que retorna ao Laboratório de Criogenia pela Linha de Recuperação proveniente da vaporização do hélio líquido utilizado nos diversos laboratórios do Centro é uma das condições indispensáveis para a elaboração de um projeto eficiente de monitoração e recuperação do gás hélio distribuído no CBPF.

Somente com o conhecimento do volume de gás que retorna através da Linha de Recuperação será possível dimensionar as perdas que venham a ocorrer no sistema e em um tempo hábil, de maneira a viabilizar tomadas de decisões, que possam reverter uma situação em curso, seja ela uma falha do sistema ou de operação.

O gás hélio que retorna ao Laboratório de Criogenia pela Linha de Recuperação, se desloca sob uma pressão que se encontra entre 1,0 e 1,1 atm, aproximadamente, e à temperatura ambiente, apresentando um regime de vazão irregular, com valores que podem variar de 0,2 m^3/h a 20 m^3/h, de acordo com os resultados obtidos de levantamentos anteriormente realizados pelo Laboratório de Criogenia, onde foram avaliados a capacidade volumétrica dos criostatos e o tempo transcorrido entre reabastecimento com hélio líquido.

A partir dos dados colhidos junto ao Laboratório de Criogenia, sobre as vazões de gás hélio na Linha de Recuperação, buscou-se identificar um medidor de vazão que atendesse às características encontradas no referido estudo.

No entanto, a escolha do medidor a ser utilizado na totalização do fluxo de gás hélio que retorna ao Laboratório de Criogenia pela Linha de Recuperação, não deixou de buscar atender também à proposta original deste trabalho, ou seja, a utilização de dispositivos de baixo custo de implementação, confiáveis e de fácil manutenção e reposição.

Seguindo esta orientação, após pesquisa dos medidores disponíveis no mercado, foi selecionado o medidor de gás comercial modelo G6, fabricado pela LAO Indústria de São Paulo, tradicional fabricante de medidores para operação com gás liquefeito de petróleo (GLP).

4.1 – Medidor G6-LAO Modificado.

O medidor de gás modelo G6, é um medidor industrial, originalmente projetado e construído pela LAO-Indústria, para ser utilizado na medição e distribuição de gás liquefeito de petróleo (GLP) e gás natural (GN), que opera pelo princípio de diafragma e câmaras volumétricas, possuindo um mecanismo magnético que comanda o fechamento de um contato de acesso externo, o que permite a geração de pulsos de controle.

O medidor é fabricado com carcaça de alumínio, válvulas de baquelite e membranas de borracha sintética, que indicam a necessidade de uma manutenção mínima e alta resistência.

Os medidores tipo diafragma são medidores volumétricos, conhecidos como medidores de foles ou de paredes deformáveis, sendo também classificados como medidores de deslocamento positivo. São constituídos por um conjunto de quatro câmaras de medição de volume variável, ligadas mecanicamente a um conjunto de válvulas de distribuição que controlam a direção do gás de maneira a encher e esvaziar as câmaras de partições flexíveis (diafragmas).

O conjunto de válvulas deslizantes faz o gás penetrar sucessivamente nas câmaras de tal modo que a cada instante uma destas câmaras é submetida à pressão diferencial entre a entrada e saída do medidor. Assim sendo, a câmara se deforma e seu movimento, acoplado ao sistema de movimentação das válvulas , modifica a distribuição do gás entre elas.

Quando uma câmara está cheia, uma outra câmara de medição, esvaziada no ciclo anterior, é aberta. O deslocamento desta nova câmara é tal que tende a ajudar o esvaziamento da câmara preenchida no passo anterior.

Quando as partes móveis desse dispositivo medidor retornam pela primeira vez à posição ocupada inicialmente, o volume deslocado da entrada para a saída do medidor corresponde à capacidade total das quatro câmaras de medição, cujo valor é conhecido e chamado de cíclico.

Este movimento rotativo do dispositivo medidor é transmitido através de engrenagens adequadas a um sistema totalizador que soma os volumes cíclicos e ajusta a leitura para a unidade desejada.

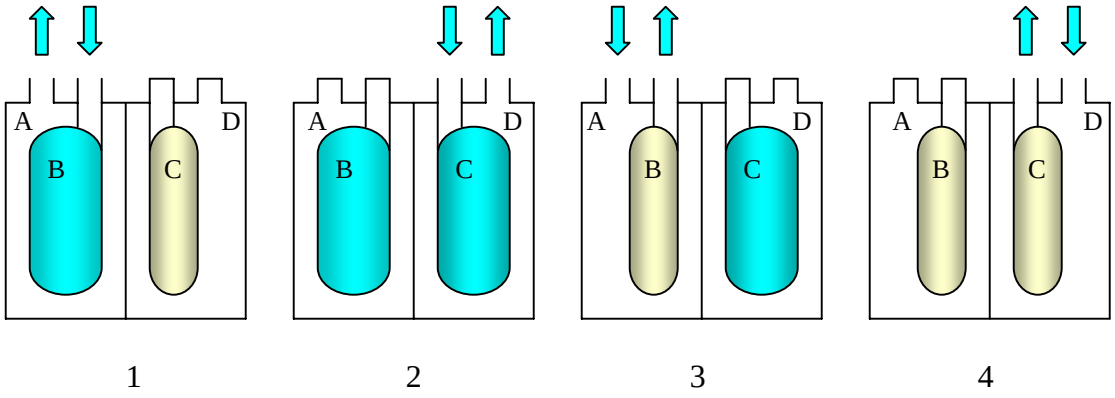


Fig. 4.1 : Representação do ciclo de operação de um medidor de vazão tipo volumétrico de quatro estágios

Na figura 4.1 temos uma representação do comportamento das câmaras volumétricas de um medidor de deslocamento positivo, onde :

em 1, a câmara B está enchendo e ao mesmo tempo esvaziando a câmara A;

em 2, a câmara C está enchendo e a câmara D sendo esvaziada;

em 3, a câmara A está enchendo e ao mesmo tempo esvaziando a câmara B;

em 4, a câmara D está enchendo e a câmara C esvazia-se, completando o ciclo.

As características mais importantes dos medidores tipo diafragma são : a ampla faixa de medição que proporcionam, e a perda de carga muito reduzida, o que permite seu emprego em instalações com pressões muito baixas. Estas características foram fatores determinantes para sua escolha, dada a irregularidade do fluxo de gás na Linha de Recuperação, a baixa pressão com que opera e a necessidade de não se inserir contra-pressão aos criostatos dos laboratórios.

Como os medidores G6-LAO foram projetados e construídos originalmente para atuar com outros tipos de gases, foi necessário que se estabelecesse uma parceria com o seu fabricante, de modo a se obter definição sobre os parâmetros do medidor para as condições de operação com o gás hélio.

Na figura 4.2, são apresentadas as características técnicas previstas para operação do modelo G6 na medição de gás hélio. Estes parâmetros foram obtidos através das consultas realizadas junto ao Laboratório de Ensaios de Medidores de Gás, da LAO-Indústria, em São Paulo, que procederam a cálculos confirmando a possibilidade de

utilização do equipamento, visto que o mesmo atenderia as condições de vazão e pressão exigidas para a Linha de Recuperação do CBPF.

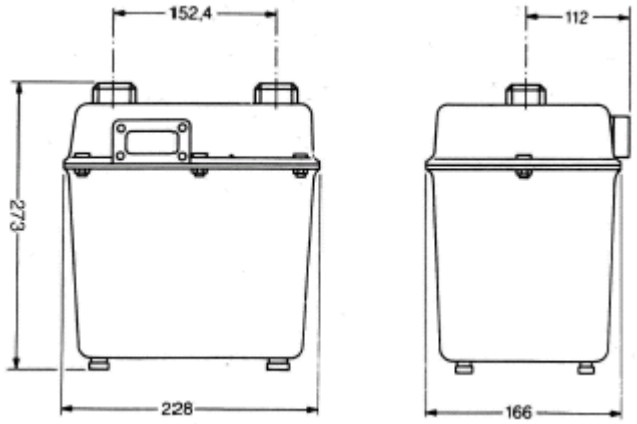
Vazão Mínima (m^3/h)	**0,2**
Vazão Máxima (m^3/h)	**38**
Ciclo Nominal (dm^3)	**2**
Pressão Máxima (Kpa)	**50**
Vazão Mínima de Funcionamento m^3/h)	**0,01**

Figura 4.2 : Quadro das características de funcionamento do modelo G6, para operação com gás hélio.

O medidor de gás G6-LAO e suas características dimensionais mais importantes podem ser observadas nas figuras 4.3 e 4.4, respectivamente.

Para que o medidor de gás G6-LAO, pudesse atender às condições de vedação exigidas pelos testes com gás hélio, suas conexões de entrada e saída de fluxo foram adaptadas para receberem terminais para tubos flexíveis de látex e anéis de pressão.

Figura 4.3 : Medidor de gás modelo G6-LAO, fabricado pela LAO-Indústria, para adaptação e utilização com gás hélio à temperatura ambiente, na Linha de Recuperação do CBPF.



OBS: Medidas em centímetros

Figura 4.4 : Características dimensionais do medidor de gás modelo G6-LAO

Em uma modificação definitiva do equipamento, a entrada e saída do medidor serão executadas com rosca tipo gás, com 11 fios por polegada e conectores tipo KF apropriados para sistemas de vácuo.

Foi adicionado ao medidor de gás, um módulo eletrônico externo, para possibilitar a comunicação do medidor com o microcomputador de controle, que receberá através de sua porta paralela um sinal de nível lógico baixo ao final de cada ciclo de medição. A comunicação poderá também ser efetivada por meio do envio de um sinal de tensão para a aquisição por um conversor analógico-digital.

As informações enviadas pelo medidor de gás e recebidas pelo microcomputador serão processadas em um programa executado em linguagem gráfica de programação LabView, que realizará o cálculo de totalização de volume, vazão média, arquivamento dos dados e disponibilizará os dados para controle de estoque.

4.2 – Módulo Eletrônico de Contagem

O módulo eletrônico acoplado ao medidor de gás envia para a porta paralela do microcomputador um sinal de nível lógico baixo, sempre que houver o fechamento do contato mecânico interno do medidor. Esta informação significa que um ciclo de medição foi completado e portanto o programa deve incrementar o volume de 2 litros de gás à variável de totalização.

O circuito do módulo de contagem dispõe de uma fonte de tensão, que utiliza um circuito integrado regulador de tensão típico, e que irá realizar a polarização de um transistor sempre que houver o fechamento do contato interno do medidor.

Para evitar a multiplicidade da contagem devido ao repique do contato (*balsing*) no processo de seu fechamento, a base do transistor será aterrada através de um resistor, garantindo que o transistor somente estabeleça um curto-circuito para massa, após o fechamento efetivo do contato interno do medidor.

Também para garantia que os sinais enviados pelo medidor fossem percebidos pelo microcomputador como uma informação de nível lógico baixo, os aterramentos do circuito acoplado ao medidor e o "terra" da fonte de alimentação do microcomputador de controle foram interligados.

4.3 – Programa de Totalização

O programa de totalização do volume de gás hélio, irá proceder à leitura do estado do endereço da porta paralela do computador de controle, que recebe o sinal enviado pelo medidor de gás G6-LAO, e também o registro que está armazenado, do estado do contado do medidor de gás, se aberto ou fechado.

Feita a leitura, o programa efetua a comparação do estado atual do endereço com o estado das cinco iterações anteriores para o mesmo endereço da porta paralela e, havendo coincidência, ele registrará este estado. Caso não haja coincidência com o estado das interações anteriores, o programa manterá o estado anterior do contato.

Sempre que for confirmada a mudança de estado do endereço da porta paralela, será alterado o estado do contato e se a alteração corresponder ao fechamento do mesmo, haverá o incremento no contador do programa, efetuando o acréscimo de um volume de 2 litros de gás à variável de totalização.

O processo de comparação do estado do endereço da porta paralela, visa aumentar a proteção contra contagem em multiplicidade devido ao repique do contato no momento de transição do mesmo de um estado para outro.

A partir da variável de totalização do volume de gás, será determinada a vazão média de gás recuperado na tubulação em que está instalado o medidor G6.

4.4 – Testes e Calibração

Os testes e calibrações realizados pelo Laboratório de Gás da LAO Indústria, utilizando o padrão tipo *Bell Prover* com capacidade de até 300 dm^3 , marca *American Meter Company*, com um volume de teste de 100 dm^3 , tiveram como resultados os parâmetros apresentados no quadro da figura 4.5.

Vazão (m^3/h)	Erro (%)	Perda de Carga (mmca)	Oscilação (mmca)
0,06	0,5	2,50	2
1	0,2	5,0	1,5
2	0,3	6,5	1,5
4	1	8,5	1,5
8	0,7	15,5	1

mmca – milímetro de coluna de água

Figura 4.5 : Parâmetros de calibração do Medidor de Gás G6

4.5 – Medidas Realizadas e Avaliação

A partir de uma montagem onde foi utilizado um compressor de vazão de 5 l/min., na condição de saída livre, foram realizadas medidas de vazão de gás hélio à temperatura ambiente, utilizando-se o medidor de gás LAO-G6.

Os resultados obtidos e apresentados no gráfico da figura 4.6 indicam uma vazão média medida de 4,8 l/min., o que representa uma discrepância de aproximadamente 4% em relação ao valor esperado.

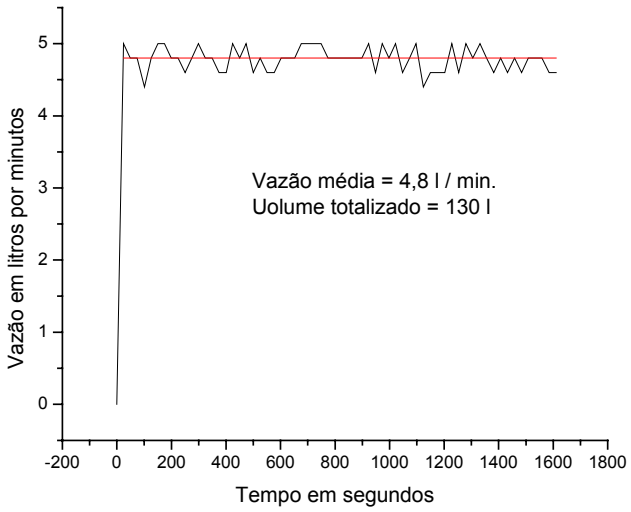


Figura 4.6 : Avaliação de vazão de gás hélio utilizando medidor LAO-G6

4.6 – Projeto de Monitoração e Recuperação de Hélio

Considerando os resultados satisfatórios obtidos com as implementações do Detector de Vazamento de Gás Hélio por via Indireta e do Medidor de Gás G6 Modificado, idealizou-se o projeto de Monitoração e Recuperação de Gás Hélio, para o Centro.

O projeto está estruturado em três linhas básicas de ação :

- Detecção de fuga de gás hélio;
- Avaliação da vazão de gás hélio recuperado;
- Monitoração e gerenciamento da distribuição e consumo de hélio.

O projeto prevê a implantação de um sistema que venha realizar de forma automática e contínua a supervisão da utilização de hélio no CBPF, detectando rapidamente situações de falha, antes de sua evolução, e fornecendo dados e parâmetros sempre atualizados como subsídios para tomadas de decisões e determinação de planejamento.

Para a detecção de possíveis vazamentos de hélio gasoso propõe-se, a princípio, a instalação na tubulação da Linha de Recuperação, de um Dispositivo Detector de Vazamento de Gás Hélio por via Indireta, que procederá de forma contínua e automática

a análise do gás recuperado que está retornando ao Laboratório de Criogenia, depois de utilizado nos diversos laboratórios do Centro.

O Dispositivo Detector enviará os dados para o computador de controle, que deverá estar localizado no Laboratório de Criogenia. Os dados serão então processados pelo programa de controle, que irá arquivá-los e disponibilizará em sua tela os gráficos de concentração de oxigênio presente no gás hélio recuperado e também os parâmetros de verificação do estado operacional do sistema de supervisão.

A partir da análise dos dados recebidos do Dispositivo Detector de Vazamento, o programa de controle sinalizará as situações de normalidade, de atenção e de alerta, determinando o acionamento de alarmes visuais e sonoros, caso a situação assim necessite.

Já a determinação do volume de gás hélio que está retornando ao Laboratório de Criogenia, deverá ser avaliada com a instalação do medidor de gás LAO-G6 Modificado, na tubulação da Linha de Recuperação, em sua chegada ao Laboratório, e um segundo medidor, interno ao Laboratório, é previsto para possibilitar a realização dos cálculos de totalização de hélio gasoso recuperado e transferido do balão inflável de armazenagem para os cilindros de alta pressão.

Os medidores LAO-G6 Modificado, irão remeter para o computador de controle as informações relativas ao volume de gás que retorna ao Laboratório e a quantidade que está armazenada, e o programa de controle processará os dados disponibilizando-os a qualquer tempo.

Compõe uma das propostas do projeto a implementação de uma plataforma de pesagem cuja função será determinar a quantidade de hélio líquido que deixa o Laboratório de Criogenia com destino ao reabastecimento dos criostatos dos laboratórios do Centro, ou que retorna dos mesmos, caso o volume contido na “garrafa” que saiu seja apenas parcialmente utilizada.

A associação das informações recebidas dos medidores de gás LAO-G6 Modificado e dos dados inseridos pela pesagem das “garrafas” de hélio líquido, irão possibilitar a realização de um balanço da quantidade de hélio disponível no sistema de distribuição e recuperação do Centro, contribuindo para otimização dos procedimentos de controle e planejamento.

A implantação do projeto, foi prevista para se realizar em quatro fases:

- Fase 1 : Levantamento de Parâmetros e Controle de Fuga;
- Fase 2 : Monitoração de Consumo de hélio;

- Fase 3 : Balanço do Consumo de hélio do Centro;
- Fase 4 : Avaliação do Sistema proposto.

Em uma primeira fase, que chamaremos de Levantamento de Parâmetros e Controle de Fuga, o Dispositivo Detector de Vazamento de Gás Hélio por via Indireta, seria instalado na Linha de Recuperação, em sua chegada no Laboratório de Criogenia, atuando, a princípio, fundamentalmente, como coletor de dados sobre os níveis da concentração de oxigênio presentes no gás hélio recuperado neste ponto específico do sistema.

Os dados coletados pelo Detector, e armazenados no programa de controle, depois de analisados fornecerão qual a faixa de variação da concentração de oxigênio presente no gás recuperado na chegada do Laboratório de Criogenia, que poderá ser considerada dentro da normalidade de operação.

Outras informações importantes também poderão ser extraídas da análise dos mesmos dados tais como: as variações da concentração de oxigênio que podem ser esperadas em função do período de aquisição ou de procedimentos padronizados dos laboratórios.

As informações coletadas neste levantamento, serão incorporadas ao programa de controle do Detector de Vazamento, possibilitando que ele atue de forma eficaz como alarme de vazamento de gás hélio, a partir da comparação entre a concentração de oxigênio presente no gás recuperado com os parâmetros arquivados.

Na segunda fase de implantação do projeto, Monitoração do Consumo, deverão ser instalados dois medidores de gás LAO-G6 Modificado, um deles na linha de recuperação, em sua chegada ao Laboratório de Criogenia, e o outro na tubulação que realiza a transferência do gás que foi recuperado e estocado no balão coletor inflável para os cilindros de alta pressão.

Os dois medidores de gás enviarão para o programa de controle informações relativas ao volume de gás que retorna ao Laboratório de Criogenia e a quantidade internamente armazenada no Laboratório.

Em seguida, deverá ser implantado um sistema de pesagem para todos reservatórios criogênicos que deixem ou cheguem ao Laboratório de Criogenia, seja devido às operações de abastecimento dos criostatos do Centro ou mesmo na aquisição de hélio líquido de fornecimento externo.

A operação de pesagem deverá ser efetuada por meio da instalação de uma plataforma de pesagem digital no Laboratório de Criogenia, sendo os dados relativos a

cada “garrafa” transportados inicialmente de forma manual pelos operadores para o Programa de Controle, e posteriormente de forma automatizada por meio da codificação das “garrafas”.

Dessa maneira cada “garrafa” ao sair ou retornar ao Laboratório de Criogenia, terá registrado seu peso, data e hora de saída ou retorno, o que tornará possível o balanço do estoque de hélio existente, ao se associarem estas informações com as fornecidas pelos medidores de gás que foram instalados na Linha de Recuperação e na tubulação de transferência de hélio do balão coletor inflável para os cilindros de alta pressão.

Em uma última fase de implantação do projeto, Avaliação do Sistema, deverão ser avaliados o desempenho dos transdutores e previstos aperfeiçoamentos dos mesmos. Poderão ser identificados outros pontos estratégicos para monitoração da concentração de oxigênio no gás recuperado, sendo então instalados novos Detectores de Vazamento e procedida a revisão do programa de controle para sua adequação à monitoração de um maior número informações.

4.6.1 – Programa de Controle

O Programa de Controle deverá ser implementado em linguagem gráfica orientada a objetos, *LabView*, da *National Instruments*, em função da compatibilidade com os programas do Dispositivo Detector e do Medidor de Gás, já desenvolvidos nesta linguagem de programação, e também devido ao fato de esta linguagem ser dedicada à instrumentação e possuir uma ótima interface com o usuário.

O programa desenvolvido irá realizar a leitura dos equipamentos via porta paralela e interface do conversor analógico-digital (ADC). As informações relativas aos estoques de hélio líquido e gasoso, poderão ser selecionadas no painel de controle do programa, bem como a visualização gráfica da concentração de oxigênio no gás hélio que está sendo recuperado.

Para uma melhor visualização e facilidade na compreensão do programa, primeiramente apresentamos de forma esquemática nas figuras 4.7 e 4.8, as trajetórias percorridas pelo hélio na forma líquida e gasosa, no processo de distribuição e recuperação no Centro.

Na figura 4.7, temos um diagrama em blocos representativo da movimentação de hélio líquido distribuído aos laboratórios do Centro e do hélio gasoso recuperado, externamente ao Laboratório de Criogenia , já com as implementações sugeridas pelo

projeto e as indicações dos sinais enviados pelo dispositivo detector de vazamento, pelo medidor de gás G6 e pela plataforma de pesagem, para o computador de controle.

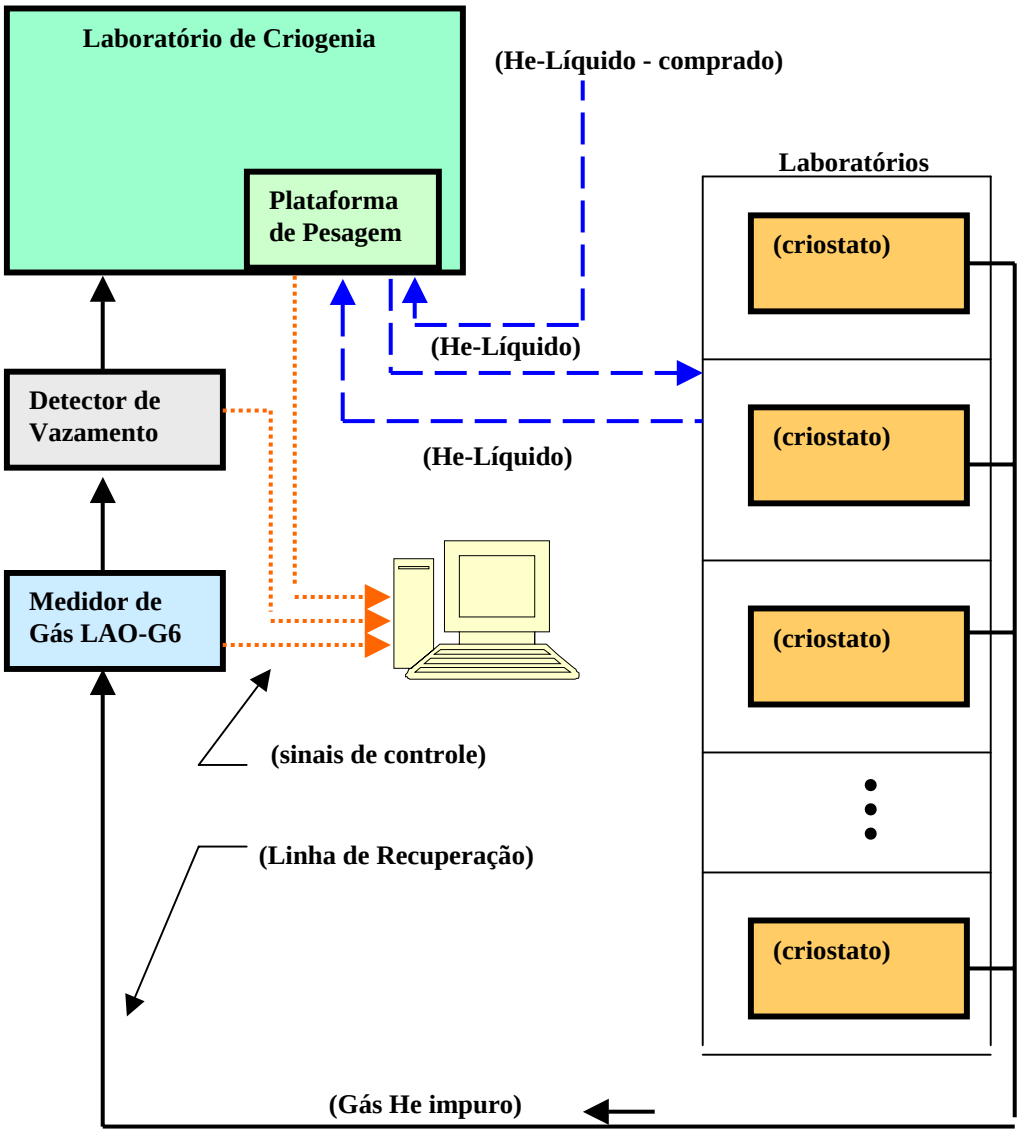


Figura 4.7 : Diagrama em blocos da movimentação de hélio líquido e hélio gasoso recuperado, externo ao Laboratório de Criogenia, juntamente com as implementações sugeridas pelo Projeto Monitoração e Recuperação.

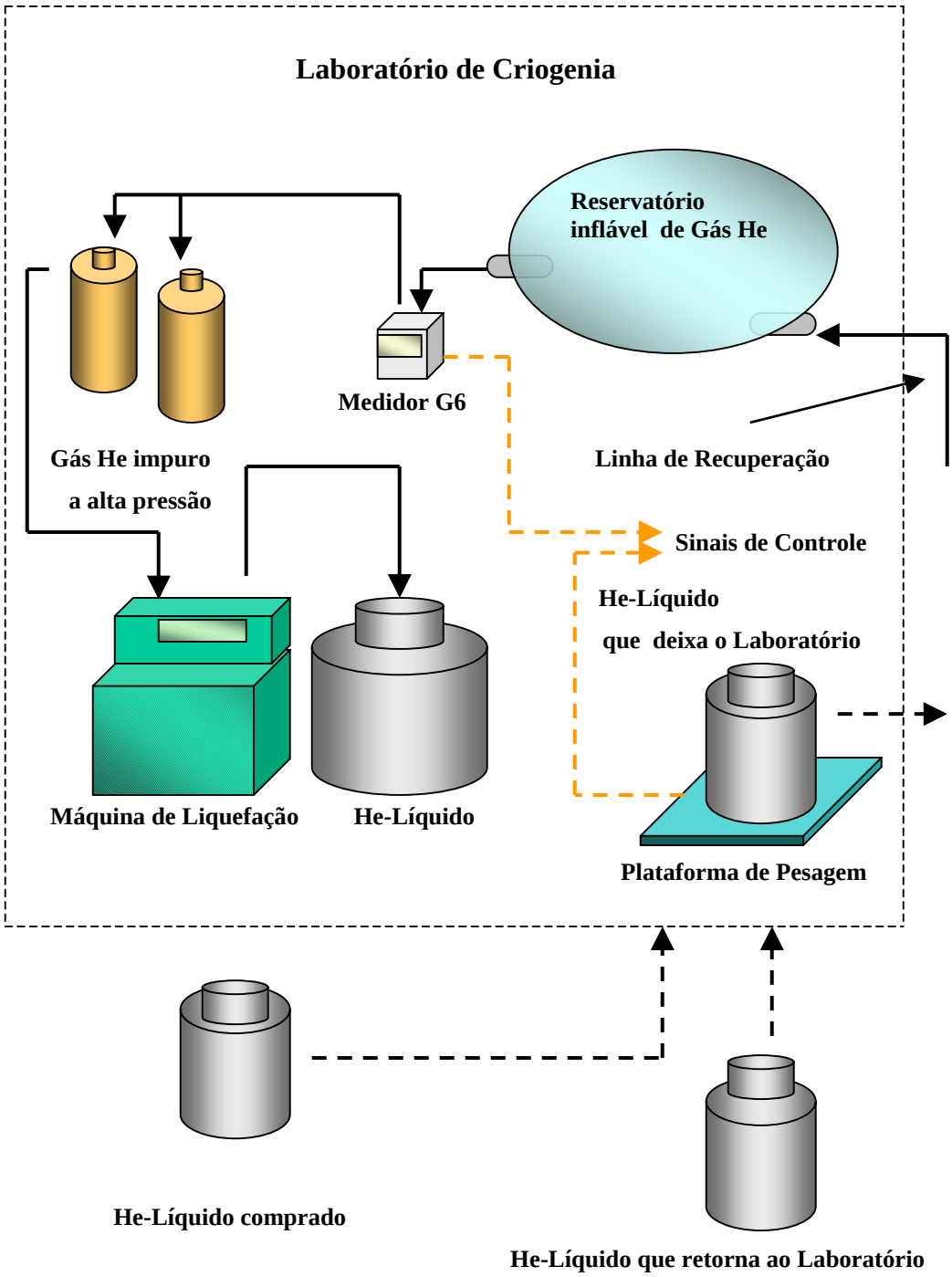


Figura 4.8 : Diagrama em blocos das movimentações de hélio gasoso recuperado e hélio líquido, internamente ao Laboratório de Criogenia, com implementações sugeridas pelo Projeto de Monitoração e Recuperação.

Na figura 4.8 está representada a movimentação do gás hélio, agora internamente ao Laboratório de Criogenia, identificando o armazenamento inicial do gás recuperado no reservatório inflável, a linha de transferência que conduz o gás para os cilindros de alta pressão, com a implementação do medidor de gás G6, a conversão de hélio gasoso para líquido e também a movimentação dos reservatórios criogênicos com hélio líquido, que deverão sair e retornar ao Laboratório pela plataforma de pesagem.

Após serem inicializadas todas as variáveis, o programa passa a incrementar a variável correspondente ao volume de gás hélio que retorna ao Laboratório de Criogenia pela Linha de Recuperação, e também à variável correspondente ao volume de gás que é retirado do depósito inflável e comprimido nos cilindros de gás hélio impuro (cilindros de alta pressão). Os incrementos nestas variáveis, são realizados por meio do sinal enviado pelos medidores de gás LAO-G6, a cada 2 litros de gás totalizados.

A operação de atualização dos volumes de gás hélio recuperado e gás hélio transferido para os cilindros, pode ser representada pela expressão:

$$V_{HR} = V_{HR} + I \tag{4.1}$$

$$V_{HS} = V_{HS} + I \tag{4.2}$$

Onde:

V_{HR} = Volume de gás hélio recuperado;

V_{HS} = Volume de gás hélio transferido para os cilindros a alta pressão.

I = Incremento da variável, no valor de 2 litros de gás

O programa também irá efetuar a atualização da variável correspondente ao estoque de hélio líquido existente no Laboratório de Criogenia, a partir dos dados inseridos pelos técnicos do Laboratório, referentes:

- ao estoque de gás hélio impuro armazenado nos cilindros de alta pressão;
- ao volume de hélio obtido da liquefação de gás recuperado;
- ao volume de hélio líquido comprado;
- aos volumes de hélio líquido que deixam e que retornam ao Laboratório.

As informações relativas aos volumes que deixam e retornam ao Laboratório, serão obtidas da pesagem dos reservatórios criogênicos móveis utilizados para abastecer os diversos laboratórios do Centro.

Assim podemos escrever a rotina como:

$$V_{HLE} = V_{HLE} + V_{HLC} + V_{HLR} + V_{GHL} - V_{HLD} \qquad (4.3)$$

Onde :

V_{HLE} = Volume de hélio líquido existente no Laboratório;

V_{HLC} = Volume de hélio líquido adquirido externamente;

V_{HLR} = Volume de hélio líquido que retorna ao Laboratório;

V_{GHL} = Volume de hélio líquido obtido por liquefação no Laboratório;

V_{HLD} = Volume de hélio líquido que deixa o Laboratório.

O programa através da identificação da "garrafa" realizará o controle dos reservatórios que estão fora do Laboratório, contabilizando seus volumes negativamente até um determinado período de tempo limite após sua saída, a partir do qual deverá indicar um procedimento de verificação da situação dos reservatórios, caso ainda não exista a informação de seu retorno ao Laboratório.

A cada intervalo de tempo ajustável, o programa irá realizar a totalização do volume de gás hélio que retornou ao Laboratório de Criogenia e está estocado no reservatório inflável, disponibilizando esta informação, em conjunto com àquelas relativas aos estoques de gás hélio impuro e de hélio líquido também armazenados no Laboratório.

$$V_{HRE} = V_{HRE} + (V_{HR} - V_{HS}) \qquad (4.4)$$

Onde:

V_{HRE} = Volume de gás recuperado e armazenado no reservatório inflável;

V_{HR} = Volume de gás hélio recuperado;

V_{HS} = Volume de gás hélio transferido para os cilindros a alta pressão.

O programa poderá também a partir de todos os dados coletados e da utilização de um fator médio de perda na conversão de gás para líquido, apresentar uma projeção do volume total de hélio líquido que se tem disponível no Centro.

$$V_{HLT} = V_{HLE} + (V_{HRE} + V_{HRC}) \, x \, FC \qquad (4.5)$$

Onde:

V_{HLT} = Volume total de hélio líquido presumível;

V_{HLE} = Volume de hélio líquido existente no Laboratório;

V_{HRE} = Volume de gás recuperado e armazenado no reservatório inflável;

V_{HRC} = Volume de gás recuperado e armazenado nos cilindros a alta pressão;

FC = Fator de perda no processo de liquefação do gás hélio.

As instruções básicas executadas pelo Programa de Monitoração e Recuperação, estão resumidas no fluxograma apresentado na figura 4.10.

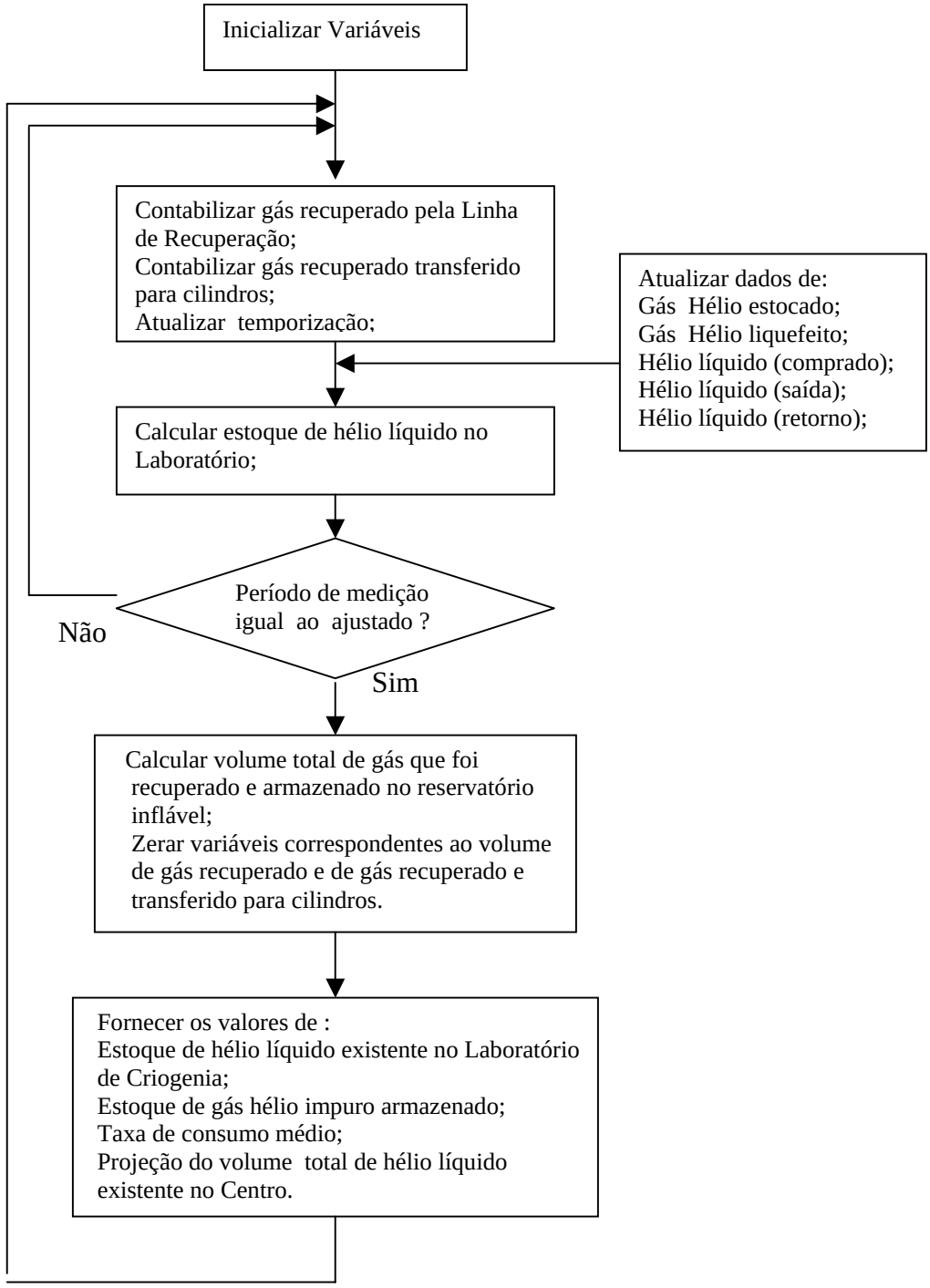


Figura 4.10 : Fluxograma das instruções básicas do Programa de Monitoração e Recuperação.

CONCLUSÃO

Os estudos e implementações que deram as diretrizes desta dissertação de mestrado, forneceram a base para que fosse realizado um trabalho de instrumentação científica, que acreditamos ter alcançado seus objetivos.

A partir destes estudos e implementações, foi desenvolvido um dispositivo confiável, capaz de realizar de forma contínua e automática a monitoração em dutos de recuperação de gás hélio à temperatura ambiente. Utilizando o princípio da difusão de gases como fundamento, o dispositivo desenvolvido mostrou-se capaz detectar vazamento em tubulações contendo hélio gasoso, através da percepção da contaminação do mesmo pelo oxigênio presente no ar atmosférico.

Os gráficos com as curvas obtidas das simulações de vazamento de gás hélio, realizadas em arranjos semelhantes aos encontrados nos ramais da Linha de Recuperação dos laboratórios, atestam a sensibilidade do dispositivo desenvolvido.

Os resultados das monitorações feitas no Laboratório de Instrumentação e Medidas e no Laboratório de EPR mostram que o dispositivo é capaz também de identificar de maneira indireta, alterações na rotina do equipamento monitorado, tais como transferência de hélio líquido para o criostato e processos de preparação para a realização de medidas.

Com a análise destas curvas, foi possível para os dois laboratórios em que foram realizadas as monitorações, estabelecer um comportamento de níveis de ocorrência considerados como normais para a concentração de oxigênio presente no gás hélio recuperado. Os valores adotados estão associados ao período em foram feitas as monitorações e permitiram a definição dos níveis de atuação de alarme do dispositivo detector.

A sua originalidade na monitoração automática de vazamento de hélio gasoso, conduziu à elaboração de uma documentação específica com a qual foi protocolado o depósito do seu pedido de patente. A efetivação do pedido foi realizada com apoio do Serviço de Suporte à Propriedade Industrial do CNPq e de sua Procuradoria Jurídica, sendo aceito pelo Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), protocolado sob o registro PI 0403515-1.

O texto definitivo que descreve o Dispositivo Detector de Vazamento, que foi protocolado e aceito pelo INPI, constitui-se no documento conclusivo de um processo composto de várias etapas. A primeira delas é a pesquisa nos arquivos do INPI da

documentação existente, correlata ao invento para o qual se deseja a patente. O seu resultado é determinante para o desdobramento e evolução de todo o processo. Nas etapas seguintes será então construída toda a documentação que apresentará o invento, onde deverá ficar garantida sua originalidade, funcionamento e autoria.

O conjunto da documentação exigida e apresentada ao INPI, textos, diagramas, desenhos, entre outros, possuem características próprias que os diferem das descrições dos textos de documentação científica, devendo ser utilizados os termos específicos para este fim. Dessa maneira o presente trabalho, contribui a estabelecer uma nova forma de apresentar os dispositivos desenvolvidos pelo Centro, podendo constituir-se em uma nova cultura científica.

Os estudos e pesquisas desenvolvidas também conduziram ao estabelecimento de uma cooperação entre o CBPF e a LAO Indústria, fabricante tradicional de medidores de gás, sediada na cidade de São Paulo.

A cooperação operacionalizada através do Laboratório de Medidores de Gás da LAO e o Laboratório de Instrumentação e Medidas do CBPF possibilitou a doação ao CBPF de um medidor de gás comercial modelo G6 e estabeleceu um canal de comunicação direta com os técnicos da LAO.

De posse do medidor G6 realizou-se uma primeira adaptação do mesmo com a intenção de sua utilização na determinação do volume total de gás hélio recuperado. Uma interface de comunicação com um microcomputador também foi desenvolvida de maneira que os valores medidos pudessem ser processados em um programa de gerenciamento.

As simulações realizadas mostraram uma discrepância em média 4% a menor, em relação à vazão medida, que foi atribuída ao fato de o medidor estar originalmente calibrado para o ar, e que poderá ser compensada via programa de gerenciamento ou a partir de uma calibração específica.

A cooperação prevê ainda a possibilidade da realização, nos laboratórios da LAO, de ensaios específicos em medidores de gás modificados pelo CBPF e o desenvolvimento em conjunto dos mesmos para sua transformação em produtos, que seriam de interesse de outros centros de pesquisa que utilizam também o hélio líquido em experimentos a baixas temperaturas.

As duas implementações, detector de vazamento e o medidor volumétrico modificado, forneceram subsídios para a apresentação da proposta de um projeto básico para um sistema de gerenciamento de distribuição e recuperação de hélio, como contribuição ao sistema existente no CBPF.

Em função da utilização dos dispositivos desenvolvidos, e de suas características operacionais, o sistema proposto possui grande flexibilidade de implantação, intervindo de forma mínima no sistema e nos laboratórios e podendo ser ampliado para mais pontos de detecção de vazamento.

O projeto ainda contará com um custo de implantação e operação, bastante vantajoso, se comparado com as filosofias de instrumentação usualmente utilizadas para esta finalidade.

Considerando as futuras implementações, deverá ser previsto um gabinete de maiores dimensões para o alojar o Detector de Vazamento de Gás Hélio por via Indireta, uma vez que apesar do bom desempenho apresentado, a grande proximidade entre os módulos eletrônicos de detecção e conversão, acarretou também uma maior dificuldade na inspeção visual e manutenção dos mesmos.

Um maior gabinete possibilitará também o aumento proporcional das dimensões do módulo eletrônico do conversor analógico digital, que poderá ser confeccionado em circuito impresso com trilhas de maior robustez. Essa nova característica do módulo irá determinar uma melhor qualidade na execução das soldas dos componentes, procedimento que aumentará a confiabilidade do módulo e do dispositivo como um todo.

Ainda para os futuros desenvolvimentos a utilização de um microcontrolador deverá ser avaliada, tanto para utilização no dispositivo detector de vazamento como no módulo eletrônico do medidor de gás, o que adicionaria aos equipamentos e ao próprio sistema de monitoração maior flexibilidade de ajustes.

Em resumo, todo o trabalho desenvolvido objetivou atender uma necessidade real do CBPF, específica dos laboratórios que trabalham com experimentos a baixa temperatura, que é a monitoração e o controle de gás hélio.

Para isso buscou-se uma nova abordagem do problema e o desenvolvimento de dispositivos de fácil implementação, com uma filosofia que permitisse flexibilidade e adaptações aos seus usuários, de forma a atender às exigências do Centro.

Seguindo a tradição do CBPF, os trabalhos levaram à busca de parcerias e cooperações para o desenvolvimento de novas técnicas e produtos, que acabaram por determinar uma forma específica de apresentar os resultados, culminando no depósito de uma patente e uma intenção de desenvolvimento conjunto de um produto específico.

Bibliografia

[1] CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS. **Laboratório de Criogenia.** Rio de Janeiro, 1999. Disponível em: http://www.cbpf.br/aval/Inst.Maio99/LabCriogenia.html. Acesso em 20 de jan. 2004.

[2] PRAXAIR, INC.. **Gases Industriais.** São Paulo, 2004. Disponível em: http://www.whitemartins.com.br Acesso em 03 de mar. 2004

[3] PV PREST VÁCUO LTDA. **Detecção de Vazamentos Industriais.** São Paulo, 2004. Disponível em: http://www.prestvacuo.com.br/vacuo/detectores.asp. Acesso em 03 de mar. 2004.

[4] MKS INSTRUMENTS, INC. **Helium Leak Detectors.** Wilmington, 2004. Disponível em: http://www.mksinst.com/. Acesso em 10 de mar. 2004.

[5] Hélio. http://pt.wikipedia.org/wiki/H%C3%A9lio . Acesso em mar. 2004.

[6] DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. **Balanço Mineral Brasileiro de 2001 - Zircônia.** Brasília, 2002

[7] CASTELLAN, G. W. **Físico-Química.** 1ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S/A, 1972.

[8] BAGINSKI, R.; **Condensação Bose-Einstein.** In: 17ª DISCUSSÃO SOBRE OS FUNDAMENTOS DA FÍSICA, IFUSP, 1997. Disponível em: http://www.fisufba.br/dfg/pice/ff/ff-17.htm#apresentação. Acesso em março 2004.

[9] RONAYETTE, L.; **Principe du Cycle de Claude et machine associée**, École Normale Supérieure Departement Physique, Grenoble. Disponível em: http://www.phys.ens.fr/dpt/sg/cryogenie/EXPOCNAM.htm . Acesso em abr. 2005.

[10] HILLERET, N. **Leak Detection**, CERN, Geneva. Disponível em: http://doc.cern.ch/yellowrep/1999/99-05/p25.pdf . Acesso abr. 2005.

[11] AGA AS. **Espectrometria de Massas.** São Paulo, 2000. Disponível em: http://hiq.aga.com.br. Acesso em 07 mai. 2004.

[12] VEGA-BUSTILLOS, O ; SASSINE, A. ; MARCH, R. **A Espectrometria de Massa Quadrupolar.** São Paulo: Scortecci, 2001.

[13] CREMASCO, M. A , **Fundamentos de Transferência de Massa**. Editora da UNICAMP, 1998.

[14] LIEC – Laboratório Interdisciplinar de Eletroquímica e Cerâmica. **Novo Método Eletroquímico de Preparação de Zircônia Estabilizada**. UFSCar. Disponível em: http://www.liec.ufscar.Br/eletroquímica/zirconia.html. Acesso em abr.2005.

[15] ELECTROVAC GmbH. **Oxygen Sensor Data Sheet** . Version 1.1 / WRE. Disponível em:
http://www.electrovac.com/sprache2/n161802/n.html . Acesso abr. 2004

[16] TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED. **The Linear Control Circuits Data Book for Engineers**, Second Edition, 1980.

[17] HOROWITZ, P. and HILL, W. **The Art of Electronics.** Cambridge University Press. 1989.

[18] SEDRA, A.S. and SMITH, K.C. **Microeletronic Circuit**. Oxford University Press,1991.

[19] JÚNIOR, A.P. **Amplificadores Operacionais**. 5ª edição. São Paulo: Makrom Books, 1996.

[20] BATE, R.; **Introduction to Cryogenics for Superconducting RF Cavities**, ASTeC – Acelerator Science and Technology Centre, U.K., 2005. Disponível em: http://astec.ac.UK/index.htm. Acesso em 08 abr. 2005.

[21] REY, A.B. **Física Fundamental.** 1ª edição São Paulo: Edições Fortaleza, 1970.

[22] ANALOG DEVICES. **AD974 Data Sheet**. Disponível em :
www.analog.com/UploadedFiles/ Data_Sheets/693498521AD974_a.pdf

[23] MILLMAN, J. e HALKIAS, C. C. **Eletrônica Dispositivos e Circuitos.** São Paulo: Editora McGraw – Hill ltda.

Apêndice A

PROCESSAMENTO DO PEDIDO DE PATENTE E DA PATENTE

Conforme define o Instituto Nacional de Propriedade Industrial – INPI, “a patente é um título de propriedade temporária sobre uma invenção ou modelo de utilidade, outorgados pelo Estado aos inventores ou autores ou outras pessoas físicas ou jurídicas detentoras de direitos sobre a criação.”

Determina a lei internacional de patentes, que durante o período de vigência da mesma, o titular tem o direito de excluir terceiros, que não estejam previamente autorizados, de atos relativos à matéria protegida, tais como fabricação, comercialização, importação, uso, venda e etc. Em contrapartida, o inventor se obriga a revelar detalhadamente todo o conteúdo técnico da matéria protegida pela patente.

Etapas que constituem o depósito de um pedido de patente no INPI e de sua tramitação, podem ser apresentadas como se segue:

1- Busca Prévia
2- Depósito e Conteúdo do Pedido de Patente
3- Sigilo do Pedido Depositado
4- Exame do Pedido
5- Carta-Patente
6- Recurso/Nulidade
7- Custos Básicos

1 - Busca Prévia

A busca prévia não é obrigatória, mas recomendada pelo INPI, e pode ser uma busca individual, quando realizada pelo próprio interessado, no Banco de Patentes do INPI no seu edifício sede , ou pode ser uma busca isolada, quando solicitada pelo interessado e realizada pelos técnicos do INPI.

Na busca individual, um técnico do INPI irá avaliar as características do invento e selecionar o material sobre qual será realizada a pesquisa, colocando à disposição do interessado, documentos de patentes existentes, nacionais e também dos principais

países industrializados, que estejam relacionados com a matéria da busca, evitando o manuseio de material desnecessário.

2 - Depósito do Pedido

O pedido pode ser efetuado na Recepção do edifício sede do INPI no Rio de Janeiro, localizado na Praça Mauá n.º 7, CEP 20.083-900, nas Delegacias e Representações Regionais em outros estados, ou através de envio postal endereçado à Diretoria de Patentes/SAAPAT com indicação do código DVP (Ato Normativo 127 itens 4.2, 4.2.1 e 4.4).

O pedido deve ser feito através do formulário específico, Modelo 1.01, de Depósito de Pedido de Patente, e a documentação deve ser apresentada em 3 vias, sendo que o depositante poderá apresentar mais 2 vias para uso próprio.

Ao protocolar o pedido, o depositante receberá um recibo provisório devendo retornar posteriormente para receber a cópia , devidamente numerada e filigranada.

Antes de aceito o depósito, será efetuado um exame preliminar, para verificar se o pedido está de acordo com as normas. Caso seja necessário, poderão ser solicitadas adequações, que deverão ser cumpridas em 30 dias, no caso de pedidos de patentes.

Os pedidos devem conter :

- relatório descritivo
- reivindicação
- desenho (não obrigatório para invenções)
- resumo
- comprovante de recolhimento da retribuição (guia própria do INPI)
- outros documentos que se fizerem necessários, dependendo do pedido (procuração, documentos do país de origem, etc.)

Relatório Descritivo:

É parte do documento de patente que descreve de modo suficiente, claro e completo, o objeto do pedido. Este relatório deve conter detalhes que permitam para um técnico da área reproduzir o objeto. Sua linguagem deve ser consistente e todos os elementos do objeto, devem possuir sua designação e numeração.

O relatório tem que começar com um título, que não pode ser uma marca ou nome de fantasia.

Reivindicações:

Define a matéria para qual a proteção é solicitada, estabelecendo os direitos do inventor/criador.

As reivindicações devem ser formuladas para evidenciar de maneira clara as particularidades e originalidade da invenção, normalmente para isso descrevendo um preliminar sobre o estado da técnica.

Resumo:

Sumário de descrição técnica do pedido de patente que permite uma breve avaliação da matéria coberta pelo mesmo, devendo ter de 50 a 200 palavras.

3 - Sigilo do Pedido Depositado

Feito o depósito, o pedido será mantido em sigilo pelo INPI, até sua publicação que ocorrerá após dezoito meses, podendo ser antecipada por meio de requerimento do depositante.

4 - Exame do Pedido

Para se ter o pedido analisado, deverá ser protocolada uma Solicitação de Exame, pelo depositante ou qualquer interessado, dentro dos primeiros 36 meses do depósito do pedido.

5 - Carta Patente

Quando o pedido é deferido, esta decisão é publicada pelo INPI na Revista de Propriedade Industrial – RPI, que aguardará por um prazo de 60 dias para que seja solicitada a expedição da Carta-Patente, findo o prazo o processo é definitivamente arquivado.

6 - Recursos / Nulidade

As decisões da Diretoria de Patentes - DIRPA são, em princípio, recorrívei. Somente as decisões expressas na LPI como definitivas não são passíveis de recurso.

A nulidade poderá ser instaurada ou solicitada se contrariar os dispositivos legais da Lei 9279/97 ou por terceiros que se sintam prejudicados.

7 - Custos Básicos

A taxa de depósito do pedido de patente é de R$55,00 para pessoas físicas, instituições de ensino e pesquisa e microempresas. O pedido de exame de invenção com até 10 (dez) reivindicações é de R$160,00.

Não havendo obstáculos processuais, como exigências e subsídios do exame, deverão ser pagos R$40,00 pela expedição da Carta-Patente.

A retribuição anual (anuidades), será paga a partir do segundo aniversário da data do depósito do pedido de patente, sendo inicialmente no valor de R$80,00 e sofrendo variações nos anos seguintes.

Através da página na internet do INPI, é possível ter acesso à parte do banco de patentes registradas no órgão, assim como à situação dos processos em andamento. Encontram-se também disponíveis, modelos de relatórios descritivos, todos os formulários e tabelas atualizadas necessários a elaboração da documentação do pedido de patente.

Apêndice B

INSTRUMENTAÇÃO VIRTUAL

O *programa de computador* é um dos elementos-chave da automatização, sendo responsável por administrar toda a tarefa e proceder à realização dos cálculos numéricos. Outro elemento-chave é a *monitoração e controle do instrumento pelo computador*, e que deve ser realizada via comunicação digital de dados, exigindo para isso interfaceamento e transmissão de sinais digitais.

Esses elementos compõem a chamada engenharia auxiliada por computador (CAE – *Computer-Aided Engineering)* denominada Instrumentação Virtual.

Um instrumento real genérico pode ser visto como um aparelho dotado dos seguintes componentes:

- um elemento sensor ou atuador;
- um transdutor;
- um painel de controle e medição;
- um painel de conexões.

Outros componentes fazem parte do instrumento, como por exemplo os circuitos eletrônicos, porém os elementos apresentados são suficientes para a construção de um modelo genérico de instrumento, que possa ser considerado satisfatório.

O instrumento virtual é um sistema formado por um computador mais um instrumento de medida ou equipamento de comando, ambos reais, e colocados em comunicação. Um programa executado no computador torna o instrumento ou controlador acessível ao operador através de uma interface gráfica de programação.

Essa interface irá reproduzir na tela do computador, da maneira mais fiel possível o instrumento real, apresentando botões, chaves, mostradores, indicadores, painéis de exibição gráfica, etc, que serão objetos interativos, animados sob ação do operador através do apontador do *mouse*.

O instrumento conectado ao computador pode ser um equipamento complexo como um osciloscópio ou freqüencímetro, por exemplo, ou um simples sensor de temperatura.

Usando o computador, podemos ampliar os recursos de um instrumento real, acrescentando-lhe funções executadas pelo computador com as medidas fornecidas pelo instrumento.

Por exemplo, se acoplarmos ao computador um osciloscópio digital que não possua a função de análise espectral, podemos obter os dados do sinal adquiridos pelo osciloscópio, processá-los no computador usando um algorítmo de FFT (Transformada Rápida de Fourier) e assim realizar a análise espectral do sinal. O conjunto osciloscópio digital + computador executando a FFT, forma então um Analisador de Espectro Virtual.

Na instrumentação virtual, o computador é usado tanto para operar o instrumento, quanto para conduzir o experimento, e a interface associado ao computador deve prover o operador da mesma funcionalidade que a interface que um instrumento real apresentaria ao usuário.

Assim, através da tela do computador, seu teclado e apontador, o usuário deve ser capaz de operar os instrumentos ou conduzir o experimento, como faria com o instrumento real, guardadas as características de funcionalidade e limitações de cada programa de instrumentação virtual.

A concepção mais elementar de se implementar a operação de um instrumento via computador é construir um programa em alguma linguagem declarativa, como C ou Pascal, e executá-lo, capturando através do teclado as entradas do usuário e apresentando os resultados na tela do monitor, em forma numérica ou gráfica.

Essa foi a abordagem tradicional durante muitos anos e largamente utilizada ainda hoje, no entanto com o advento dos ambientes gráficos de programação surgiram as chamadas linguagens de *programação visual* , sendo uma delas denominada linguagem G.

A linguagem G, tem a mesma potencialidade de uma linguagem textual, como C ou Pascal, por exemplo, entretanto seus comandos são apresentados de forma gráfica, como ícones interconectados através de ligações, sendo dotada também de blocos especiais para controle de fluxo , laços iterativos, etc, formando assim o programa.

O programa visual criado com esses blocos é compilado e executado dentro do ambiente chamado LabVIEW (Laboratory *Virtual Instrument Engineering Workbench),* que foi criado pela *National Instruments* como um ambiente de programação voltado ao desenvolvimento de aplicações, realizado através de programação visual orientada pelo fluxo de dados, com o foco em instrumentação virtual, oferecendo mecanismos para detectar, rastrear e diagnosticar erros de programação.

Durante a execução do programa, os objetos são disparados assincronamente, como *threads* independentes, havendo duas exceções a essa regra, que determinam a sincronização, ou seja, módulos que são executados até o fim: (1) os blocos dentro de uma seqüência, definidos como explicitamente seqüenciais e (2) os blocos que contêm código desenvolvidos em linguagem C, pelo usuário.

Os programas desenvolvidos em G são genericamente designados por VIs (*Virtual Instruments*), mesmo que não estejam implementando uma tarefa de instrumentação. Um VI pode ser encapsulado em um bloco e chamado como uma sub-rotina de outro VI, passando então a ser denominado como um Sub-VI, embora possa ser executado independentemente.

O instrumento virtual é composto de duas telas :

- Um painel frontal
- Um diagrama de blocos

O painel frontal é uma janela apresentada na tela do computador, na qual são desenhados ícones que lembram os componentes do painel de controle do instrumento real (botões, indicadores, chaves, sinaleiros, etc). Estes componentes irão sendo adicionados ao painel frontal, pela necessidade imposta pelas variáveis que estão sendo medidas ou ajustadas.

O diagrama de blocos é uma outra janela onde é mostrado o fluxo de como as informações são disponibilizadas para cada ícone e os processos a que estão submetidas as variáveis e parâmetros apresentados no painel frontal.

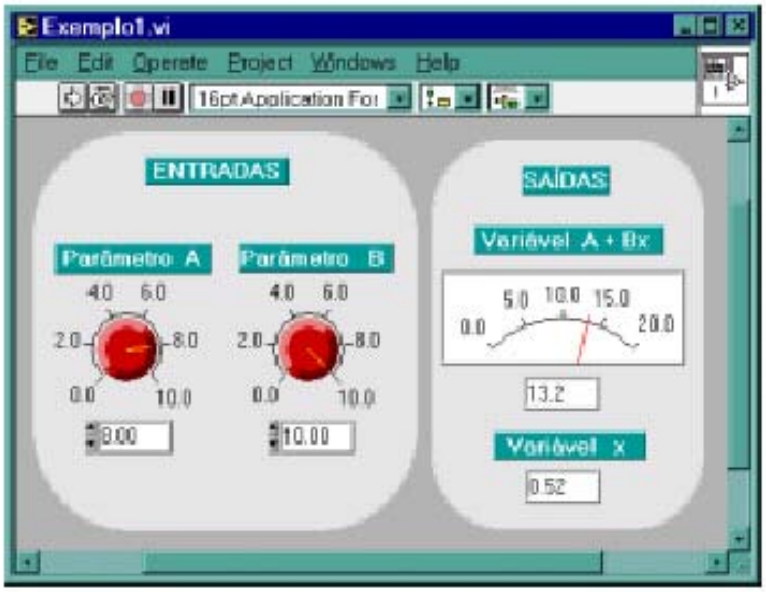
A figura 1 mostra um exemplo de apresentação na tela do computador de um painel frontal (a), associado ao seu diagrama de blocos (b), onde uma variável *x* gerada de forma aleatória é combinada com os parâmetros A e B ajustados através do painel frontal, produzindo o valor A*x* + B.

A figura 2 mostra a estrutura de como é implementado no LabVIEW um instrumento virtual. O processo de monitoração ou controle se dá fisicamente no instrumento real, que está conectado ao computador através de um enlace de comunicação digital, nesse exemplo será a GPIB – *General Purpose Interface Bus*, e a operação do instrumento real se faz por meio da interface gráfica do computador com o usuário.

O computador pode oferecer ao usuário, uma grande quantidade de recursos para o tratamento e apresentação das medidas realizadas pelo instrumento real que

efetivamente as fez, tais como a filtragem dos ruídos, ou a utilização de recursos gráficos para visualização dos dados melhorando sua forma de análise, por exemplo.

a)



b)

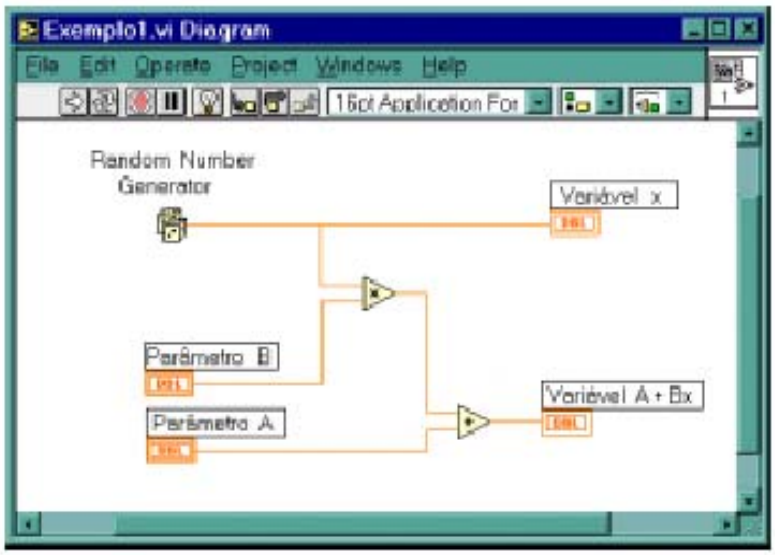


Figura 1 – Interface conceitual do instrumento virtual, LabVIEW:
(a) painel frontal e (b) diagrama de blocos.

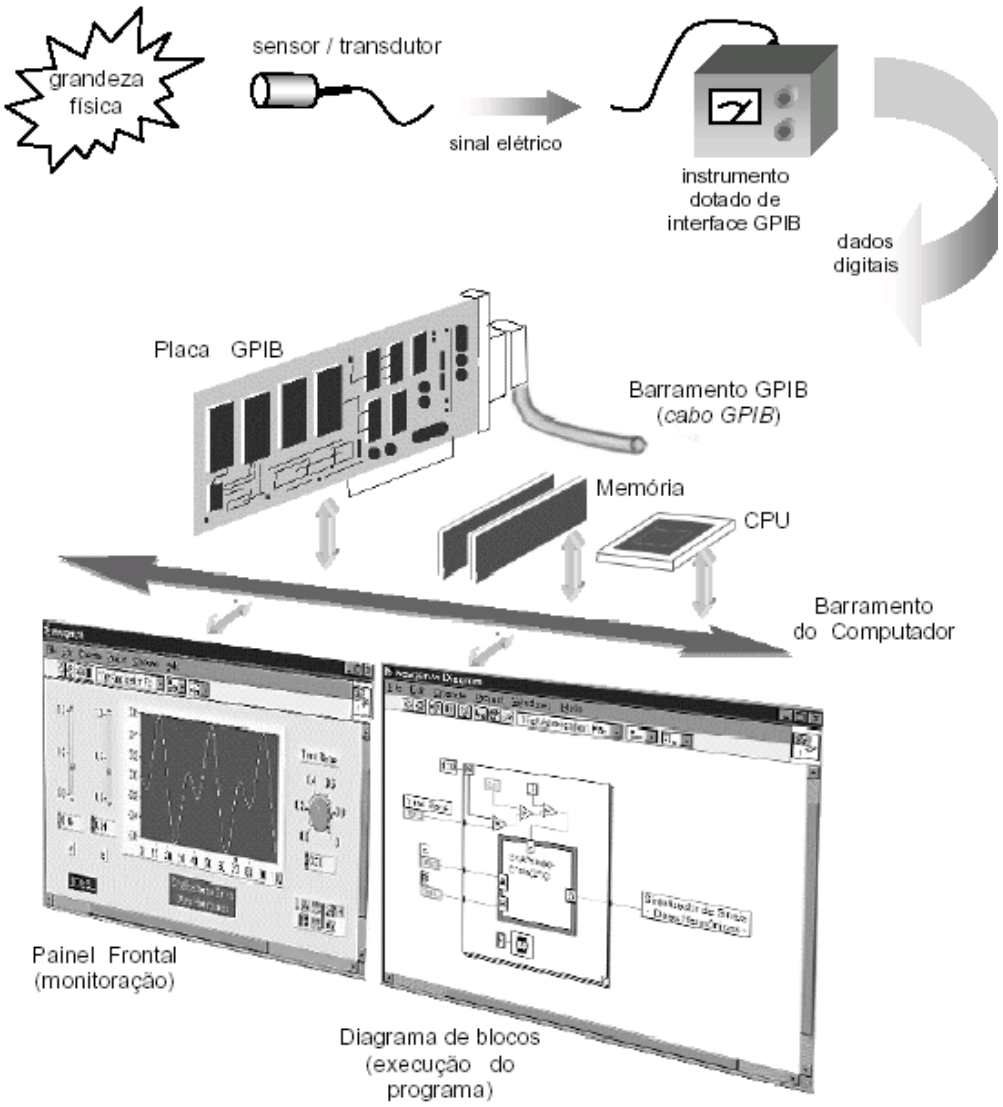


Figura 2 – Estrutura de um instrumento virtual

Há dois aspectos a se considerar quanto ao interfaceamento dos instrumentos reais com o ambiente de objetos da instrumentação virtual: (i) o componente de interfaceamento e (ii) o padrão de comunicação. O componente de interfaceamento refere-se ao módulo de programas que representa o instrumento real dentro do ambiente de programação. O padrão de comunicação determina a forma como os dados são transferidos (tipo de barramento de dados e protocolo de comunicação), devendo ser compatível com o componente de interface.

Os tipos mais comuns de barramentos de dados para uso em computadores são: via serial e via paralela. Nos barramentos seriais, há uma única via de física de comunicação, por onde passam os bits dos dados serialmente, e nos barramentos paralelos, há várias vias físicas para a transmissão dos bits dos dados paralelamente. Além das vias de dados, esses barramentos têm outras vias dedicadas a sinais de controle e aterramento.

As normas que padronizam os parâmetros destas vias e a forma como os dados e sinais são inseridos nas mesmas, são chamados protocolos. Os protocolos seriais mais utilizados são o RS-232C, o RS-449A, o *Universal Serial Bus* (USB) e o IEEE-1394 (*FireWire*). Os protocolos paralelos mais conhecidos são o IEEE-1284 (Centronix) e o IEEE-488 (GPIB), utilizado no *LabVIEW*.

A interface e barramento de comunicação GPIB, foi projetado em 1965 pela companhia americana Hewlett-Packard, para conectar seus instrumentos programáveis, e a chamou de HP-IB (*Hewlett-Packard Interface Bus*).

Em função da alta taxa de transferência que suporta (1 *Mbytes* nominal), esta interface passou a ser utilizada amplamente, o que levou a sua padronização pelo IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*), em 1975 com o nome de GPIB (*General Purpose Interface Bus*) ou IEEE488, sendo revisada em 1992 e reeditada como IEEE-488.2.

Na figura 3, é mostrado de forma esquemática um conector padronizado para interface GPIB e os sinais correspondentes a cada pino, sendo que a comunicação entre os dispositivos GPIB se processa através do envio de dois tipos de mensagem:

- Mensagens independentes de dispositivo, que são os dados (resultados de medidas, instruções de programação, status de máquina, arquivos de dados);
- Mensagens de comando da interface, são destinadas à execução de funções tais como endereçamento de dispositivos, programação de interface.

O padrão GPIB prevê três classes de ações para os dispositivos: os que falam (*talkers*), ou seja enviam dados, os que escutam (*listeners*), ou recebem dados, e os de controle (*controllers*), que gerenciam o fluxo de informações no GPIB enviando comandos para todos os dispositivos.

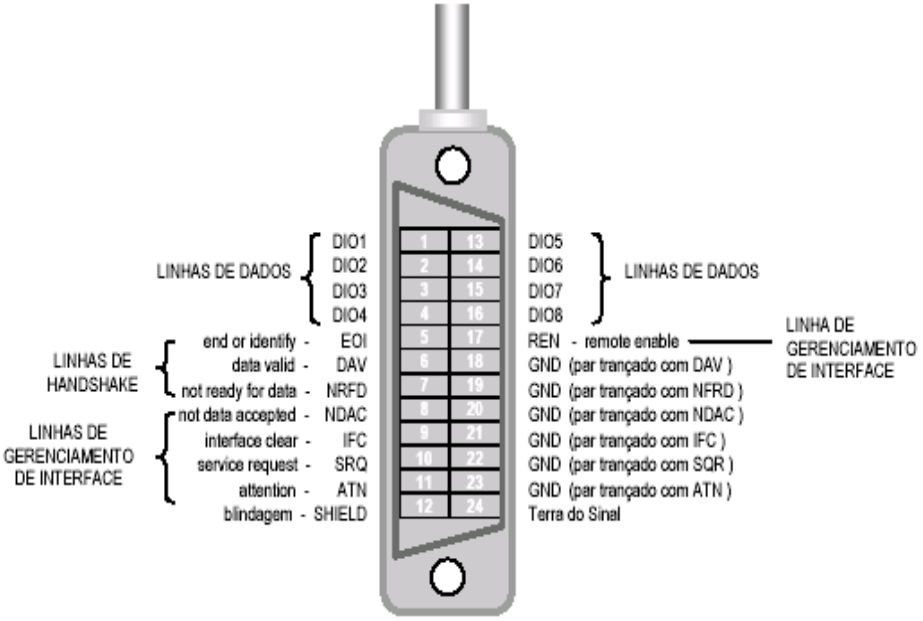


Figura 3 – Conector GPIB e os sinais correspondentes em cada pino.

Os dispositivos ligados em um barramento GPIB podem ser conectados na forma linear ou de estrela, como mostrado na figura 4.

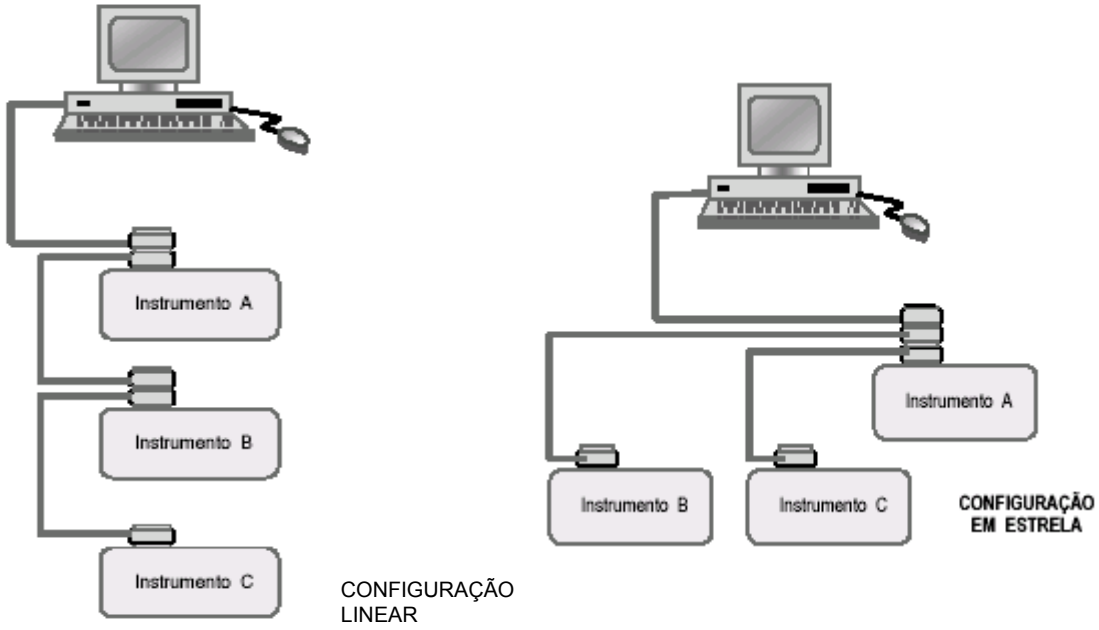


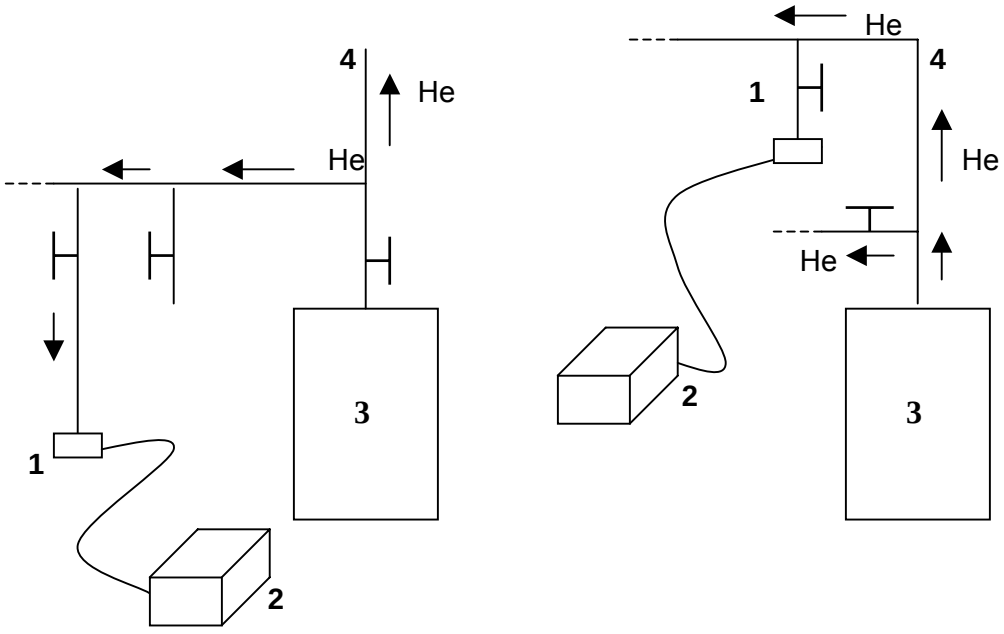
Figura 4 – Configurações de redes de instrumentos com GPIB.

APÊNDICE C

Manual Técnico de Operação do Detector de Vazamento de Gás Hélio por Via Indireta

A operação eficaz do Detector de Vazamento de gás Hélio por Via Indireta, prescinde de determinados procedimentos preliminares relativos à conexão do sensor de oxigênio à tubulação de recuperação de hélio e também aos ajustes iniciais do Detector.

1º - O dispositivo de proteção mecânica do sensor de oxigênio deve ser conectado a uma derivação da Linha de Recuperação ou à própria tubulação principal da Linha de Hélio, conforme esquematizado na figura 1;



1 – Sensor de Oxigênio
2 – Detector de Vazamento de Hélio
3 – Criostato
4 – Linha de Recuperação

Figura 1 – Conexão do dispositivo mecânico de proteção do sensor de oxigênio à tubulação de hélio, na linha de derivação (A) ou

na linha principal de recuperação (B).

Na conexão do dispositivo de proteção mecânica do sensor de oxigênio à tubulação de hélio, deve-se garantir que o mesmo esteja além dos pontos alcançados pelo congelamento do ar atmosférico na superfície externa da tubulação da Linha de Recuperação, que comumente ocorre durante o processo de transferência de hélio líquido para o criostato, sob risco de danos permanentes no sensor.

A saída da válvula de derivação que será utilizada para a conexão do dispositivo de proteção mecânica do sensor deverá estar adaptada com uma terminação para receber um duto flexível de látex de 8 mm de diâmetro interno.

2º - O sensor de temperatura que acompanha o Detector de Vazamento poderá ser inserido no tubo flexível de látex, para a monitoração da temperatura do gás que chega ao sensor de oxigênio, ou em outro ponto no qual o acompanhamento da temperatura seja importante, em função das características específicas da monitoração que se está realizando.

3º - O Dispositivo Detector de Vazamento de Hélio, possui uma chave manual para seleção da tensão de alimentação (110 VCA / 220 VCA), localizada na sua parte traseira, por meio da qual a tensão de alimentação do Detector deve ser escolhida de acordo com rede elétrica local. Na parte traseira do equipamento também se encontra a chave de Liga-Desliga do equipamento.

4º - Após serem conectados o dispositivo de proteção mecânica do sensor de oxigênio e o sensor de temperatura, deve-se estabelecer a ligação do Detector com microcomputador de controle, através do cabo de ligação com a porta paralela do microcomputador.

5º - Antes de ligar o Detector de Vazamento, os controles de ajuste da tensão de aquecimento e de polarização do sensor de oxigênio, localizados no painel frontal do Dispositivo, devem ser ajustados para posição zero volts, e chave que habilita o alarme sonoro deve estar na posição desabilitado.

6º - Ao se ligar o equipamento, o LED branco de indicação de funcionamento, localizado na parte frontal do Dispositivo, deverá permanecer aceso. É possível que inicialmente, o LED indicador de alto teor de oxigênio presente no hélio também acenda, em função de ainda não ter sido realizada a descontaminação do sensor de oxigênio.

7º - Em seguida deve-se ajustar a tensão de polarização do sensor para 1,2 Volts, e gradativamente a tensão de aquecimento, deve ser elevada até o patamar de 3,6 Volts.

8º - Ligado o computador e selecionado o programa de monitoração, na tela do painel de controle do programa, ajusta-se o número de iterações com que se irá realizar o cálculo do valor da concentração média de oxigênio presente no gás hélio recuperado, e também o intervalo de tempo entre as iterações.

9º - Na tela de diagrama em blocos do programa de controle, indica-se o endereço onde os dados serão arquivados e determinam-se quais os níveis de concentração serão considerados como baixo, normal e excessivo.

10º - A colocação do programa em operação é feita através do comando posicionado na tela de painel de controle, e iniciada a operação, automaticamente o programa passa a apresentar os gráficos de concentração média de oxigênio presente no hélio, tensão de aquecimento, tensão de polarização, temperatura do gás e a arquivar todos esses dados nos endereços determinados pelo usuário.

11º - Simultaneamente à apresentação dos dados e gráficos na tela, o programa mostra também uma indicação visual das condições de contaminação do gás recuperado, em função dos parâmetros de normalidade previamente definidos.

12º - Acompanhando através da tela de painel de controle do programa, realiza-se a limpeza do sensor de oxigênio e dutos a ele ligados, efetuando-se uma purga de gás hélio da linha de recuperação passando pelo sensor. A passagem livre do hélio pelo sensor deve se estender até que o programa indique níveis de concentração normais de oxigênio presente no hélio. Concluída a operação, os arquivos gravados devem ser descartados e novos arquivos iniciados, agora, com o alarme sonoro habilitado, para efetivamente se realizar a monitoração da Linha.

APÊNDICE D

INTERFACE DE COMUNICAÇÃO PARALELA

A comunicação pode ser entendida como sendo a transferência de mensagem ou informação entre dois ou mais pontos. No processo da comunicação pode-se destacar como principais elementos: a fonte, o canal, o receptor e a mensagem.

A fonte é o elemento do processo que origina (gera) a informação, o canal é o meio pelo qual a informação trafega, o receptor o elemento do processo que recebe e interpreta a informação e a mensagem é o conjunto de dados que é transmitido, ou seja, é a informação propriamente dita.

Uma informação é representada por sinais, sendo que aqueles enviados ou recebidos por computadores são geralmente elétricos, e podem ser caracterizados por parâmetros adequados tais como amplitude e freqüência.

Considerando a amplitude do sinal como referência, pode-se definir os dois tipos de sinais básicos: analógico e digital. A partir de sinais digitais, que podem assumir uma gama discreta de valores, o computador opera realizando várias combinações.

As combinações realizadas pelos sinais digitais, são chamadas códigos, sendo que os mais conhecidos são o ASCII (*American Standart Code Information Interchange*), que opera com 7 bits para cada caracter e 1 bit de controle de paridade, e o EBCDIC (*Extended Binary Code Decimal Interchange*) que opera com 8 bits para cada caracter.

Os tipos mais usados de transmissão são a assíncrona e a síncrona.

Na transmissão assíncrona, os bits de informação , que irão representar um determinado caracter, são acompanhados de bits de controle. A informação é precedida de um bit de partida ou *start*, convencionado de 0, indicando o início do caracter.

Ao final do caracter é colocado o bit de parada ou *stop*, convencionado de 1, podendo também ser representado por 1 bit, 1 bit e meio ou 2 bits, indicando final do caracter.

Na transmissão síncrona, não existem bits de *start/stop*, os caracteres se sucedem, um logo após o outro, formando um bloco, sendo precedidos por uma série de bytes de sincronismo para o receptor, com o intuito de avisar que a informação será enviada.

A transmissão síncrona exige que o *clock* de transmissão e recepção tenham exatamente a mesma freqüência, o que pode ser obtido de duas formas, dependendo do tipo de ligação.

Quando a ligação é direta, ou seja, os equipamentos estão próximos, o *clock* pode ser gerado em um deles e transmitido para o outro através de uma linha de sincronismo;

Quando a ligação é remota, distante, o receptor gera o seu *clock* com base no próprio sinal recebido.

Existem basicamente dois tipos de interfaces de comunicação, a serial e a paralela. Na serial, os bits são ordenados seqüencialmente e transmitidos um a um, por intermédio de uma única saída elétrica, enquanto a paralela, envia dados em conjunto de 8 bits, ou seja um byte por vez, transmitido ao mesmo tempo por oito saídas elétricas diferentes.

Devido à sua configuração paralela (de 8 bits de dados) a transferência de dados é, pelo menos, 8 vezes mais rápida que na comunicação serial, no entanto, mesmo enviando ao mesmo tempo todos os bits a serem transmitidos, eles não chegam aos seus destinos juntos, o que é chamado de espalhamento temporal.

Inicialmente, a porta paralela era usada exclusivamente para impressora, com o decorrer do tempo, ela passou a ser empregada para outros fins, como por exemplo: acesso a *drivers* (disco rígido, flexível, removível, CDROM's), interface de rede local e para interface com equipamentos de controle.

A sua ampla utilização deve-se ao fato de ser a interface mais simples do PC (*Personal Computer*), uma vez que não necessita de recursos adicionais para a interconexão, ao que se deve adicionar ainda, níveis apreciáveis de desempenho.

Utilizando-se uma linguagem de programação como: C, C++, Pascal ou mesmo *Visual Basic*, é possível desenvolver um programa que controle um aparelho ligado à porta paralela, ou um programa de transferência de arquivos entre dois computadores, usando um cabo paralelo como meio de transmissão.

A porta paralela aparece como um conector de 25 pinos fêmea, DB-25, na parte traseira do gabinete do microcomputador, é uma interface de uso geral, que não requer ajustes, taxas de transferência ou outras especificações, apenas a conexão de um conector de 25 pinos padrão, e é voltada para a transmissão em curtíssimas distâncias.

O conector que compõe a interface paralela possui 17 linhas de sinal e 8 linhas de terra, que podem ser divididos em: linhas de controle (4 vias), linhas de estado (5 vias) e

linhas de dados (8 vias). Os sinais representativos de cada um dos pinos do conector DB-25, são mostrados na figura 1.

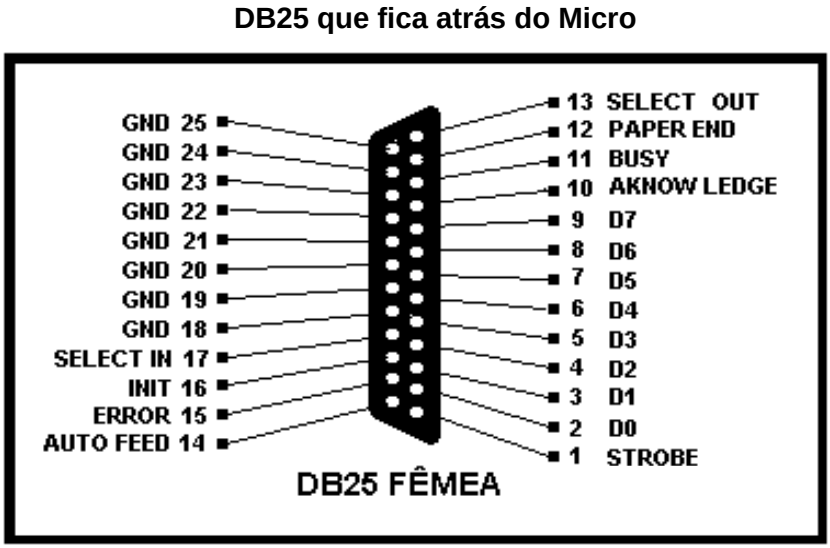


Figura 1 – Conector fêmea padrão DB25, de 25 pinos, com a identificação de cada pino.

No conector DB25, um pino estará em nível lógico baixo, quando a tensão a que estiver submetido se encontrar entre 0 e 0,4 V e estará em nível lógico alto quando estiver sob uma tensão entre 3,1 e 5,0 V.

Como inicialmente a porta paralela foi desenhada para as impressoras, ela era unidirecional. Atualmente porém como muitos periféricos a utilizam para conectar-se ao computador, tornaram-se assim bidirecionais, podendo enviar e receber dados em pacotes de 8 bits.

A comunicação por meio da porta paralela pode se feita de três formas, *standard*, normal e compatível. O modo *standard* (SPP- *Standard Parallel Port*) é unidirecional, ou seja apenas envia dados do micro para o periférico, podendo ser utilizado no modo real (DOS) ou protegido (*Windows*). É normalmente utilizado na comunicação com impressoras matriciais e chega a 0,15 MB/s.

A segunda forma é a EPP (*Enhanced Parallel Port*), é bidirecional e busca aproveitar a máxima taxa de transferência, chegando a 2 MB/s. Normalmente utilizada nas comunicações com periféricos mais rápidos.

A última forma é a ECP (*Extended Capabilities Port*), possui as mesmas características da forma EPP, é bidirecional, porém utiliza um acesso direto à memória na transmissão de dados, sem a necessidade de uso do processador. A comunicação pode ser feita nos dois sentidos e acontecer no mesmo momento (*full-duplex*).

Esta forma de comunicação é geralmente utilizada por periféricos rápidos, com *buffers* grandes, com memória para recepção e envio de dados, como impressoras laser.

Para realizar o acionamento da porta paralela, o PC utiliza 3 endereços consecutivos de porta, sendo o primeiro destes endereços conhecido como endereço-base, podendo ser o 0378h, 0278h ou 03BCh. Normalmente o primeiro é relacionado com LPT1 e o segundo com LPT2, mas é comum encontrar computadores que possuem o terceiro endereço associado com LPT1.

Para o endereço base 0378h, os três endereços consecutivos serão nomeados, conforme apresentado na figura 2:

Endereço	Porta	Especificação
0378h	Data	8 bits (saída)
0379h	Status	5 bits (entrada)
037Ah	Control	4 bits (saída)

Figura 2 – Endereços da porta paralela

Na tabela da figura 2, *DATA* refere-se a bits de dados, *STATUS* a bits com as condições do periférico e *CONTROL* para bits de controle.

Na figura 3, é apresentado o mapeamento dos bits destas três portas, nos bits do conector DB25 da face traseira do microcomputador.

Data Port				Status Port				Control Port		
D7	→	Data 7		D7	←	Busy		D7	—	Reserved
D6	→	Data 6		D6	←	ACK		D6	—	Reserved
D5	→	Data 5		D5	←	PE		D5	→	Direction
D4	→	Data 4		D4	←	Select		D4	→	IRQ Enable
D3	→	Data 3		D3	←	Error		D3	→	Select_in
D2	→	Data 2		D2	←	IRQ		D2	→	INIT
D1	→	Data 1		D1	—	Reserved		D1	→	Autofeed
D0	→	Data 0		D0	—	Reserved		D0	→	Strobe

Figura 3 - Mapeamento dos bits das portas paralelas nos bits do conector DB25.

De acordo com o esquema da figura 3, cada um dos 8 bits de cada porta (*DATA*, *STATUS* e *CONTROL*), correspondem a determinados sinais. Em princípio se escrevemos 1 em um dos bits de uma porta, obteremos sinal elétrico Vcc no pino correspondente no conector DB-25. Entretanto, alguns desses sinais (*Busy*, *Strobe*, *Autofeed* e *Select_in*), possuem lógica invertida, ou seja, um 0 na porta equivale a um nível elétrico Vcc no conector DB-25 e vice-versa.

Alguns sinais (*Strobe*, *Autofeed*, *Select_in*, *Error* e ACK), que controlam impressoras, são ativos em nível baixo, não significando que possuem lógica invertida.

Para gerar os sinais, deve-se escrever o respectivo valor na porta, utilizando-se o comando *outportb*, que está presente na biblioteca <dos.h>, e os sinais aparecerão eletricamente nos pinos do conector DB-25, respeitado o sentido dos sinais, ou seja, não se conseguirá gerar sinais em pinos que contenham sinais de entrada.

Para ler os dados de uma porta, usa-se o comando *inportb* da mesma biblioteca.

APÊNDICE E

INTERFACEAMENTO, DLL E TEMPORIZAÇÃO.

Foi utilizado o pacote *Rapid Application Developmen*t (RAD), de desenvolvimento da *Borland/Inprise* para *Windows*, o *C++ Builder,*que permite que o desenvolvimento de programas para o ambiente *Microsoft Windows* sem que seja necessário reescrever a cada programa o código de interface com o sistema, inserindo-o em um conjunto de ferramentas de programação (*toolkit*), chamado *Visual Component Library* (VCL).

O processo de interface com a porta paralela foi efetuado de acordo com a tabela da figura 1, onde está descrita a utilização da pinagem e o endereçamento.

	Função	**Pino**		**Paralela**	**Endereço**	**Função**
ADC	CS-	20	←	2	378.0h	Chip Select
	R/C-	10	←	3	378.1h	Ready/Convert
	A0	23	←	5	378.3h	Address multiplexer inputs
	A1	22	←	6	378.4h	
	BUSY-	21	→	15	379.3h	Busy Output
	DATA	17	→	13	379.4h	Serial Data Output
	CLK	16	←	4	378.2h	Serial Clock

Figura 1 – Tabela com descrição do interfaceamento com a porta paralela

No sistema do Windows XP, inexiste o acesso direto às portas de entrada e saída, sendo necessário uma função chamada *DeviceloControl()*, onde especifica-se o tipo de operação a ser realizada (acesso à porta paralela), utiliza-se *buffers* para os dados, e função procede o acesso ao sistema possibilitando ler ou escrever na portas de entrada e saída.

Para a facilitar utilização da função *DeviceloControl(),* optou-se pela DLL chamada *inpout*32.dll, que fornece as funções Inp32() e Out32(), que já a incorporam.

A partir da utilização das funções Inp32() e Out32(), criou-se uma outra DLL, a Iptadc.dll, que fornece a função *GetSample()*, que retorna o valor lido em um dos canais do ADC, na escala de 16 bits. O programa dessa forma pode efetuar a conversão de escala adequada a cada canal para unidades de engenharia e processar os dados de acordo com a aplicação em questão.

A DLL Iptadc.dll prevê a interface com o *hardware* , o que possibilita o desenvolvimento e utilização de um programa que permita adquirir dados de um ou mais canais, salvar os dados, e construir os gráficos dos mesmos.

Os sistemas operacionais *Microsoft Windows* XP e *Windows* 98, que foram utilizados, não são sistemas de tempo real, assim sendo, não é possível assegurar que uma determinada rotina será chamada em um instante predeterminado. Entretanto apesar desta limitação, existem formas de se executar códigos com razoável controle do tempo, seja utilizando temporizadores comuns, os *Timers* ou temporizadores multimídia, os *Multimedia Timers*.

O Windows é um sistema operacional cujo funcionamento baseia-se na troca de mensagens, e qualquer evento desencadeia uma lista de mensagens enviadas pelo sistema que devem ser atendidas.

Quando se utiliza os *timers* comuns, o sistema insere nesta lista uma mensagem WM_TIMER, que será atendida pelo sistema quando estiver ativa. Este tipo de temporizador não é adequado para tarefas que exigem alta resolução temporal, pois não haverá interrupção do processamento para a execução da rotina do timer.

Diferente dos *timers* comuns, os temporizadores multimídia, associam uma rotina que chamada no momento programado, interrompendo as outras tarefas, e determinando seu momento de resolução.

Este procedimento presente nos temporizadores multimídia, possibilita obter tempos de 25 ms, plotando gráficos e 5ms, apenas salvando dados, e a verificação da execução da rotina, pode ser realizada através de um contador de *hardware* do sistema, como o *Performance Counter*, que na plataforma de desenvolvimento possui uma freqüência de 3.59 MHz.

Apêndice F

Depósito do Pedido de Patente do Detector de Vazamento de Gás Hélio por via Indireta.

PI0404515

Protocolo

Número (21)

(Uso exclusivo do INPI)

DEPÓSITO
Pedido de Patente ou de Certificado de Adição

depósito / /

Espaço reservado para etiqueta (número e data de depósito)

Ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial:

O requerente solicita a concessão de uma patente na natureza e nas condições abaixo indicadas:

1. Depositante (71):

1.1 Nome: **CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO - CNPq**

1.2 Qualificação: **Fundação Pública** 1.3 CNPJ/CPF: **33654831000136**

1.4 Endereço completo: **Av. W3 Norte, Quadra 507/B - SEPN - Brasília, Distrito Federal**

1.5 Telefone: **61-3489307/9500**
FAX: **61-3489499**

☐ continua em folha anexa

2. Natureza:

☒ 2.1 Invenção ☐ 2.1.1. Certificado de Adição ☐ 2.2 Modelo de Utilidade

Escreva, obrigatoriamente e por extenso, a Natureza desejada: **INVENÇÃO**

3. Título da Invenção, do Modelo de Utilidade ou do Certificado de Adição (54):

DETECTOR DE VAZAMENTO DE GÁS HÉLIO POR VIA

☒ continua em folha anexa

4. Pedido de Divisão do pedido nº , de

5. Prioridade Interna - O depositante reivindica a seguinte prioridade:

Nº de depósito Data de Depósito (66)

6. Prioridade - o depositante reivindica a(s) seguinte(s) prioridade(s):

País ou organização de origem	Número do depósito	Data do depósito

☐ continua em folha anexa

Formulário 1.01 - Depósito de Pedido de Patente ou de Certificado de Adição (folha 1/2)

PI0401315

7. **Inventor (72):**

☐ Assinale aqui se o(s) mesmo(s) requer(em) a não divulgação de seu(s) nome(s) (art. 6º § 4º da LPI e item 1.1 do Ato Normativo nº 127/97)

7.1 Nome: **Geraldo Roberto Carvalho Cernicchiaro**

7.2 Qualificação: **Func. Público**

7.3 Endereço: **Praia de Botafogo 48, apto 26, Botafogo, Rio de Janeiro**

7.4 CEP: 7.5 Telefone

☒ continua em folha anexa

8. **Declaração na forma do item 3.2 do Ato Normativo nº 127/97:**

☐ em anexo

9. **Declaração de divulgação anterior não prejudicial** (Período de graça): (art. 12 da LPI e item 2 do Ato Normativo nº 127/97):

☐ em anexo

10. **Procurador (74):**

10.1 Nome **EURY PEREIRA LUNA FILHO E OUTROS**

CPF/CNPJ: **53888253715**

10.2 Endereço: **Av. W3 Norte Quadra 507/B, 4º andar**

10.3 CEP: **7074090** 10.4 Telefone **61 3489307/9500**

11. **Documentos anexados** (assinale e indique também o número de folhas): (Deverá ser indicado o nº total de somente uma das vias de cada documento)

☒	11.1 Guia de recolhimento	01 fls.	☒	11.5 Relatório descritivo	06 fls.
☒	11.2 Procuração	01 fls.	☒	11.6 Reivindicações	03 fls.
☐	11.3 Documentos de prioridade	fls.	☒	11.7 Desenhos	03 fls.
☐	11.4 Doc. de contrato de Trabalho	fls.	☒	11.8 Resumo	01 fls.
☒	11.9 Outros (especificar): **Declaração do Inventor**				01 fls.
	11.10 Total de folhas anexadas:				16 fls;

12. **Declaro, sob penas da Lei, que todas as informações acima prestadas são completas e verdadeiras**

Brasília, DF 16/08/2004
Local e Data

Assinatura e Carimbo

Formulário 1.01 - Depósito de Pedido de Patente ou de Certificado de Adição (folha 2/2)

PI0403813

FOLHA ANEXA

3. Título da Invenção:

"DETECTOR DE VAZAMENTO DE GÁS HÉLIO POR VIA INDIRETA"

7. Inventores:

Alexandre Mello de Paula Silva, Funcionário Público Federal, Rua Sorocaba 277, apt 601, Botafogo, Rio de Janeiro, RJ.

Francisco de Assis Pereira França, Bolsista PCI, Rua Carmela Dutra, 10, Bairro da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ.

DETECTOR DE VAZAMENTO DE GÁS HÉLIO POR VIA INDIRETA

Introdução

A invenção refere-se a equipamento de detecção de vazamento de gás hélio por via indireta, dotado de construção original, confiável, de alta sensibilidade e custo significativamente menor que os dispositivos de função análoga existentes no mercado.

Considerando o fato, em nosso país, do hélio ser um gás importado, ser de difícil obtenção e, comercialmente, ter custo elevado, atualmente em torno de US$ 20.00 (vinte dólares norte-americanos) por litro, se justifica o controle das perdas e o monitoramento durante todas as etapas de sua utilização, como medida de racionalidade e indutora de economia e maior eficiência dos processos em que o gás tenha uso como insumo, inclusive para fins industriais.

Estado da técnica

Em diversas técnicas experimentais de medidas de parâmetros físicos, tais como as espectroscopias de absorção ressonante, o hélio líquido é utilizado como refrigerante criogênico, em contêineres, denominados criostatos. Técnicas criogênicas tem se difundido cada vez mais na indústria e na área médica, como por exemplo em equipamentos de ressonância nuclear magnética, tomografia, etc. Estes equipamentos se caracterizam por utilizar hélio liquido para obtenção de baixas temperaturas, a partir de -270° Celcius. Após utilização, o hélio volta a sua forma de gás, e pode ser recuperado por uma tubulação chamada "linha de hélio" ou "linha de recuperação", sendo conduzido através dela para um processo de armazenamento e posterior liquetação.

No processo de liquefação, a máquina liquefatora elimina as impurezas contidas no gás recuperado, que geralmente são componentes do ar atmosférico, purgando-os com quantidades do próprio gás hélio.

A purga de gás das contaminações devido a vazamentos na linha de recuperação, a manipulação e o bombeamento dos criostatos são fatores de grande perda, e normalmente só podem ser identificadas a longo prazo.

Erros de operação tais como esquecimento de uma válvula aberta acarretam grandes vazamentos em curto espaço de tempo, com elevação dos custos diretos e a interrupção de processos.

Os detectores de vazamento de gás hélio hoje disponíveis no mercado, operam na detecção direta do gás, utilizando espectrômetros de massa associados a bombas turbomoleculares e câmaras de vácuo, e são apresentados em modelos de inserção ao sistema ou equipamento a ser testado, por meio de conexões especiais de vácuo, tipo KF, ou para operação com sniffing.

Nosso sistema não utiliza um espectômetro de massa para detectar o hélio diretamente, mas um sensor mais simples e barato que detecta o nivel de contaminação pelo ar através do vazamento.

Apesar de sua comprovada eficiência e larga utilização, esses equipamentos apresentam alguns inconvenientes, como por exemplo, o custo elevado de aquisição, superior a US$ 17.000,00, e de manutenção. Isto restringe o seu uso no controle de linhas de recuperação. Seu peso elevado, em média superior a 15 Kg e forma construtiva dificultam seu transporte e utilização pelas equipes de manutenção em locais de acesso restrito e de grande densidade de equipamentos (Patente italiana No. 1179600), exceção a alguns modelos da MKS Technology for Productivity, que pesam 7Kg.

Outro problema associado aos dispositivos de detecção direta de hélio é o fato de que o vazamento é investigado normalmente após a ocorrência de alguma anomalia no comportamento dos equipamentos ou sistema, portanto, esses dispositivos não são utilizados no monitoramento de linhas de recuperação de gás hélio ou criostatos, sendo sua exclusiva função identificar o ponto ou região onde provavelmente há vazamento de gás hélio (Patentes US 3,070,992, de 1/1/1963, e US 3,227,872, de 4/1/1966, Nemeth) .

Alguns detectores estão limitados a valores de pressão de teste muito baixos, devido à câmara de vácuo que possuem, ou têm operação satisfatória apenas para sistemas de pequeno porte pois avaliam o incremento de pressão introduzido pela captação de hélio (U.S. Patente US No. 4,492,110).

O uso ininterrupto e prolongado desses equipamentos, pode provocar um sobreaquecimento, particularmente, na área de junção entre a membrana capilar e o flange de sucção da bomba de íon, resultando na deterioração da qualidade do vácuo (patente Italian Patents No. 1179600 / EP-A-0352371).

Solução técnica inventada

Tendo em vista equacionar tais inconvenientes, e por não encontrarmos um sistema comercial que nos permitisse monitorar em tempo real as fugas de gás hélio da linha, foi desenvolvido o dispositivo para o monitoramento de tubulações ou equipamentos, objeto da invenção aqui descrita.

O sistema desenvolvido não utiliza um espectrômetro de massa, bomba turbomolecular e os sistemas normalmente associados aos equipamentos convencionais descritos.

O detector de vazamento de hélio por via indireta se fundamenta nos conceitos de efusão e difusão de gases, e se baseia em uma sonda sensora de oxigênio, dispositivo sensor largamente utilizado na verificação da qualidade de gases de escapamento de veículos automotores ou na qualidade do ar de incubadoras, que deverá ser inserida na tubulação ou equipamento criogênico, que se deseja monitorar.

A sonda de oxigênio gera um sinal de tensão proporcional à concentração de oxigênio presente no gás hélio, traduzindo dessa forma a contaminação do gás pelo ar atmosférico. O sinal enviado pela sonda é digitalizado pelo circuito eletrônico do detector, e sua comparação com valores previamente ajustados permite sensibilizar ou não um alarme sonoro incorporado ao mesmo. A integração do sinal permite programar a identificação de vazamentos contínuos, associados a pequenas vazões. A derivada do sinal identifica vazamentos instantâneos de grande monta.

Este detector soluciona os inconvenientes anteriormente apresentados, uma vez que a monitoração da linha de recuperação ou do equipamento criogênico, se dá contínua e automaticamente, indicando a contaminação do gás ou seja, a ocorrência de vazamento no início do processo, antes que a vazamento evolua comprometendo o sistema e/ou equipamentos utilizados.

Além disto, o dispositivo de detecção indireta é realmente portátil, possuindo dimensões, peso e custos reduzidos em relação aos equipamentos convencionais.

Os desenhos anexos mostram o detector de gás hélio por via indireta, objeto da presente patente.

A fig.1 mostra painel dianteiro do detector com a sonda sensora de oxigênio. A fig.2 mostra a vista traseira do detector. A fig.3 mostra o detector montado e

conectado à linha de gás hélio a ser monitorada, associado a um microcomputador .

De acordo com as figuras referidas acima, exemplificativas de uma conformação possível para o sistema de detecção de vazamento de gás hélio, objeto da presente patente, este consiste de uma sonda sensora de oxigênio (1) que opera com óxido de zircônio estabilizado com óxido do cálcio, com sensibilidade de 0,1% a 25% de O_2 , e tempo de resposta de 2 a 10 segundos; a qual deve estar conectada à tubulação de gás hélio (2) ou ao equipamento criogênico que se deseja monitorar.

Os componentes de ZrO_2 / CaO , com óxido de cálcio variando de 15% a 28% mol, possuem uma fase chamada de zircônia estabilizada (CSZ ou cubic zirconia) que apresenta em sua estrutura uma vacância de ânions O^{2-}.

A grande quantidade de cálcio presente na estrutura faz com que estes materiais sejam bons condutores de ânions O^{2-}, condução que é otimizada quando eles são aquecidos.

Se uma diferença de potencial é aplicada nas faces de uma célula eletrolítica de zircônia, quando ela está aquecida, o oxigênio é reduzido para O^{2-} no lado do catodo e atravessa a zircônia, onde é reoxidado para gás oxigênio no lado do anodo. Esta passagem através do zircônio gera uma corrente elétrica provocada pelos íons portadores de carga. Pelo princípio da efusão e difusão de gases, a sonda percebe moléculas de oxigênio presentes no gás hélio, oriundas de um processo de contaminação do mesmo, quando da penetração de ar atmosférico na linha ou equipamento, devido a algum vazamento ou falha de operação do sistema .A sonda gera um sinal analógico de tensão para o sistema de detecção através de um cabo de sinal (4), tensão esta de valor proporcional ao nível de concentração de oxigênio presente no gás hélio monitorado. Pelo mesmo cabo, em um par distinto de condutores, uma fonte de tensão constante de ganho regulável que opera na faixa de 1 a 4 volts com 2 W de potência máxima, interna ao detector (5), mantém uma diferença de potencial ajustável, nas faces da célula eletrolítica de zircônia, garantindo também seu aquecimento e funcionamento eficaz.

O sinal de tensão analógico proveniente da sonda sensora de oxigênio é amplificado, digitalizado e processado pelo circuito eletrônico do detector,

identificando os níveis de concentração de oxigênio presente no gás hélio monitorado e sensibilizando o alarme (6).

Na presente disposição, na parte frontal do detector (fig.1), encontra-se o potenciômetro (7) de ajuste da tensão de polarização de disparo do alarme; a chave (9) de reset do alarme sonoro; a conexão (10) BNC para envio do valor de tensão digital proporcional à concentração de oxigênio no hélio monitorado, para outros equipamentos de supervisão e controle como por exemplo multímetros; os led's indicadores de equipamento energizado (11), nível de concentração de oxigênio normal (12), nível de alerta (13) e de concentração excessiva de impureza (14).

Na parte traseira do dispositivo detector (fig.2), está a chave (15) de comando liga-desliga do equipamento; o ponto de conexão (16) do cabo de alimentação de energia e o porta-fusíveis (17) de proteção.

Com esse arranjo o detector percebe um vazamento de gás hélio para atmosfera, através da contaminação deste pelas moléculas de oxigênio que penetram na tubulação ou equipamento durante o processo de efusão do gás hélio pelo ponto de vazamento, convertendo essa concentração de partículas de oxigênio em um valor de tensão proporcional e comparando-os com valores pré-ajustados de forma a poder sensibilizar um alarme sonoro, e indicações visuais.

O detector de vazamento de gás hélio por via indireta, pode operar de forma autônoma, ativando um alarme sonoro e visual toda vez que a concentração de oxigênio presente no gás hélio ultrapassar os valores pré-estabelecidos como toleráveis, ou pode estar associado a um microcomputador, comunicando-se com este por meio de sua porta paralela. Nesta condição, o detector pode utilizar algoritmos inteligentes no monitoramento da linha de hélio, tais como temporização de alarme, avaliação da evolução do nível de concentração de oxigênio, interpretando como falha do sistema não simplesmente a ultrapassagem de um valor, mas a forma como os valores de concentração se sucedem .

O algoritmo permite avaliar como falha, por exemplo, uma forte variação no nível de concentração em um curto intervalo de tempo, mesmo que o valor de concentração máxima ainda não tenha sido atingido; ou um acréscimo residual

constante. Associado a um microcomputador, é possível salvar os arquivos sempre que houver atuação do alarme e/ou emissão de relatórios.

Este sistema permite obter informações sobre o nível de contaminação por ar atmosférico, e consequentemente, o nível de perda do gás nobre utilizando de maneira original para este tipo de aplicação elementos e componentes facilmente encontrados no mercado.

REIVINDICAÇÕES

1) **DETETOR DE VAZAMENTO DE GÁS HÉLIO POR VIA INDIRETA**, caracterizado por um dispositivo sensor operando por processos físicos de difusão e efusão gasosa, que gera um sinal de tensão proporcional à concentração de oxigênio presente no gás hélio no sistema a ser monitorado pelo detector de vazamento de gás hélio.

2) **DETETOR DE VAZAMENTO DE GÁS HÉLIO POR VIA INDIRETA**, de acordo com a reivindicação 1, acima, caracterizado por disponibilizar um sinal analógico de tensão enviado pelo dispositivo sensor para ser digitalizado e assim possibilitar o processamento numérico da informação e a comparação do sinal de tensão gerado, com valores previamente estabelecidos, identificando a paridade entre o sinal gerado e o parâmetro estabelecido, de modo a acionar um alarme, fornecer indicações visuais de funcionamento, bem como ser disponibilizado para monitoramento remoto.

3) **DETETOR DE VAZAMENTO DE GÁS HÉLIO POR VIA INDIRETA**, de acordo com as reivindicações 1 e 2, acima, caracterizado pela integração ou aplicação ao detector de um circuito eletrônico combinado ao dispositivo sensor, capaz de processar o sinal enviado pelo dispositivo sensor, comparando-o analogicamente com valores pre-ajustados e digitalizando-o.

4) **DETECTOR DE VAZAMENTO DE GÁS HÉLIO POR VIA INDIRETA**, de acordo com a reivindicação 3, anterior, caracterizado pelas funções do circuito eletrônico acoplado ao dispositivo sensor poderem ser substituídas por ou conjugados a um microprocessador programável para a detecção e avaliação de alterações no comportamento do sistema a ser monitorado, ou a outros sistemas e equipamentos de controle e supervisão, possibilitando acompanhamento contínuo, em tempo real e automático da linha de gás hélio e de outros sistema de intervenção no sistema a ser monitorado pelo detector.

5) **DETETOR DE VAZAMENTO DE GÁS HÉLIO POR VIA INDIRETA**, de acordo com a reivindicação 3, anterior, caracterizado pelas funções do circuito eletrônico acoplado ao dispositivo sensor permitirem ser substituídas por ou conjugados a um microprocessador programável para a detecção e avaliação de alterações no comportamento do sistema a ser monitorado.

6) **DETETOR DE VAZAMENTO DE GÁS HÉLIO POR VIA INDIRETA**, conforme qualquer das reivindicações acima, caracterizado por monitorar sistemas que utilizem hélio gasoso, acusando vazamentos do gás hélio pela indicação indireta da entrada de oxigênio no sistemas monitorados.

7) **DETETOR DE VAZAMENTO DE GÁS HÉLIO POR VIA INDIRETA**, de acordo com a reivindicação 1, acima, caracterizado por operar a detecção de vazamentos de gás hélio por meio de uma sonda sensora de oxigênio, que opera com óxido de zircônio estabilizado com óxido de cálcio, com sensibilidade de 0,1% a 25% de O_2, e tempo de resposta de 2 a 10 segundos.

8) **DETETOR DE VAZAMENTO DE GÁS HÉLIO POR VIA INDIRETA**, de acordo com as reivindicações 3 e 6, anteriores, caracterizado pela sonda sensora de oxigênio gerar um sinal analógico de tensão transmitido ao sistema de detecção e reconhecimento do sinal transmitido, proporcional ao nível de concentração de oxigênio presente no gás hélio monitorado e ainda este sinal ser amplificado, digitalizado e processado pelo circuito eletrônico.

9) **DETETOR DE VAZAMENTO DE GÁS HÉLIO POR VIA INDIRETA**, de acordo com a reivindicação 7, anterior, caracterizado pelo sinal analógico ser transmitido por um cabo de sinal.

10) **DETETOR DE VAZAMENTO DE GÁS HÉLIO POR VIA INDIRETA**, de acordo com a reivindicação 9, anterior, caracterizado por um fonte de tensão constante de ganho regulável operar na faixa de 1 a 4 volts com 2 W de potência máxima, interna ao detetor e que mantém uma diferença de potencial ajustável, assegurando tanto aquecimento quanto estabilidade operacional.

11) **DETETOR DE VAZAMENTO DE GÁS HÉLIO POR VIA INDIRETA**, de acordo com as reivindicações anteriores e as figuras anexas, caracterizado por um potenciômetro (7) de ajuste da tensão de polarização de disparo do alarme, a chave (9) de reset do alarme sonoro; a conexão (10) BNC para envio do valor de tensão digital proporcional à concentração de oxigênio no hélio monitorado, para sistemas de supervisão e controle; LED's indicadores de equipamentos energizados (11), de nível de concentração de oxigênio normal (12), de nível de alerta (13) e de concentração excessiva de

impureza (14); e na sua parte traseira, a chave de comendo liga-desliga (15); o ponto de conexão (16) do cabo de alimentação de energia e o porta-fusíveis (17) de proteção.

12) DETETOR DE VAZAMENTO DE GÁS HÉLIO POR VIA INDIRETA, de acordo com as reivindicações anteriores é caracterizado pela aplicação desta sonda sensora de oxigênio a uma tubulação ou linha de hélio gasoso e a um sistema ou contêiner criogênico a ser monitorado, para indicar vazamentos do gás hélio, pela indicação indireta da entrada de oxigênio ao sistema, por processos físicos de difusão e efusão.

13) DETETOR DE VAZAMENTO DE GÁS HÉLIO POR VIA INDIRETA, de acordo com as reivindicações anteriores é caracterizado por realizar a monitoração da tubulação ou do equipamento criogênico que utiliza gás hélio, em tempo real, contínua e automaticamente, de forma autônoma ou associado a um microcomputador, comunicando-se com este por meio de uma interface de comunicação padrão.

14) DETETOR DE VAZAMENTO DE GÁS HÉLIO POR VIA INDIRETA, de acordo com as reivindicações anteriores é caracterizado por utilizar um algoritmo (software) que avalia a evolução do nível de concentração de oxigênio, interpretando uma forte variação no nível de concentração em um curto intervalo de tempo como vazamento do hélio, mesmo que o valor calibrado de concentração máxima, para acionar o alarme, não tenha sido atingido.

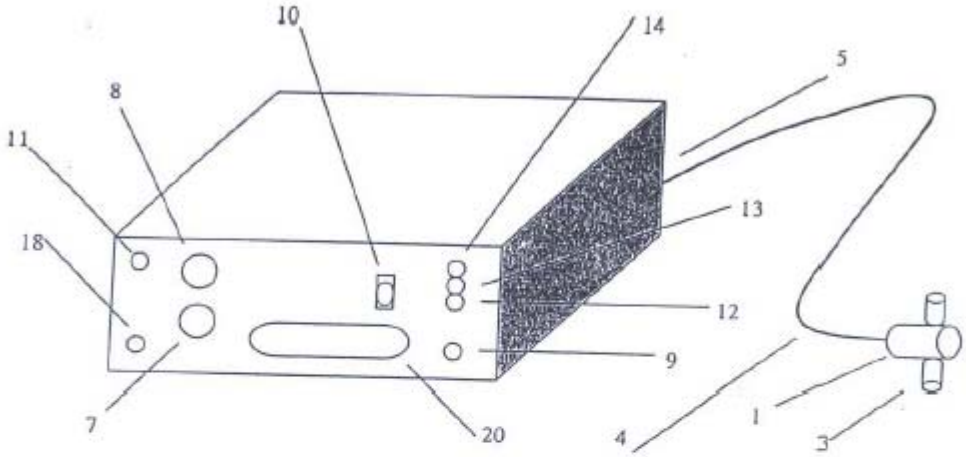


Figura 1

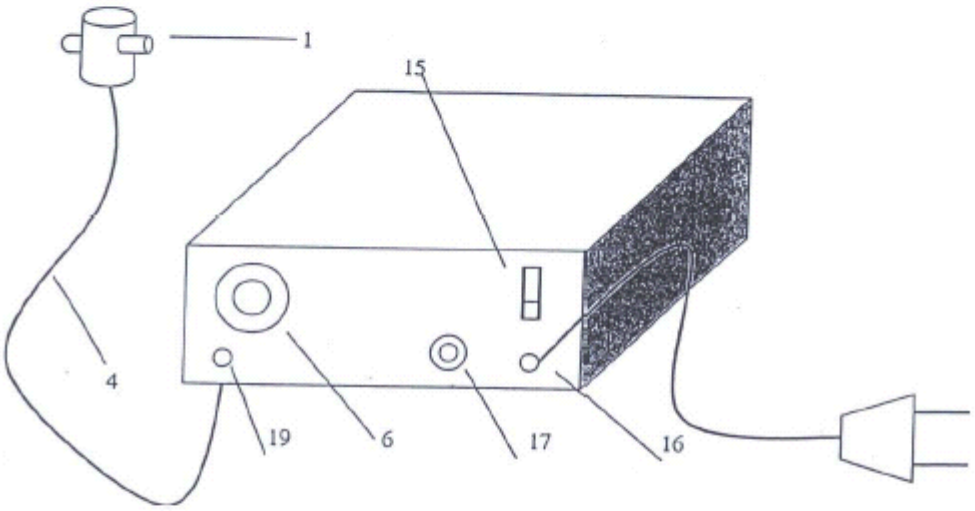


Figura 2

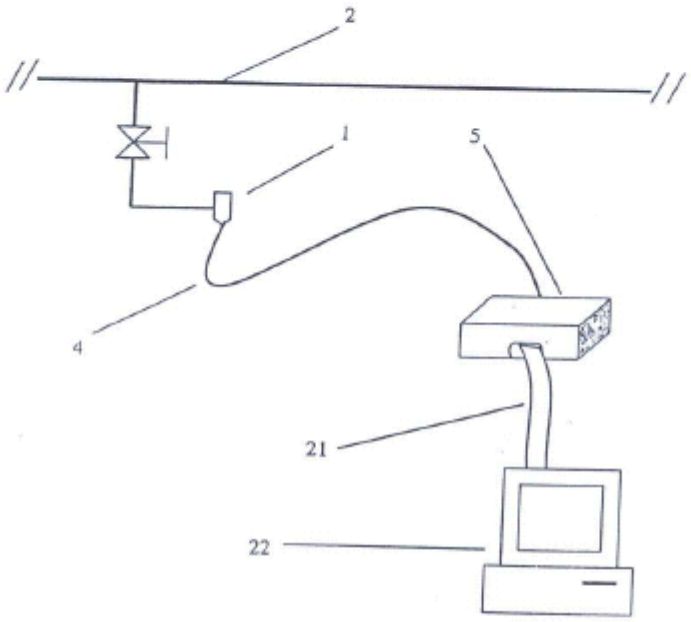


Figura 3

RESUMO

DETECTOR DE VAZAMENTO DE GÁS HÉLIO POR VIA INDIRETA

O dispositivo de detecção é baseado em uma sonda sensora de oxigênio à base de óxido de zircônio estabilizada por óxido de cálcio, conectada através de um cabo de sinal ao circuito eletrônico de detecção, que é composto de circuito de amplificação; filtros; um sistema acessório de digitalização, interface, e fonte de tensão. Uma diferença de potencial de polarização aplicada ao sensor , quando este esta convenientemente aquecido, permite que se obtenha um sinal de tensão proporcional à concentração de oxigênio presente no gás hélio. Este sinal é processado pelo circuito detector, digitalizado e utilizado para acionamento de um alarme. O sinal obtido do sensor pode ser remotamente monitorado por um microcomputador, e a conexão tipo BNC, existente no painel frontal do dispositivo, permite enviar o sinal de tensão proporcional à contaminação do gás hélio para outros equipamentos de controle e supervisão, possibilitando um acompanhamento contínuo e automático da linha de gás hélio e de outros tipos de intervenção ao sistema monitorado.