



Universidade do Porto  
**FEUP** Faculdade de  
Engenharia



**Vulcano**

Vulcano Termodomésticos SA

Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Projecto, Seminário ou Trabalho Final de Curso

## **Desenvolvimento de Bancas de Ensaio**



Ciência.Inovação  
**2010**

Programa Operacional Ciência e Inovação 2010

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR

*Pedro Miguel Pinheiro Semblano*  
*Agosto 2006*



Universidade do Porto  
**FEUP** Faculdade de  
Engenharia



Vulcano Termodomésticos SA

Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Projecto, Seminário ou Trabalho Final de Curso

## **Desenvolvimento de Bancas de Ensaio**



Programa Operacional Ciência e Inovação 2010

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, DA CIÊNCIA E DO DESENVOLVIMENTO

*Pedro Miguel Pinheiro Semblano*  
*Agosto 2006*

## **Desenvolvimento de Bancas de Ensaio**

Projecto desenvolvido por

*Pedro Miguel Pinheiro Semblano*

Orientado por

*Prof. Dr. Miguel Fernando Paiva Velhote Correia*  
(FEUP)

*Engº Pedro Manuel Pereira Ribeiro*  
(Vulcano)

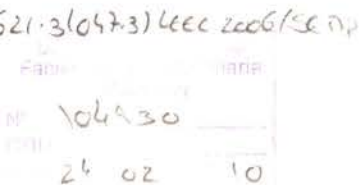
Apoios



Programa Operacional Ciência e Inovação 2010

QUESTÃO DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E DESEMPENHO DE DESEMPENHO

Porto e Cacia, Agosto de 2006



## **Abstract**

This document is the report of a curricular training period at Vulcano Termodomésticos, S.A. entitled “desenvolvimento de bancas de ensaio” (test rig development).

It is pretended with the Project to renew entirely the test system of the development laboratory of Vulcano.

It is described here the whole phase of requirements gathering of a demanding measurement system to apply on varied tests on water heaters, the central business area of Vulcano. Additionally are also documented the measurement methods used as well as the whole system architecture and its configuration from the hardware point of view. That development goes beyond the training period and so it is not finished yet.

It is also presented the software to implement. It is described the user interface, the software characteristics as well as its functionalities. To support the software presentation it is referred its utility to the detail being described the tests that the system allows to accomplish and the way to do it using the dedicated software, as well as the need of its development from the company.

It went also done a study of the developed system's quality so that it could be possible to classify it quantitatively and perhaps compare it with similar system which might in future be suggested by other companies for implementation on Vulcano.

It is hereof a report that does not contain documentation relative to system implementation details, but instead a document that defines all the development process, the system's constitution and functioning way, both at a physical level as of software level.

## Resumo

Este documento é o relatório de um estágio curricular decorrido na Vulcano Termodomésticos, S.A. intitulado “desenvolvimento de bancas de ensaio”.

Pretende-se com o projecto renovar integralmente o sistema de testes do laboratório de desenvolvimento da Vulcano.

Relata-se aqui toda a fase de recolha de requisitos de um sistema de medição exigente a aplicar em testes variados a esquentadores, principal área de negócio da Vulcano. Além disso documentam-se os métodos de medida utilizados assim como toda a arquitectura do sistema e a sua configuração do ponto de vista de hardware. Esse desenvolvimento vai para além do estágio, pelo que não se encontra concluído.

É apresentado também o software a implementar. É descrita a interface com o utilizador, as características do software e suas funcionalidades. Para dar suporte a toda esta apresentação do software é referida a sua utilidade ao pormenor sendo descritos os ensaios que este permite realizar e o modo de os efectuar, assim como a necessidade da sua realização para a empresa.

Foi ainda feito um estudo da qualidade do sistema desenvolvido de maneira a classificá-lo quantitativamente e eventualmente poder compará-lo com dispositivos semelhantes que sejam propostos por empresas para implementação na Vulcano.

É portanto um relatório que não contém documentação relativa aos pormenores de implementação do sistema, mas que define todo o seu processo de desenvolvimento, a sua constituição e funcionamento, quer a nível físico quer de software.

## **Prefácio**

O desenvolvimento de novos produtos envolve sempre várias fases. Desde o amadurecimento da ideia, passando pela especificação de requisitos, desenho do sistema e construção de protótipos, culminando em testes de conformidade com os requisitos definidos ou impostos pela normalização vigente.

Todas estas tarefas são de elevada importância num projecto de desenvolvimento de um novo produto, mas sempre que esse produto se destina à produção em larga escala, a fase de testes de conformidade revela-se de extrema importância já que é a última instância onde podem ser detectados erros de concepção ou de especificação praticamente sem custos. Erros não detectados nesta fase podem aparecer após a venda do produto (tornando-se assim não conformidades externas) ou mesmo durante a produção e portanto com prejuízos mais elevados para a empresa.

De facto, sendo a Vulcano o centro de competências do Grupo Bosch no desenvolvimento de esquentadores, é natural que esteja empenhada em efectuar testes fiáveis e exigentes aos seus protótipos. De facto, por melhor que seja a execução de determinada tarefa, é importante pensar que é sempre possível melhorar algo. É com este ideal que se pretende aumentar cada vez mais a qualidade do produto, e essa melhoria contínua de qualidade passa também por uma boa fase de desenvolvimento. Produtos que sejam mal projectados à nascença nunca poderão vir a ser de qualidade através do processo de produção.

Por tudo isto, torna-se extremamente relevante a fase de ensaios aos protótipos, antes de estes entrarem em produção pelo que esta deve ser uma fase com preocupações especiais para todo e qualquer departamento de desenvolvimento empresarial.

É nesta área que nasce este projecto. Mais do que desenvolver ferramentas de teste de protótipos, é importante estudar (e garantir) o bom comportamento e fiabilidade dessas ferramentas, assim como criar a documentação que permita a boa utilização dos equipamentos.

## **Agradecimentos**

Queria deixar aqui uma palavra de apreço a algumas pessoas ou entidades que contribuíram de algum modo para a realização bem sucedida deste estágio.

Antes de mais, pretendo agradecer à empresa Vulcano Temodomésticos, S.A., nomeadamente ao departamento de desenvolvimento por me ter recebido de uma forma aberta e séria mas mais do que isso, por ter depositado um mim grande confiança. Esta confiança revelou-se de várias formas, desde o acesso a uma área restrita como é o laboratório do departamento de desenvolvimento até à atribuição integral de um projecto importante para o departamento mas também para a empresa.

Não posso obviamente deixar passar a oportunidade de deixar também um agradecimento especial ao meu orientador de projecto na Faculdade, o Prof. Dr. Miguel Correia. Por um lado foi um primeiro elo de ligação importante entre a Faculdade e a Vulcano e que possibilitou este estágio. Por outro lado pela orientação sempre ponderada das decisões tomadas no estágio assim como a disponibilidade que ofereceu sempre em receber-me.

Devo dizer que todos os colaboradores da Vulcano que tive oportunidade de conhecer até agora se mostraram sempre disponíveis para ajudar. Ainda assim, há lugar a agradecimentos especiais a alguns deles.

Inevitavelmente agradeço aqui a colaboração do meu orientador na empresa, Eng<sup>o</sup> Pedro Ribeiro pelo tempo dispensado em assuntos do estágio, relativamente pouco relevantes dadas as suas responsabilidades.

Quero ainda deixar aqui uma palavra especial à Helena Sousa também da Vulcano, pela ajuda essencial sobretudo na integração na empresa e na minha recepção.

Houve também uma cooperação essencial das pessoas que actualmente trabalham no laboratório de desenvolvimento da Vulcano. Foram colegas, mas mais do que isso amigos. Responderam sempre que pedi ajuda e foram também peças fundamentais na minha integração na empresa. Aqui fica o meu agradecimento ao João Capela, Luís Rodrigues, Manfred Werder, Américo Malheiro e António Nabais.

Por fim, fica a mais sentida palavra de apreço à minha família por me ter sempre apoiado mas também por ter suportado fins-de-semana em que estive presente fisicamente mas sem vivência familiar efectiva.

A todos eles o meu MUITO OBRIGADO, e espero que se sintam orgulhosos do trabalho desenvolvido, mas mais que isso, de mim.

## Índice

|        |                                                               |    |
|--------|---------------------------------------------------------------|----|
| 1.     | Introdução .....                                              | 10 |
| 1.1.   | Enquadramento .....                                           | 10 |
| 1.1.1. | O departamento de desenvolvimento (EWH) .....                 | 12 |
| 1.2.   | Motivação .....                                               | 13 |
| 1.3.   | Objectivos .....                                              | 14 |
| 1.4.   | Estrutura do documento .....                                  | 14 |
| 2.     | Requisitos de desenvolvimento .....                           | 16 |
| 2.1.   | Descrição do sistema .....                                    | 16 |
| 2.1.1. | Perspectiva do produto .....                                  | 16 |
| 2.1.2. | Funções do sistema .....                                      | 16 |
| 2.2.   | Requisitos de desempenho .....                                | 18 |
| 2.3.   | Limitações do ambiente de utilização .....                    | 18 |
| 2.4.   | Conformidade com Standards .....                              | 18 |
| 2.5.   | Fiabilidade .....                                             | 19 |
| 2.6.   | Segurança .....                                               | 19 |
| 2.7.   | Manutenção .....                                              | 19 |
| 2.8.   | Comentários adicionais .....                                  | 20 |
| 2.9.   | Grandezas e métodos de medição .....                          | 21 |
| 2.9.1. | Aquisição de dados .....                                      | 21 |
| 2.9.2. | Gamas de medida necessárias e erros máximos admissíveis ..... | 21 |
| 3.     | Constituição das bancas e respectivo hardware .....           | 23 |
| 3.1.   | Escolha de transdutores .....                                 | 23 |
| 3.1.1. | Medição de pressão .....                                      | 23 |
| 3.1.2. | Medição de caudais .....                                      | 24 |
| 3.1.3. | Medição de temperaturas .....                                 | 26 |
| 3.2.   | Estrutura física das bancas .....                             | 26 |
| 3.3.   | Circuitos de água e gás .....                                 | 33 |
| 3.4.   | Sistema de aquisição de dados .....                           | 36 |
| 4.     | Software e respectivas características .....                  | 42 |
| 4.1.   | Apresentação e descrição da interface .....                   | 42 |
| 4.2.   | Estrutura interna .....                                       | 53 |
| 5.     | Análise de propagação de erros .....                          | 57 |
| 5.1.   | O erro absoluto no rendimento .....                           | 58 |
| 5.2.   | A repetibilidade da banca .....                               | 61 |
| 6.     | Conclusões .....                                              | 63 |
| 6.1.   | Situação Actual .....                                         | 63 |
| 6.2.   | Evolução Futura .....                                         | 64 |
| 6.3.   | Considerações finais .....                                    | 65 |
|        | Lista de Referências .....                                    | 67 |
|        | Documentos internos .....                                     | 67 |
|        | Bibliografia .....                                            | 67 |
|        | Normas .....                                                  | 67 |

## Índice de figuras e tabelas

|                                                                                    |        |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Figura 1-1 – Algumas marcas produzidas na Vulcano Termodomésticos S.A. ....        | 11     |
| Figura 1-2 – a estrutura do grupo Bosch.....                                       | 12     |
| Figura 1-3 – distribuição do volume de vendas do grupo Bosch.....                  | 12     |
| Figura 3-1 – Druck PTX1400 .....                                                   | 24     |
| Figura 3-2 – Brooks MF63S e contador húmido de gás da Actaris.....                 | 25     |
| Figura 3-3 – Yokogawa Rotamass.....                                                | 25     |
| Figura 3-4 – aspecto geral de uma das bancas antigas do laboratório .....          | 26     |
| Figura 3-5 – respectivos sistemas de medição (rudimentares) .....                  | 27     |
| Figura 3-6 – rotâmetro .....                                                       | 27     |
| Figura 3-7 – escala de um manómetro de água.....                                   | 28     |
| Figura 3-8 – banca “intermédia”.....                                               | 28     |
| Figura 3-9 – painel de indicadores da banca “intermédia” .....                     | 29     |
| Figura 3-10 – estrutura física das novas bancas.....                               | 30     |
| Figura 3-11 – conversor de potência a aplicar nas novas bancas .....               | 31     |
| Figura 3-12 – circuito de gás das novas bancas .....                               | 33     |
| Figura 3-13 – sistema de aperto fácil do circuito de gás .....                     | 34     |
| Figura 3-14 – circuito de água a implementar nas novas bancas.....                 | 35     |
| Figura 3-15 – diagrama de solução com placas de aquisição de dados .....           | 37     |
| Figura 3-16 – diagrama da arquitectura com sistemas independentes.....             | 37     |
| Figura 3-17 – arquitectura implementada.....                                       | 39     |
| Figura 4-1 – primeira aba do software da banca – estado da banca .....             | 42     |
| Figura 4-2 – painel do ensaio de rendimento – antes de ensaio.....                 | 43     |
| Figura 4-3 – o painel do ensaio de rendimento – durante um ensaio .....            | 45     |
| Figura 4-4 – o painel do ensaio de CO .....                                        | 47     |
| Figura 4-5 – exemplo de curva de CO .....                                          | 48     |
| Figura 4-6 – analisador de gases (CO e CO <sub>2</sub> ) do laboratório .....      | 49     |
| Figura 4-7 – painel do ensaio da curva W-R .....                                   | 50     |
| Figura 4-8 – painel do ensaio de performance.....                                  | 51     |
| Figura 4-9 – painel de calibração dos sensores de saída linear.....                | 52     |
| Figura 4-10 – estrutura interna do software de interface .....                     | 54     |
| Figura 4-11 – estrutura interna do software Real-Time.....                         | 55     |
| <br>Tabela 2-1 – incertezas máximas admissíveis pela norma EN26. ....              | <br>22 |
| Tabela 5-1 – erro absoluto máximo dos transdutores a usar nas bancas .....         | 59     |
| Tabela 5-2 – condições de ensaio onde foi obtido o erro máximo no rendimento. .... | 60     |

## **Lista de abreviaturas e símbolos**

- EWH – Engineering Water Heaters – Designação do departamento de desenvolvimento da Vulcano
- BBT – Bosch Buderus Thermotecnica – designação da divisão Termotécnica do Grupo Bosch
- E/S – entradas / saídas
- P – potência do esquentador – aplicada na água (KW)
- Q – caudal térmico absorvido pelo esquentador (KW)
- Tf – temperatura final da água (°C)
- Ti – temperatura inicial da água (°C)
- Hi – poder calorífico inferior do gás – característica do gás (Kcal/m<sup>3</sup>)
- Hs – poder calorífico superior do gás – característica do gás (Kcal/m<sup>3</sup>)
- Vgm – caudal de gás consumido pelo esquentador (m<sup>3</sup>/h)
- Vg – Caudal de gás corrigido, consumido pelo esquentador (m<sup>3</sup>/h)
- pg – pressão de alimentação do gás ao esquentador (mbar)
- pa – pressão atmosférica no local do ensaio (mbar)
- Tg – temperatura do gás na alimentação do esquentador (mbar)
- η – Rendimento do esquentador (%)
- d – densidade corrigida do gás combustível para o esquentador, relativa ao ar (adimensional)
- d<sub>r</sub> – densidade de referência do gás combustível para o esquentador, relativa à densidade do ar (adimensional)

# 1. Introdução

## 1.1. Enquadramento

A Vulcano iniciou a sua actividade industrial em 1977, em Cacia - Aveiro, onde ainda hoje se situa.

Constituída inicialmente por capital nacional, a empresa baseia desde muito cedo o seu funcionamento num contrato de licenciamento com a *Robert Bosch* para a transferência de tecnologia utilizada pela empresa alemã nos esquentadores *Junkers*, produzidos então na Alemanha.

A empresa atinge um rápido crescimento baseado na qualidade dos aparelhos produzidos e numa clara estratégia de vendas. Esta estratégia comercial culmina com a criação de uma marca própria (Vulcano) em 1983. Estas bases de crescimento e desenvolvimento permitiram à empresa obter uma rápida e sólida liderança no mercado nacional de esquentadores.

Apenas 5 anos mais tarde, a maioria do capital da Vulcano é adquirido pelo Grupo Robert Bosch. A Vulcano passa então a ser designada “Vulcano Termodomésticos, S.A.”<sup>1</sup> e a integrar a divisão Termotécnica do grupo. São transferidas para a Vulcano competências e equipamentos, iniciando-se assim um processo de especialização no fabrico de esquentadores dentro do Grupo Bosch.

A Robert Bosch, por sua vez, nasce em Estugarda, e foi desde sempre uma empresa marcada pela inovação e espírito empreendedor. Começou por ser apenas uma *Oficina de Precisão e Electrónica* e é actualmente um dos maiores grupos industriais da Alemanha.

A Junkers, fundada em 1895, integra o Grupo Bosch em 1932 e marca o início da Divisão Termotécnica da Robert Bosch. Em 2002 esta divisão contava já com 8 fábricas, em 5 países e com cerca de 6500 colaboradores (valores certamente superados actualmente) e é hoje o principal produtor europeu de esquentadores e caldeiras a gás, sendo ainda um dos líderes internacionais do sector.

Os produtos do grupo chegam ao consumidor final sob uma gama variada de modelos repartidos por diferentes marcas de acordo com a política do grupo, do mercado e da estratégia comercial dos seus clientes.

---

<sup>1</sup> Ao longo deste documento, vai ser referenciada indiferenciadamente a empresa Vulcano Termodomésticos, S.A. por este nome ou simplesmente por “Vulcano”



Figura 1-1 – Algumas marcas produzidas na Vulcano Termodomésticos S.A.

Dentro da divisão Termotécnica do Grupo Bosch, a Vulcano Termodomésticos, S.A. é responsável pela concepção e desenvolvimento de novos esquentadores bem como a sua produção e comercialização.

Beneficiando de sinergias no desenvolvimento de esquentadores (aquecimento instantâneo da água), a Vulcano Termodomésticos, S.A. iniciou em 1995 a produção de um novo modelo de caldeiras murais a gás (função de esquentador mais a de aquecimento central) e que actualmente constitui parte importante do negócio.

Actualmente a Vulcano conta com mais de 1000 colaboradores, facturando nos últimos três anos mais de 170 milhões de euros. Tem uma capacidade instalada para mais de 1 milhão de esquentadores e 100 mil caldeiras por ano e está actualmente presente em mercados de mais de 50 países distribuídos por 6 continentes.

Para se compreender a interacção da Vulcano no Grupo Bosch, é apresentado de seguida um diagrama onde se torna visível a organização do grupo industrial, e a localização da sua divisão Termotécnica da qual a Vulcano faz parte.

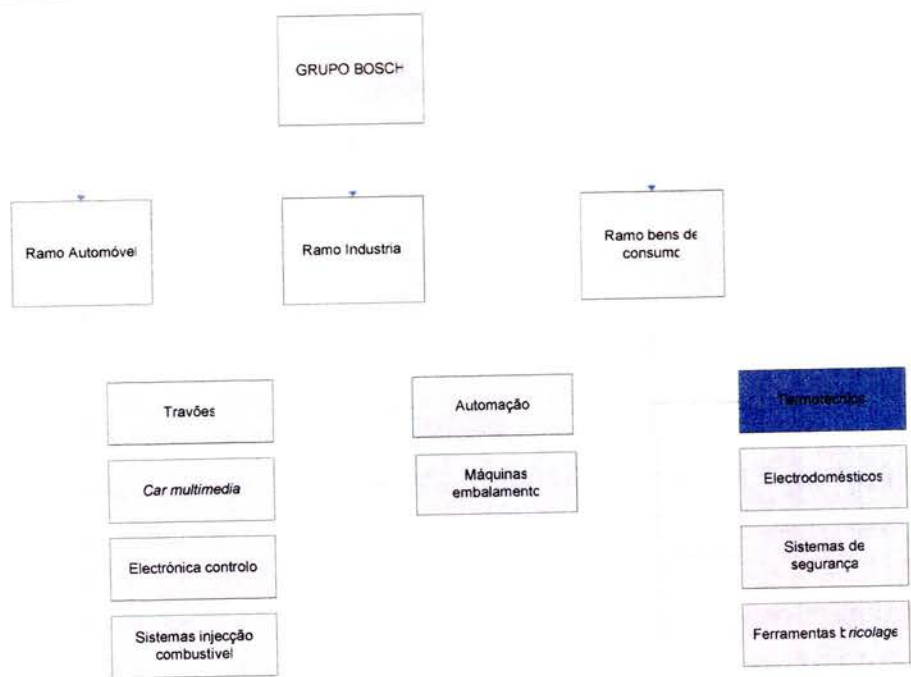


Figura 1-2 – a estrutura do grupo Bosch

Naturalmente, o principal negócio do grupo é na área das tecnologias para o mercado automóvel, sendo a divisão termotécnica responsável “apenas” por 24% do volume de vendas em 2005.

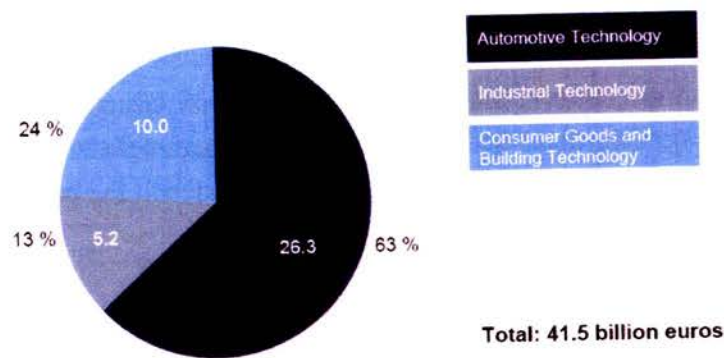


Figura 1-3 – distribuição do volume de vendas do grupo Bosch

### 1.1.1. O departamento de desenvolvimento (EWH)

A criação de uma unidade de investigação e desenvolvimento em 1993, e a consequente transferência de *know-how* do Grupo Bosch (em esquentadores) para Portugal constituiu um momento decisivo para a Vulcano. É este feito que permite à Vulcano ser o centro de competências para esquentadores, a nível mundial, do Grupo Bosch.

Desde esta data que a Vulcano vem introduzindo nos vários mercados onde actua, aparelhos com características e funcionalidades exclusivas e que têm constituído novidades mundiais. De entre estas destacam-se por exemplo a implementação do sistema de ignição assistido por pilhas (1995), o esquentador com ignição automática por hidrogerador (HDG, 2000), e o lançamento do conceito compacto (2001) com reduções de cerca de 27% nas dimensões dos esquentadores tradicionais. Mais recentemente, em 2003, esta liderança revela-se no desenvolvimento do “Celsius” (com controlo remoto) e o “World One” com capacidade de 24L/min. Esta capacidade é definida como o caudal de água que um aparelho é capaz de fornecer com um aumento de temperatura de 25°C em relação à temperatura de entrada.

O objectivo principal da Vulcano Temodomésticos S.A. e, em particular do departamento de desenvolvimento (EWH – Engineering Water Heaters) é fornecer ao mercado produtos de elevada performance, qualidade, fiabilidade e a um preço competitivo. Para cumprir estes objectivos, o departamento tem como principais responsabilidades:

- Definir o *design* e desenvolver completamente esquentadores e caldeiras;
- **Definir, planear e realizar ensaios de laboratório, durabilidade e ensaios de campo;**
- Preparar a documentação de acordo com a certificação, incluindo testes e normas de ensaio;
- Organizar amostras de acordo com as fases de desenvolvimento, designadas A, B e C.
- Desenvolver projectos de racionalização, alterações/melhorias nos produtos existentes.

O desenvolvimento é sem dúvida um factor importante para a Vulcano. Actualmente investe mais de 2% do volume de vendas em I&D. Embora este departamento tenha sido criado com apenas 3 colaboradores, tem actualmente 45 e com tendência de crescimento.

## 1.2. **Motivação**

O departamento de desenvolvimento da Vulcano, como é dito no enquadramento, nasce em 1993. Começa por ser muito pequeno, mas expande-se naturalmente. Essa expansão inclui actualmente a existência de um laboratório de testes (quer para protótipos quer para verificação de conformidade com referenciais normativos). Esse laboratório necessita obviamente de bancas de teste. A dificuldade é que as bancas que o laboratório até há pouco tempo possuía derivam no seu desenvolvimento, de conhecimentos adquiridos na implementação de bancadas de trabalho na produção. Com o contínuo aumento da competitividade das empresas a nível de produção, aumentam também as exigências ao nível do desenvolvimento, pelo que a Vulcano decide desenvolver de raiz novas bancas de ensaio para o desenvolvimento (nomeadamente para este laboratório). Pretendem-se bancas com características únicas em termos de qualidade de medida e facilidade de utilização e que venham substituir as

antigas, desenvolvidas eventualmente com menos rigor, não só pela sua origem, mas também e sobretudo pela tecnologia existente à altura, certamente mais limitada do que a actual.

### 1.3. **Objectivos**

O objectivo principal deste projecto e do estágio curricular associado é o desenvolvimento de um sistema integrado de aquisição e análise de dados para testes de funcionamento e características de esquentadores.

Este desenvolvimento engloba a especificação de novas bancas de ensaio, passando pela escolha de transdutores a aplicar, definição de estrutura física da banca, assim como a definição da arquitectura do sistema de aquisição de dados e o desenvolvimento do software responsável pela interface com o operador e pela análise/armazenamento de dados.

O sistema conjunto deverá permitir, entre outros:

- O cálculo da potência e do rendimento do aparelho;
- O armazenamento de dados de ensaio sob forma de relatórios;
- A colocação em funcionamento do esquentador em condições variadas de ensaio como o caudal e pressão de água e gás, e alimentação eléctrica variadas.

Embora não seja um objectivo claro, é importante, dada a sua aplicação, que seja feito um estudo dos erros de medida da banca, e principalmente a sua influência no cálculo do rendimento, o ensaio mais exigente em termos de medida.

É ainda objectivo do projecto a realização de documentação associada, que permita a fácil replicação da banca, assim como a realização de documentação associada à sua utilização (manuais de utilizador). A realização destes documentos esta ainda numa fase inicial.

### 1.4. **Estrutura do documento**

O presente documento contém seis capítulos.

Naturalmente começou-se por fazer uma introdução ao documento, mas sobretudo ao projecto. Pretende situar o leitor na área de desenvolvimento associada assim como apresentar os objectivos e motivação deste trabalho. Foi feita ainda uma apresentação sucinta da empresa em que o projecto foi desenvolvido. Após a leitura deste 1º capítulo, o leitor estará contextualizado para a leitura do restante do documento.

No capítulo 2 são apresentados o principais requisitos impostos ao projecto, assunto este fundamental em qualquer projecto de desenvolvimento. São apresentados nesse capítulo os requisitos de hardware fundamentalmente, mas também alguns de software. Estes requisitos de software foram na sua maioria indicados pela empresa, enquanto que os requisitos de hardware foram todos analisados e estudados pelo autor, de tal maneira que o resultado final do projecto seja capaz de fazer ensaios em conformidade com os referenciais normativos aplicáveis como a norma EN26 [7]. Este

capítulo apresenta ainda as grandezas físicas associadas à banca de ensaio a desenvolver.

No capítulo 3 descreve-se a constituição das bancas em termos de equipamento. São indicados os transdutores escolhidos conjuntamente com algumas das suas principais características. É ainda discutida a estrutura física da banca assim como dos circuitos de água e de gás. Finalmente é aí analisado o sistema de aquisição de dados e a arquitectura escolhida para a sua implementação.

No capítulo 4 apresenta-se o software que serve de interface ao utilizador mas também de ferramenta de cálculo de variáveis secundárias derivadas das medidas, como o caso do rendimento. É apenas aqui apresentada a sua estrutura e a interface gráfica, assim como os procedimentos de alguns ensaios, em termos da interacção entre o operador da banca e o software. É ainda introduzida a estrutura do software a executar no hardware de controlo e instrumentação da banca.

O capítulo 5 apresenta um estudo de erros realizado afim de se calcular o erro máximo no rendimento e assegurar a conformidade dos resultados da banca de ensaio com a norma já referida. Além disso analisou-se a repetibilidade dos resultados da banca que constitui um factor de qualidade que a caracteriza quantitativamente, em conjunto com a incerteza. Ambos estes factores foram calculados para o rendimento e não para cada medição efectuada pela banca em si.

O capítulo 6 faz um ponto de situação do projecto e apresenta os próximos passos no desenvolvimento destas bancas. Ainda se fazem aí os comentários finais e pessoais ao estágio efectuado.

São finalmente apresentadas as referências deste documento.

## **2. Requisitos de desenvolvimento**

Descrevem-se neste capítulo e muito sucintamente os requisitos identificados para o desenvolvimento destas novas bancas de ensaio. Pretende-se assim compreender o que a empresa pretende deste projecto, e enquadrar o leitor deste documento no projecto.

O que é dito portanto neste capítulo foi recolhido antes de começar o desenvolvimento em si, e portanto pode não consistir exactamente com o que foi ou será implementado.

### **2.1. Descrição do sistema**

#### **2.1.1. Perspectiva do produto**

O sistema a ser desenvolvido será completamente independente de outros, de tal maneira que os recursos de medição, aquisição e análise de dados serão dedicados exclusivamente ao sistema em causa.

O dispositivo de recolha, tratamento de dados e geração de relatórios de ensaio será um *Panel PC*. Um computador com performance idêntica à de um computador de secretária, mas que por ser de painel permite poupar bastante espaço na banca de testes. Tem ainda um ecrã táctil. Será este equipamento que executará o software associado às bancas.

Poderá existir alguma interligação em rede deste PC, que servirá para a impressão dos relatórios gerados, em impressoras partilhadas na rede interna da empresa. Essa ligação à rede interna também será responsável pela autenticação do utilizador, utilizando os mesmos recursos. Mesmo assim, poderá ser exigida uma segunda autenticação pelo próprio software da banca de ensaio. Este segundo requisito é opcional e poderá eventualmente substituir o primeiro.

Pretende-se ainda que seja possível controlar todas as válvulas assim como adquirir e visualizar as principais grandezas analógicas, sem que o PC esteja em funcionamento. São estas grandezas:

- Pressão do gás à entrada da banca, no sistema de fornecimento do aparelho;
- Pressão do gás à entrada do queimador;
- Temperatura da água de entrada no aparelho;
- Temperatura da água de saída do aparelho;
- Caudal de água;
- Pressão da água.

Para tal, estas grandezas serão indicadas (além de no software de interface), em mostradores de painel, que funcionarão independentemente do computador.

#### **2.1.2. Funções do sistema**

A interface com o utilizador será desenvolvida em LabVIEW<sup>®</sup>.

O software a desenvolver que fará a interface com o utilizador, será também o responsável pela aquisição das variáveis relevantes, assim como pelo armazenamento de dados.

Este software será desenvolvido com base em vários painéis de interface:

- Haverá um painel inicial de leitura rápida com indicadores numéricos das principais variáveis a serem medidas. Esse painel poderá também ter (com menos relevância) indicadores das restantes variáveis para efeitos de verificação da boa calibração dos instrumentos. Esta segunda funcionalidade também poderá ficar separada, dada o elevado número de variáveis a avaliar, o que tornaria este painel de interpretação e leitura menos rápida do que o pretendido.
- Existirão painéis onde se verificarão apenas indicações de variáveis relevantes ao ensaio propriamente dito, eventualmente um painel para cada tipo de ensaio (ensaio de potência e de rendimento e outros que eventualmente se achem convenientes aquando do desenvolvimento do software);
- Embora seja exigível a criação de relatórios de ensaio, poderá não haver necessidade de existir um painel separado para o efeito. Os dados para criação do ficheiro associado poderão eventualmente ser introduzidos com base em janelas de troca de informação com o utilizador.

O software a implementar nestas novas bancas de ensaio deverá ser globalmente capaz de efectuar todas as tarefas indicadas de seguida:

- Correcta aquisição de dados úteis ao ensaio;
- Cálculos necessários à análise pretendida como:
  - Caudal térmico do aparelho no ensaio actual;
  - Potência fornecida pelo aparelho;
  - Rendimento energético respectivo.
- Armazenamento de dados recolhidos no ensaio, por comando do utilizador;

Uma inovação a inserir nestas novas bancas de ensaio será o desenho da arquitectura tanto em termos de software como de hardware que permita a execução de ensaios predefinidos no software que se possam ser iniciados apenas manualmente, mas cujo procedimento seja totalmente automático (sem intervenção do utilizador). Neste caso, será o software automaticamente e por si só a comandar a banca, fazendo alterar as condições de funcionamento do esquentador da forma predefinida nesse ensaio previamente programado. Nesta situação, a realização desse tipo de ensaios apenas poderá ser desencadeada por comando explícito do utilizador da banca, e deve existir obrigatoriamente um mecanismo de cancelar a realização desse ensaio automático em qualquer altura da sua execução. Este mecanismo deve existir além do botão de emergência da banca, ou seja, deve haver um modo de, por software, se cancelar a realização do ensaio, mesmo após o seu início.

## **2.2. *Requisitos de desempenho***

Pretende-se, em termos de performance, que seja possível adquirir todas as variáveis em causa, para cada ensaio, com uma resolução temporal de pelo menos 1s. Deve, portanto, ser possível a cada segundo obter dados de todas as variáveis de ensaio. Esta resolução temporal ditará a resolução temporal dos dados armazenados em relatório. Além deste requisito, exige-se que a taxa de actualização de dados no ecrã seja a mesma.

Por outro lado, o controlo das válvulas ON-OFF uma a uma, deve ser o mais rápido possível desde o comando do operador até à imposição desse sinal de comando à própria válvula. Esse controlo será implementado nesta fase apenas pelos controlos externos (botões), e só será implementado em software mais tarde, caso se verifique útil.

## **2.3. *Limitações do ambiente de utilização***

Existe a necessidade de que pelo menos os sensores e actuadores, no caso válvulas, presentes no circuito de gás, sejam aprovadas segundo a norma EN 161 (“automatic shut-off valves for gas burners and gas appliances”) [8], que define parâmetros construtivos de segurança na utilização de válvulas eléctricas ou não, dedicadas à utilização em tubagens de gás.

Ainda assim, está a ser tomada em conta uma eventualidade de fuga de gás por avaria, de maneira que nenhum do equipamento utilizado terá relés de comutação mecânica (serão substituídos por relés de estado sólido) nem outro dispositivo mecânico com alimentação eléctrica que possa originar a formação de arco eléctrico, pelo seu funcionamento normal. Excepção a este requisito poderá ser apenas e unicamente um interruptor geral da banca, que se possa desligar apenas manualmente para o caso de ser necessário intervir nalgum componente ou circuito eléctrico. A protecção da banca deverá portanto ser feita através de fusíveis em vez de disjuntores.

Embora a possibilidade de fuga de gás seja muito baixa e dados os cuidados já implementados e exigidos pela normalização associada, deve de facto ser tido em conta este cuidado porque a baixa probabilidade disso acontecer não é, no entanto, nula!

## **2.4. *Conformidade com Standards***

Os cálculos que o software a desenvolver deve efectuar são especificados segundo formulário indicado na norma EN 26 [7]: “Aparelhos de produção instantânea de água quente para aplicações sanitárias equipados com queimadores atmosféricos que utilizam combustíveis gasosos”.

As medições no circuito de gás devem ser feitas por aparelhos que respeitem a directiva ATEX [9], ou susceptíveis de funcionamento em ambiente eventualmente explosivo por outros referenciais normativos.

Todos os transdutores devem estar calibrados aquando da sua utilização. Normas internas da Vulcano não permitem a utilização de dispositivos de medição que não estejam calibrados.

## 2.5. **Fiabilidade**

Dado que não existe controlo de mecanismos perigosos associados ao sistema, não é exigida também uma fiabilidade apertada. Apenas é exigida segurança nas válvulas de comando eléctrico, aquando de falhas de alimentação. Por este motivo, todas as válvulas ON-OFF a utilizar deverão ter sistema de fecho nessa situação. Devem ser portanto todas elas, válvulas normalmente fechadas com a particularidade de serem comandadas energeticamente apenas para a abertura.

Por outro lado, aí sim, é exigida fiabilidade adequada na medição de grandezas físicas, garantida através da boa calibração dos transdutores a utilizar assim como pela qualidade necessária dos mesmos, que influencia a sua escolha.

## 2.6. **Segurança**

Em termos de segurança, é de implementação exigida na banca de ensaios, um dispositivo de segurança (botão de emergência ou outro) que permita ao utilizador encerrar rapidamente o funcionamento da banca em caso de haver funcionamento anormal, por exemplo, fugas. Este dispositivo pode também ser o responsável pelo desligar da banca em situações normais, não se exigindo redundância nesse sentido, uma vez que as acções a executar são as mesmas.

Este dispositivo de segurança será responsável pelo encerramento dos circuitos de gás e água (à entrada e à saída da banca – note-se que a fuga pode ocorrer na própria banca) e ainda pelo desligar do circuito eléctrico que alimenta actuadores e transdutores.

A plataforma que executa o software e que efectua a interface com o utilizador será (em princípio) mantida em funcionamento dado que mesmo que a fuga seja de gás, o dispositivo não possui comutação mecânica nem cria possibilidade de aparecimento de arco eléctrico. Este procedimento deverá ser devidamente avaliado e implementado, se possível, já que é adequado evitar (do ponto de vista de software) o encerramento forçado da plataforma de interface (que será uma plataforma tipo *panel PC*) apenas pelo acto de se desligar a banca de ensaio.

## 2.7. **Manutenção**

A manutenção da banca de ensaio prende-se principalmente com a calibração adequada e atempada dos transdutores.

Outras medidas de manutenção podem consistir na limpeza das tubagens, para manutenção de boas condições de medida, assim como a manutenção do PC, que deverá ser cumprida normalmente como se de outro qualquer computador se tratasse.

Obviamente, recomenda-se limpeza exterior periódica da própria banca, assim como dos seus aparelhos constituintes, sendo importante haver cuidado na utilização de produtos de limpeza, particularmente nos transdutores mais sensíveis e no ecrã táctil do PC.

## 2.8. ***Comentários adicionais***

Há a referir que o desenvolvimento desta banca não é totalmente original nem inédito. Obviamente a Vulcano possui já bancas de ensaio para testes de funcionamento em protótipos e aparelhos que fábrica.

O desenvolvimento desta banca de ensaio vem no sentido de integrar no PC, dados que em versões anteriores de bancas de ensaio estavam mais dispersos por mostradores digitais (ou simplesmente nos sensores através de escalas predefinidas), assim como permitir integrar algum controlo de caudais, que até agora não existia ou era feito manualmente através de válvulas rudimentares. Também a possibilidade de criação de relatórios de dados é uma importante evolução neste tipo de dispositivos de teste.

Uma inovação nas novas bancas de ensaio será a possibilidade de controlo (manual) de frequência e tensão de alimentação da electrónica integrada de controlo dos aparelhos. Deste modo consegue-se, além de ensaios de funcionamento mecânicos, fazer também ensaios de funcionamento eléctricos (como testes de condições adversas de alimentação) e, mais importante, testes conjuntos. Permite ainda, na mesma banca testar vários tipos de aparelho, com tensões e frequências de funcionamento diversas. Este é um factor importante dado que a Vulcano produz esquentadores vendidos a nível mundial, e que portanto têm especificações diferentes de alimentação, consoante o destino geográfico de utilização.

Esta funcionalidade extra será conseguida através de conversor (de comutação de estado sólido) de tensão e frequência.

Uma inovação, essa sim relevante, será a de permitir à banca a existência de ensaios predefinidos, que possam ser iniciados manualmente, mas efectuados inteiramente de uma forma automática.

## 2.9. **Grandezas e métodos de medição**

### 2.9.1. **Aquisição de dados**

No sentido de aquisição de dados, o sistema terá as seguintes interfaces (de medida):

- Medição de pressão:
  - Gás:
    - À entrada do aparelho (final do circuito de gás);
    - No aparelho, à entrada do queimador.
  - Água:
    - À entrada do aparelho (depois do caudalímetro mássico).
  - Atmosférica.
- Medição de Caudal:
  - Gás:
    - Medição por caudalímetro mássico: Brooks;
    - Medição de volume por contador seco/húmido.
  - Água:
    - Medição por caudalímetro mássico: Rotamass.
- Medição de temperaturas:
  - Gás;
  - Água:
    - À entrada do aparelho (depois do caudalímetro mássico);
    - À saída do aparelho.
  - Ambiente;
  - Chaminé – produtos de combustão.
- Dados obtidos por comunicação com outros dispositivos mais complexos:
  - Densidade do gás combustível – variáveis analógicas;
  - Dados de concentração de CO e CO<sub>2</sub> nos produtos da combustão – RS 232 ou variáveis analógicas. O aparelho disponibiliza as duas interfaces.

Quanto a controlo de variáveis:

- Controlo de caudais (potencialmente com válvulas proporcionais);
- Controlo de válvulas ON-OFF, que definem e implementam o circuito hidráulico que alimenta o aparelho.

### 2.9.2. **Gamas de medida necessárias e erros máximos admissíveis**

A norma EN 26 [7] define as incertezas máximas para cada variável e serve assim de referência inicial.

Esta incerteza máxima já contempla: inexactidão; repetibilidade; condições ambientais, e todos os outros factores que influenciam a medida de cada variável.

É ainda exigido normativamente que os resultados de rendimento (em percentagem) tenham uma incerteza abaixo dos 2%. A incerteza máxima de outras variáveis dependentes (como o caudal térmico) é definida por relacionamento entre as variáveis e portanto por relacionamento entre as incertezas. Pretende-se que seja feita uma análise de influência dos erros de medição de cada grandeza no cálculo do rendimento de maneira a ser possível uma escolha equilibrada dos transdutores, satisfazendo o objectivo de incerteza no rendimento inferior aos 2%.

Segundo a EN 26, são as seguintes as incertezas máximas para cada grandeza. São também indicadas as gamas de medida necessárias, recolhidas junto dos operadores das bancas, por experiência dos próprios.

Tabela 2-1 – incertezas máximas admissíveis pela norma EN26.

| Tipo de grandeza                      |                                 | Incerteza máxima | Mínimo de medição | Máximo de medição | Unidades         |
|---------------------------------------|---------------------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| Pressão                               | Gás                             | ±2%              | 0                 | 50                | Mbar             |
|                                       | Água                            | ±2%              | 0                 | 20                | Bar              |
|                                       | Atmosférica                     | ±5mbar           | 990               | 1030              | Mbar             |
| Caudal                                | Gás                             | ±1%              | 0                 | 80                | L/min            |
|                                       | Água                            | ±1%              | 0                 | 40                | L/min            |
| Temperatura                           | Gás                             | ±0.5°C           | 10                | 25                | °C               |
|                                       | Água entrada                    | ±2°C             | 0                 | 30                | °C               |
|                                       | Água saída                      | ±2°C             | 30                | 100               | °C               |
|                                       | Ambiente                        | ±1°C             | 0                 | 45                | °C               |
|                                       | Chaminé – produtos de combustão | ±5°C             | 30                | 400               | °C               |
| Concentração de Produtos de combustão | CO                              | ±6%              | 0                 | 2500              | ppm <sup>2</sup> |
|                                       | CO <sub>2</sub>                 | ±6%              | 0                 | 12                | %                |
| Densidade do gás                      |                                 | ±0.5%            | 0.3               | 3.1               | --- <sup>3</sup> |

A incerteza máxima de medida de concentração de CO e CO<sub>2</sub> não são relevantes para o projecto, uma vez que os aparelhos de medição destas grandezas já estão actualmente definidos pelo material existente no laboratório. De modo semelhante, a medição da densidade do gás vai ser feita de modo opcional com um aparelho já adquirido pela Vulcano. Pretende-se com isto analisar de futuro a medição de densidade do gás directamente, em substituição dos valores tabelados na EN26.

<sup>2</sup> - ppm – partes por milhão

<sup>3</sup> Densidade do ar a 1013.25 mbar e ao nível do mar é 1.293Kg/m<sup>3</sup> e  $d=d_{\text{gas}}/d_{\text{ar}}$ , densidade relativa

### **3. Constituição das bancas e respectivo hardware**

Faz parte deste projecto a escolha de transdutores, a definição física da banca e a definição da arquitectura do sistema de aquisição de dados assim como o desenvolvimento de software associado, conforme mencionado nos objectivos.

Esses assuntos são exactamente o âmbito deste capítulo. O software será tratado com mais detalhe no capítulo seguinte.

#### **3.1. Escolha de transdutores**

Este projecto engloba a medição de vários tipos de grandezas físicas, e algumas delas bem distintas. Estes tipos diferentes de grandezas físicas a medir exigem naturalmente diferentes tipos de transdutores, que vão ser superficialmente analisados nesta secção. Em cada tipo de grandeza física existem vários métodos de medição, e como tal várias classes de transdutores para cada grandeza. Estas classes separam os transdutores quanto ao método de medida, que normalmente influencia a ordem de grandeza do erro associado a essa medida. A escolha de um transdutor depende portanto de vários factores, desde a exactidão de medida (que depende do método, como visto no parágrafo anterior), passando entre outros pelas condições ambientais que este pode suportar e pela gama de medida, terminando com o custo associado.

De seguida descrevem-se os transdutores utilizados neste projecto de desenvolvimento e justificadas algumas escolhas, em detrimento de outras. A informação presente não pretende servir de guia de escolha de transdutores e poderá não conter todas as características do transdutor associado. Apenas serão apresentadas as que se revelarem mais importantes.

##### **3.1.1. Medição de pressão**

A medição de pressão é uma medida bastante comum em processos industriais, e existem variados métodos de medição de tal grandeza.

Em termos de medição de pressão, existem três origens de medida no projecto, com exigências diferentes: pressão de gás, água e a pressão atmosférica.

A menos preocupante em termos de exactidão é a pressão da água. É uma grandeza que não integra o cálculo do rendimento, pelo que representa uma medida mais indicativa para o operador da banca. No entanto não deve também ter uma exactidão muito baixa já que define o ponto de funcionamento do aparelho.

A melhor solução encontrada para a medição de pressão de água é um transdutor avançado da Druck<sup>®</sup>. É um sensor com uma exactidão de 0.15% (full scale). Este é um transdutor de pequenas dimensões e com boa qualidade de medida. O transdutor adquirido tem uma gama de medida de 0 – 25 bar, com uma pressão máxima admissível do dobro do máximo de escala. Satisfaz portanto todos os requisitos levantados quanto à medida desta grandeza.



**Figura 3-1 – Druck PTX1400**

A medição da pressão atmosférica já influencia o rendimento, embora não muito, até porque varia pouco e tem uma gama de medida necessária relativamente apertada (30/1000). Para a medição desta grandeza será utilizado um transdutor da mesma família do anterior, especialmente concebido para este tipo de medição, com uma gama dos 800 – 1200 mbar. A exactidão deste instrumento é semelhante ao citado anteriormente para a medição da pressão da água.

Estes transdutores têm ainda uma interface simples de 4-20mA (0-5V opcional), o que facilita bastante a aquisição de dados.

A medição da pressão do gás é mais importante do que qualquer uma das anteriores, tanto em termos de cálculo de rendimento como de exigência dos utilizadores das bancas em ter uma boa medição da pressão do gás. A solução encontrada é ainda da Druck<sup>®</sup>, mas desta feita, uma família com melhores características de medição. É assim utilizado o PMP4070, um transdutor de pressão com uma gama de medida que vai apenas até aos 70 mbar, tem dimensões semelhantes ao anterior, mas com uma exactidão de 0.08% (*full scale*).

### **3.1.2. Medição de caudais**

Este tipo de grandeza é o que mais influencia tanto o cálculo do rendimento como a qualidade da banca de um modo geral. É portanto neste campo que serão adquiridos os sensores mais avançados e com os melhores métodos de medida.

O caudal de gás é medido, a pedido da norma EN26 [7], por contadores húmidos de gás de laboratório. Estes transdutores têm o aspecto indicado a seguir, e são capazes de efectuar medidas com exactidão de 0.5% em relação ao volume de gás medido. Este volume de gás é mais tarde transformado em caudal, através da divisão pelo tempo de medida de volume. Este método é concebido assim, por um lado pela exigência da EN26 no uso deste tipo de contadores, mas por outro pela exactidão que proporcionam. Este é portanto um transdutor que não foi seleccionado, pelas imposições citadas e uso corrente na Vulcano. Os contadores são comercializados pela Actaris.

Além deste transdutor será utilizado outro, de medição de caudal com uma exactidão de apenas 0.7% da medida mais 0.2% *full scale*. Refere-se o Brooks MF63S. Este transdutor seria capaz de efectuar as medidas necessárias ao cálculo do rendimento com um erro aceitável. Ainda assim, em ensaios de rendimento é utilizado o método

descrito anteriormente. Este transdutor será utilizado apenas para indicação de caudal em tempo-real, e eventualmente para efectuar ensaios com medição de caudal de gás, que não o de rendimento.

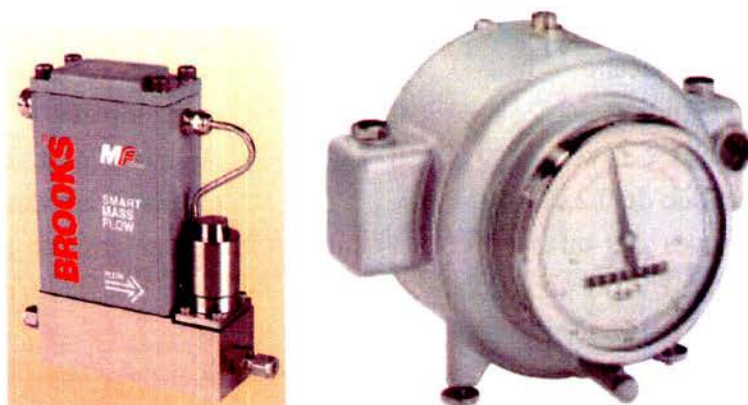


**Figura 3-2 – Brooks MF63S e contador húmido de gás da Actaris**

O caudal de água por sua vez é medido por um transdutor de efeito de Coriolis. Os mais exactos neste tipo de medição. É um transdutor da Yokogawa, com uma exactidão que não ultrapassa 0.1% do valor medido.

O caudal de água também afecta o cálculo do rendimento por influência directa no cálculo da potência do aparelho, de acordo com a equação 5.1.

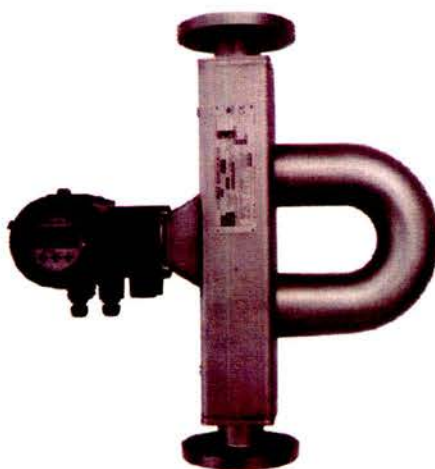


**Figura 3-3 – Yokogawa Rotamass**

Embora esteja aqui representado na vertical, o transdutor pode também ser disposto na horizontal, como de facto acontecerá na implementação.

### 3.1.3. **Medição de temperaturas**

Há várias temperaturas a medir neste projecto, e com gamas de medida bastante diferentes. Desde a temperatura dos gases de combustão, que pode ir até algumas centenas de °C até à temperatura ambiente.

Todas as temperaturas necessárias no projecto poderiam ser medidas por termopares. Ainda assim, e a pedido dos colaboradores do laboratório de desenvolvimento da Vulcano, optou-se por medir a temperatura da água (à entrada e saída do aparelho) com transdutores mais exactos do que os termopares.

Com termopares e o associado módulo de aquisição FieldPoint, conseguem-se medidas com exactidão de 0.25°C. Para as temperaturas de água foram escolhidas assim sondas PT100, através das quais se conseguem medidas com erro de apenas 0.1°C. Serão usadas sondas PT100 com condicionamento de sinal integrado e saída de 4-20mA, com escala de 0-100°C.

### 3.2. **Estrutura física das bancas**

No desenvolvimento destas novas bancas para o EWH da Vulcano, não se pretendeu que estas tivessem tamanho reduzido. Em vez disso pretendia-se que estas bancas fossem o mais completas possível, e fáceis de utilizar. Outro grande objectivo deste desenvolvimento é, como foi já mencionado, a renovação da *frota* de bancas do laboratório de desenvolvimento, aumentando assim a eficiência dos colaboradores do laboratório.

Apresentam-se de seguida algumas imagens de uma das bancas actuais.

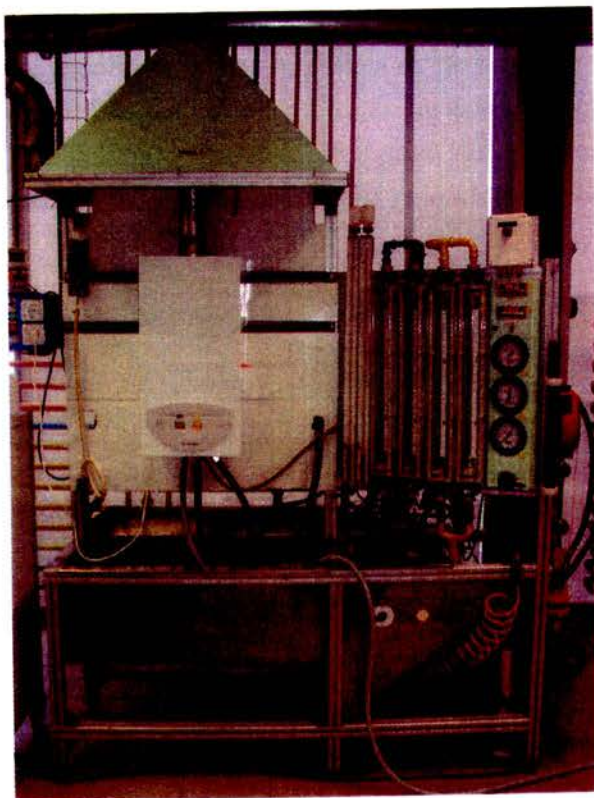


Figura 3-4 – aspecto geral de uma das bancas antigas do laboratório

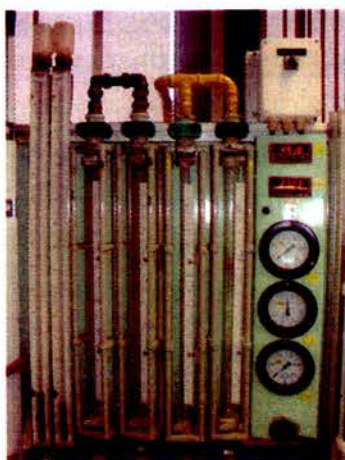


**Figura 3-5 – respectivos sistemas de medição (rudimentares)**

Como se pode ver nas imagens, as bancas actuais do laboratório do departamento de desenvolvimento precisam de renovação. Há problemas não visíveis como são a deterioração dos transdutores devido à constituição da água nesta zona do país (é muito ferrosa). Isso nota-se nos rotâmetros (que são sensores de caudal de área variável) mais à esquerda Figura 3-5, que são os de medição do caudal de água. Além disso, a comodidade de utilização das bancas é reduzida.

Relate-se, a título de exemplo, que a medição do caudal de água é feita manualmente: o operador da banca colhe para um balde a água à saída do aparelho durante um determinado intervalo de tempo, depois pesa esse volume de água, e a partir daí, conhecendo o peso por unidade de volume da água em causa fica a conhecer o volume, que dividido pelo tempo em causa dá um caudal. Como facilmente se percebe, não será um método de medida apropriado a ensaios de rendimento. Para ensaios que não de rendimento, o caudal (quer de água quer de gás) é medido por rotâmetros, medida esta que se torna suficiente para a maior parte dos ensaios, mas não para o de rendimento, pelo que essa medição tem de ser feita pelos meios relatados.



**Figura 3-6 – rotâmetro**

A existência de rotâmetros nas novas bancas de ensaio prende-se com a transição dos operadores das bancas antigas que assim fica mais facilitada para além de que representam uma indicação visual intuitiva dos caudais para o operador. No entanto o valor indicado não será utilizado para efeitos de ensaio ou de relatório de dados.

As medições de pressão são feitas por manómetros de ponteiro, que leva o operador da banca a cometer erros de medição por falhas de leitura. Note-se que a escala destes manómetros nem sempre é tão fina como desejável.



**Figura 3-7 – escala de um manómetro de água**

Estas bancas não têm por exemplo, sistema de medição de pressão atmosférica, pelo que o laboratório do EWH tem de pedir à metrologia (departamento de qualidade) o valor da pressão atmosférica diariamente ou mesmo várias vezes ao dia, quando o tempo está mais instável.

As medidas são feitas todas independentemente e com os indicadores distribuídos pelas bancas. Não existe uma interface de medição centralizada.

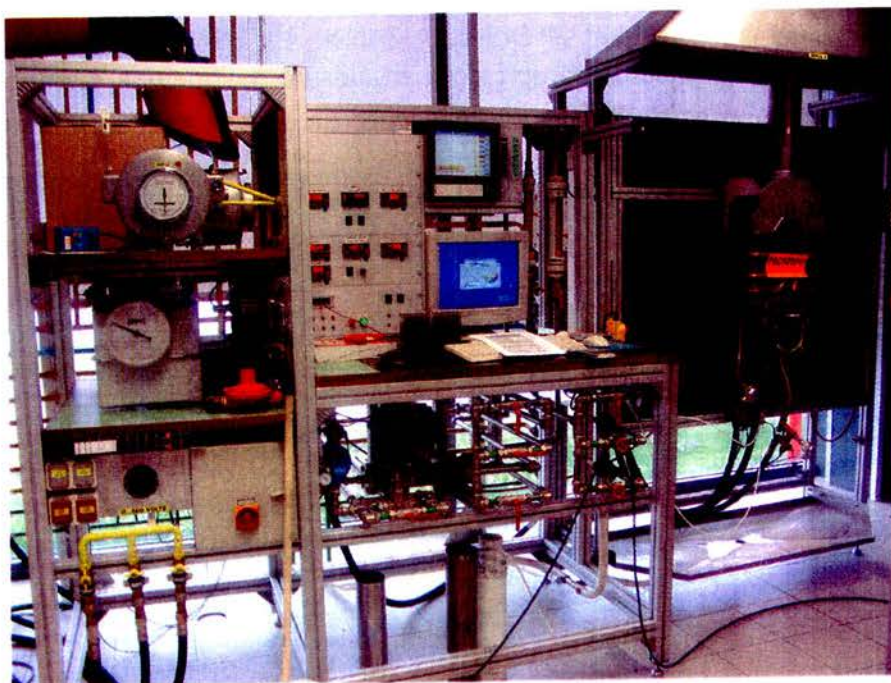


**Figura 3-8 – banca “intermédia”**

Esta banca foi desenvolvida há alguns anos e estava adequada às necessidades do laboratório do departamento de desenvolvimento da Vulcano, na altura. Alguns transdutores utilizados, principalmente os mais complexos continuam a ser satisfatórios. Serão mesmo utilizados nas novas bancas alguns transdutores do mesmo tipo ou família, como por exemplo os contadores húmidos de gás exigidos pela norma EN 26 [7]. Ainda assim, esta qualidade de medida e o seu impacto no rendimento nunca foi estudada, pelo que a fiabilidade dos valores obtidos para o rendimento dos aparelhos ensaiados nesta banca não está comprovada.

Já existe uma unidade central de apoio à medida e à criação de relatórios embora não efectue qualquer tipo de cálculo, com a função de *datalogger*. Esta interface reside naturalmente num PC de secretária.

No entanto, a interface com o operador não é muito *user-friendly*. Apenas traça gráficos da evolução de algumas variáveis medidas e guarda-os em relatório, juntamente com os valores médios associados. Esta interface não efectua qualquer tipo de cálculo nem integra a medição de CO e CO<sub>2</sub> nos gases resultantes da combustão. Já a medição de densidade dos gases não é feita, mas também não estava prevista à altura do desenvolvimento dessa banca.

Quanto ao sistema de aquisição de dados implementado, a medição é feita por indicadores de processo, cujos valores são lidos através de uma rede RS-485, melhor, por várias redes. De facto os indicadores estão em redes RS-485, mas em pares. Este método de medição traz um problema à unidade de interface por computador. Como estes valores são lidos periodicamente, pode acontecer que haja actualização de valor no indicador, mas que por ainda não ter sido lida na rede RS-485, não foi actualizada ainda no computador que centraliza os dados da banca, isto acontece por ser o próprio indicador a fazer a medição.

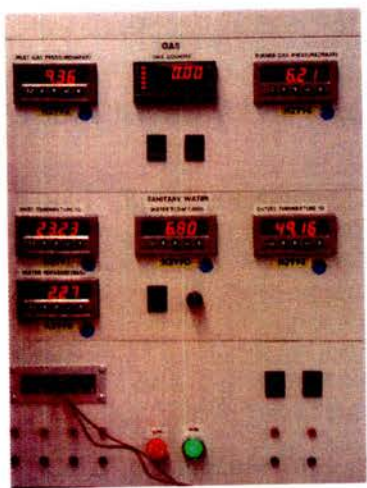


Figura 3-9 – painel de indicadores da banca “intermédia”

Estes indicadores de processo têm capacidade de medir vários tipos de variáveis analógicas como de contagem, e que, segundo a documentação da dita banca, o conjunto de 7 existente torna-se muito pouco vantajoso economicamente, em relação a

todo o sistema integrado de aquisição de dados a implementar nas novas bancas de ensaio. Para não dizer que, em caso de ser necessário intervir neste sistema, essa tarefa será um tanto fastidiosa.

As novas bancas também terão indicadores de painel, a pedido dos operadores das bancas de maneira a possibilitar a leitura de algumas grandezas fundamentais sem ter o computador da banca ligado. Ainda assim, estes indicadores apenas mostram o valor recebido por RS-485, não têm capacidade para efectuar qualquer medição. Na realidade são mostradores alfanuméricos e portanto com capacidade para mostrar caracteres que não algarismos. Estes indicadores são muito mais económicos do que os anteriores. Comparando directamente os preços, estes custam cerca de  $1/10$  dos indicadores de processo existentes nestas bancas.

Quanto às novas bancas de ensaio, a estrutura será a seguinte:

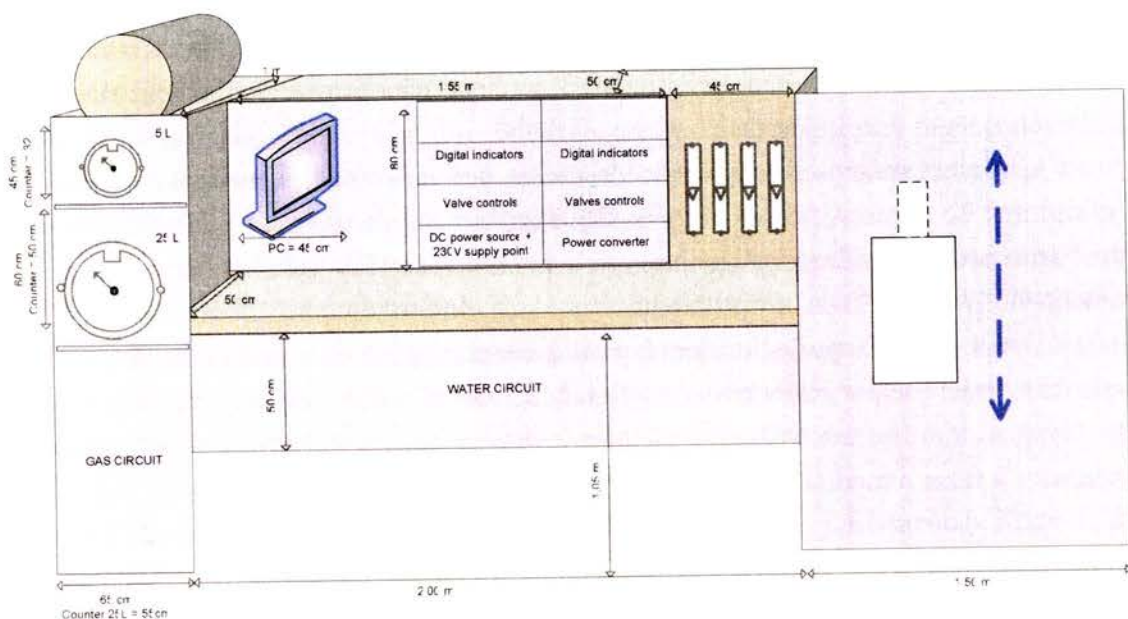


**Figura 3-10 – estrutura física das novas bancas**

Esta estrutura física é em parte parecida com a da banca mais recente do laboratório, que foi apelidada de “intermédia”. Foram propostas várias estruturas diferentes, e, em reunião com o pessoal do laboratório do desenvolvimento, foi escolhida esta para ser implementada.

Referem-se de seguida alguns dos aspectos fundamentais da estrutura.

Antes de mais é de referir a inclusão dos contadores de gás húmidos na banca. Um com capacidade de 5L e outro com capacidade de 25L. Estes são os contadores mais utilizados nos ensaios de rendimento, e como se pretende que esta seja uma banca o mais completa e independente possível, optou-se por incluir os próprios contadores na banca. São os contadores ilustrados à direita da Figura 3-2.

Foi ainda preparada a inserção de um depósito de água na banca, de maneira a amortecer variações repentinas na pressão da água, no circuito de alimentação da banca,

que acontece quando os consumos variam noutros pontos da rede de água dentro do laboratório.

O computador aplicado à banca será um computador de painel não ocupando espaço em profundidade. Ao seu lado estarão os indicadores de painel com informação sobre algumas variáveis importantes em testes simples, nos quais deste modo não será necessário ligar o computador para os efectuar. Um exemplo destes testes é a medição de caudais de arranque dos aparelhos, em que o caudal é aumentado muito lentamente, até que o aparelho liga e esse valor é registado. Este ensaio é efectuado poucas vezes, e pretende-se que seja relativamente rápido, pelo que estar a ligar o computador para esse efeito seria uma perda de tempo.

Para que a banca seja controlável o sistema de aquisição de dados é um pouco mais do que isso. Contém um computador embebido que será responsável por enviar para estes indicadores de painel, os valores dessas variáveis importantes. Mais do que isso, e uma vez que os circuitos hidráulico e de gás da banca são implementados inteiramente com electroválvulas, estas electroválvulas têm de estar controláveis mesmo com o computador desligado ou a banca ficaria dependente do computador e apenas controlável por ele. Nesse sentido, existirão abaixo destes indicadores de painel os controlos das válvulas da banca, que permitirão assim ao operador controlar a banca sem necessidade de ter o computador ligado.

Mais abaixo destes controlos, mas ainda no painel de interface, estarão uma fonte DC, regulável de 0-30V, para alimentar eventuais sistemas auxiliares (da electrónica dos aparelhos), assim como simular a existência de pilhas, nos aparelhos que as contêm. Torna-se assim possível testar inserção de pilhas com polaridade errada, analisar o efeito da utilização de baterias (pilhas) recarregáveis que têm tensão inferior às pilhas, etc.

Ao seu lado existirá um conversor de potência em tensão e frequência. Trata-se de um conversor de potência cuja regulação em tensão vai dos 0-300V e a regulação de frequência dos 45-500Hz. Embora não fosse necessária um intervalo tão largo de regulação, este ficou sujeito aos aparelhos que foram encontrados no mercado.

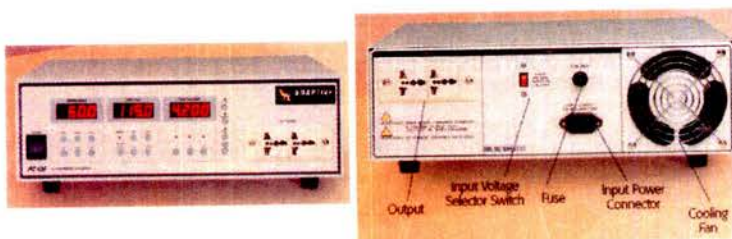


**Figura 3-11 – conversor de potência a aplicar nas novas bancas**

Dada a globalização dos mercados da Vulcano, produzem-se aparelhos alimentados a 230V@50Hz, assim como aparelhos alimentados a 115V@60Hz. Com este conversor (que tem controlos de tensão e frequência no seu painel frontal) torna-se possível alimentar na mesma banca diferentes tipos de aparelhos, sem conversões de

tensão/frequência por sistemas mecânicos do tipo [motor+variador de velocidade]  $\Rightarrow$  [gerador]. Consegue-se ainda com a inclusão deste conversor analisar comportamento dos aparelhos em condições adversas (variações de tensão, frequência ou ambos, em relação à alimentação nominal) de alimentação e ainda testar o comportamento não só da electrónica do esquentador nessas situações, mas sim do aparelho como um todo. Pode ainda ser testado o comportamento dos aparelhos a outras falhas e variações de condições de trabalho, com condições anormais de alimentação eléctrica. Interessante será saber, se por exemplo, o rendimento do aparelho sai afectado ou não por variações nestas condições de alimentação eléctrica. Repare-se que por exemplo, a modulação do gás no aparelho é feito actualmente, por controlo da electrónica do aparelho.

A zona entre os contadores de gás e os rotâmetros, e acima do tabuleiro da banca, tem um espaço em profundidade que será ocupado pelo corpo do conversor de potência, pela fonte de alimentação, pelos indicadores, mas não só. Ficará alojado aqui tanto o sistema de aquisição de dados como toda a parte de controlo das electroválvulas e alimentação da banca. Nessa zona ficará alojada toda a parte eléctrica e electrónica da banca. Essa “caixa” será fechada por portas de acesso na parte de trás da banca, mas terá na parte superior uma zona em rede que permite o arrefecimento dos equipamentos que estão no interior. Se for necessário será adicionado ainda um sistema de ventilação, mas não se prevê que haja essa necessidade.

Logo debaixo do circuito de água, há um espaço que ficará nesta fase vazio, e onde deverá num futuro próximo ser implementado o circuito de aquecimento central, para completar a banca, possibilitando-a efectuar todos os ensaios efectuados actualmente, quer em esquentadores, quer em caldeiras.

Os rotâmetros ficam estrategicamente localizados entre os controlos da banca e o aparelho a testar. Deste modo, o operador da banca poderá facilmente alterar o estado desta através dos seus controlos, e ver em simultâneo e facilmente o estado dos caudais de água e de gás (as variáveis mais importantes no ponto de funcionamento do aparelho). Todo este procedimento é efectuado pelo operador da banca, estando este bastante próximo do aparelho, o que pode também ser mais uma vantagem, já que o operador pode assim alterar o ponto de funcionamento do aparelho, apercebendo-se mais rapidamente de problemas que possam eventualmente aparecer. Pode, por exemplo, confirmar (ou não) o arranque do aparelho através da visualização de presença de chama no queimador.

A parte mais à direita da banca é onde o aparelho a ser testado é fixado. Este sistema será nestas bancas, independente e com rodas, que lhe permite por exemplo orientar esta parte da banca na perpendicular em relação ao restante. Embora não pareça significativa a vantagem, esta mobilidade permite, além de uma relativa poupança de espaço no laboratório, fazer com que o operador fique ainda mais envolvido nas suas tarefas pelo facto de estar ainda mais perto do aparelho. Esta disposição faz com que a visualização do aparelho se torne ainda mais fácil dado este estar disposto na perpendicular da banca e não no seu alinhamento. Além disto, esta parte da banca ainda dispõe de um sistema de elevação. Este sistema de elevação permite alterar as condições

de exaustão de gases de combustão alterando a distância da chaminé do aparelho ao sistema de exaustão do laboratório. Permite ainda baixar o aparelho para este ser transportado ou para lhe ser fixada a tubagem de exaustão que simula as chaminés de exaustão em que os aparelhos funcionam em casa do cliente. Por cima desta secção, e como não podia deixar de ser, existe uma campânula que recolhe os gases resultantes da combustão e que está ligada ao sistema de exaustão do laboratório.

### 3.3. *Circuitos de água e gás*

Nesta secção serão expostos os circuitos de água e gás a implementar nas novas bancas.

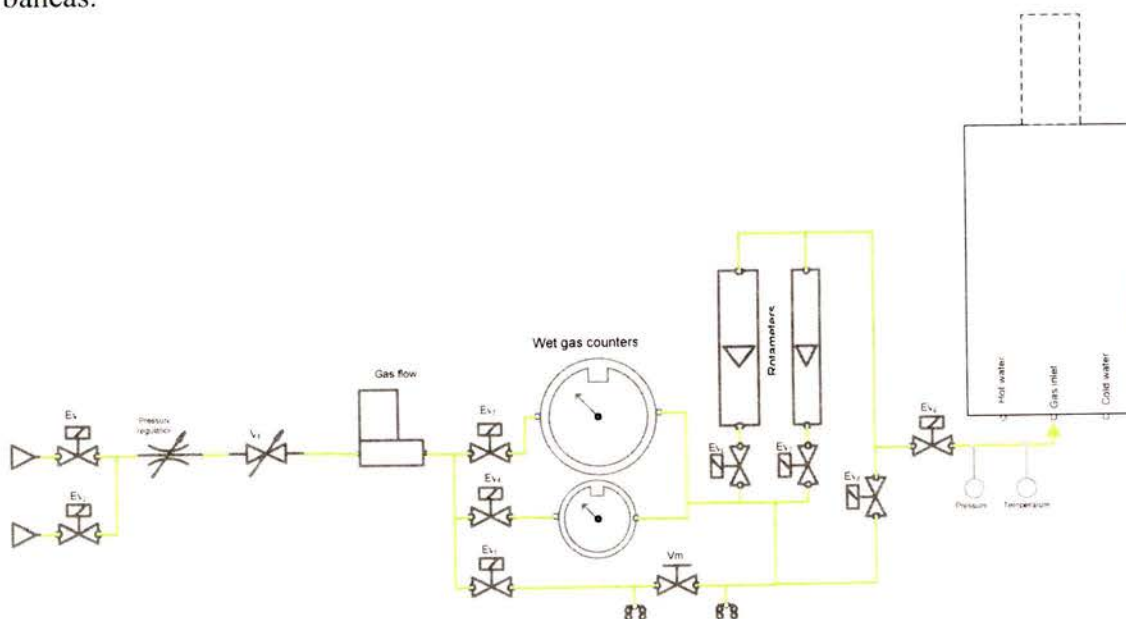


Figura 3-12 – circuito de gás das novas bancas

Começando pelo circuito de gás, este tem logo à entrada duas electroválvulas que permitem comutação rápida entre duas entradas de gás. Esta entrada múltipla de gás tem por objectivo passar de um gás corrente para um gás de referência rapidamente. Isto é executado aquando da realização de um ensaio de rendimento. Inicialmente o aparelho é posto em funcionamento em condições bem definidas com um gás de consumo corrente, depois é usada esta comutação para alterar o tipo de gás consumido, de maneira a fazer o ensaio de rendimento com um gás de referência, como deve acontecer. A necessidade desta comutação prende-se com o facto dos gases usados nos ensaios de rendimento serem bastante dispendiosos e também porque normalmente é fornecido em botijas. Estas botijas são relativamente pequenas (dezenas de litros de gás) para os ensaios dos aparelhos com maior potência e podem não durar para a definição e estabilização do ponto de funcionamento e ainda para o ensaio em si.

De seguida existe a redução de pressão para níveis controlados e pretendidos (esta regulação é manual). Existe depois o controlo de caudal e a medição pelo caudalímetro de gás.

Há depois a hipótese de escolha do contador húmido de gás entre os dois incorporados na banca e outro externo que pode ser ligado em torno de  $V_{m1}$  (válvula manual). Este ramo também serve para fazer os ensaios que não de rendimento, sem utilização dos contadores de gás, se  $V_{m1}$  estiver aberta. O sistema representado para ligação do contador externo é de aperto fácil como ilustrado na Figura 3-13. É um sistema de fecho automático, ao retirar o equipamento ligado.



**Figura 3-13 – sistema de aperto fácil do circuito de gás**

Depois da selecção do contador de gás encontra-se a selecção do rotâmetro, um para elevados caudais, outro para caudais mais reduzidos e ainda a não utilização de rotâmetros. Esta escolha é feita pela abertura/fecho das electroválvulas representadas, que são de exclusão mútua (só uma delas está aberta em cada momento) à semelhança do que acontece de resto com a escolha do contador de gás.

Existe ainda uma electroválvula de saída do circuito para o aparelho que permite retirar do aparelho sem esvaziar o circuito de gás. Permite ainda fechar a alimentação de gás ao aparelho, quer para testes quer por questões de segurança.

Por fim existe a medição de pressão de gás de alimentação do aparelho e também de temperatura do mesmo. Além desta medição de pressão existe ainda uma outra (móvel) de medição de pressão de gás no queimador do aparelho, usando o mesmo transdutor, através de uma pequena mangueira de ligação ao próprio queimador.

As válvulas de gás são certificadas pela norma EN 161 [8] para utilização em circuitos de líquidos combustíveis.

Quanto ao circuito de água, ele tem a configuração seguinte:

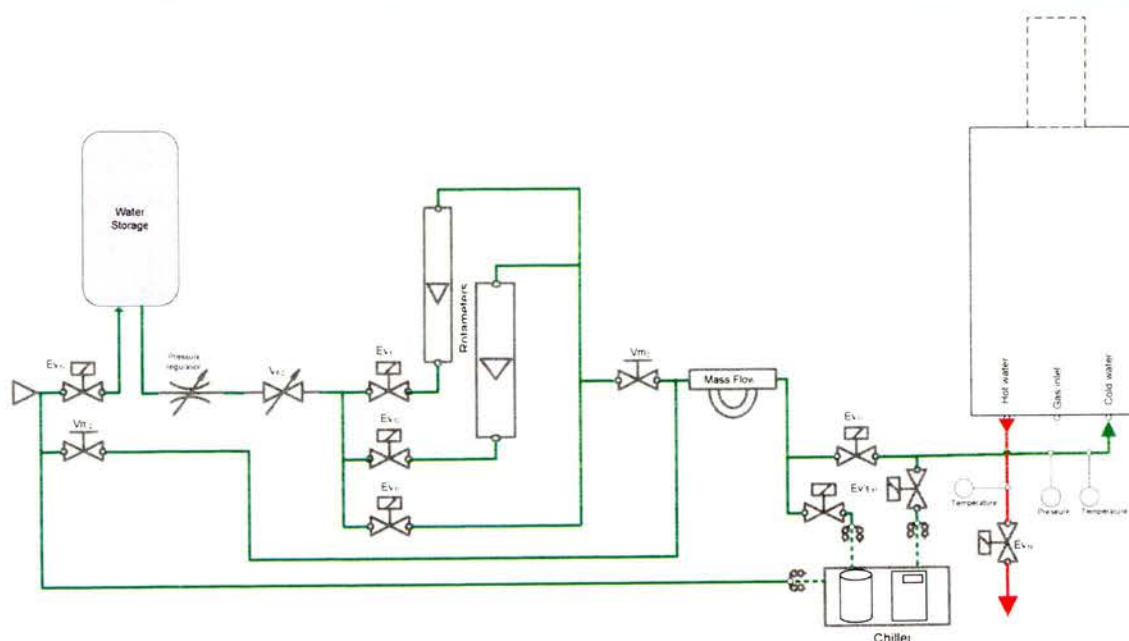


Figura 3-14 – circuito de água a implementar nas novas bancas

O circuito de água é um tanto mais complicado do que o de gás.

Analisando o circuito como um todo, podemos ver que existem duas alternativas distintas de fornecimento de água ao aparelho. Uma através das electroválvulas, rotâmetros, etc., e outra através das válvulas manuais  $Vm_2$  e  $Vm_3$ . Esta alternativa permite fazer testes de estanquicidade ao aparelho.

O circuito termina com a existência de um *chiller*. Um *chiller* ou refrigerador é um aparelho de alimentação normalmente eléctrica que regula a temperatura da água à sua saída à semelhança do que um sistema de ar condicionado faz com ar. Recebe água a uma determinada temperatura (normalmente ambiente) e aquece-a ou arrefece-a consoante uma referência em temperatura e controla essa temperatura de saída para que esteja o mais próximo possível dessa referência. Consegue-se assim alimentar o aparelho a testar com água a temperatura bem definida e que pode assim ser diferente da temperatura ambiente. É habitual este equipamento ser utilizado para alimentar os aparelhos com água a temperaturas bastante baixas como por exemplo,  $10^{\circ}\text{C}$ .

Este *chiller* é pela sua função usado em ensaios muito específicos e tem 3 ligações: uma ligação de água que está presente na admissão de água da banca e que serve para arrefecimento interno, e mais duas (as de  $Ev_{15}$ ) que são a entrada de água e a respectiva saída com uma temperatura regulada. O *chiller* é posto em funcionamento no circuito através do fecho de  $Ev_{14}$  e abertura das  $Ev_{15}$ .

Se forem abertas as válvulas manuais 2 e 3 e fechadas as electroválvulas 10 e 15, é possível impor ao aparelho uma pressão de água que pode ir até aos 20 bar ou mesmo mais. Neste ensaio não pode ser utilizado o *chiller* por questões de pressão máxima admissível do mesmo. O sistema de controlo da banca deve garantir essa situação através da retirada do *chiller* do circuito de água se a pressão no circuito subir acima de

10 bar e não permitir a sua ligação ao circuito nesse caso, sobrepondo-se aos comandos do utilizador para as válvulas  $Ev_{14}$  e  $Ev's_{15}$ .

As electroválvulas introduzidas neste circuito têm capacidade para aguentar com 40 bar no sentido normal de fluxo e 12 no sentido contrário. É portanto necessário algum cuidado com a orientação de  $Ev_{10}$ , no início do circuito assim como de  $Ev_{14}$  e  $Ev's_{15}$ .

A entrada é apenas uma porque neste caso não há necessidade de comutação de fonte de água.

Em situações normais de utilização a ligação de água desde a fonte da banca até ao aparelho será feita pelos caminhos compostos pelas electroválvulas. Essa alternativa começa logo com o depósito de amortecimento de choque hidráulico e variações de pressão de fornecimento de água à própria banca. De seguida tem a redução de pressão e controlo de caudal a montante da escolha dos rotâmetros que têm um critério semelhante ao que aconteceu com a escolha dos rotâmetros no circuito de gás. O caudalímetro mássico está sempre no circuito, mesmo em testes de sobrepressão porque este tem uma capacidade de aguentar uma pressão de 40 bar, à semelhança das electroválvulas.

Além de todas as medidas efectuadas por caudalímetro e rotâmetros existem no final do circuito (na alimentação do aparelho e o mais próximo possível deste) a medição de pressão e temperatura da água de entrada.

À saída do aparelho existe também uma electroválvula que permite ligar ou desligar o aparelho, tal como ele é ligado ou desligado quando o cliente abre ou fecha uma torneira em casa. Aí existe também uma medição de temperatura da água, que é a temperatura de saída do aparelho.

### **3.4. Sistema de aquisição de dados**

Há várias soluções para a arquitectura do sistema de aquisição de dados. Será tratada nesta secção a escolha da arquitectura, assim como será desenvolvida aquela que foi escolhida para implementação.

De entre um vasto leque de soluções possíveis, foi estudada a possibilidade de utilização de três arquitecturas:

- Solução com PC e placa de aquisição de dados;
- Solução baseada em plataformas independentes;
  - Solução com E/S distribuídas – FieldPoint e Compact FieldPoint.

A solução com placa(s) de aquisição fica fora de questão quando se olha para a quantidade de sinais a adquirir/controlar. Estes sinais estão descritos na secção “Grandezas e métodos de medição”. Mesmo sem contar com o elevado número de E/S digitais de controlo das válvulas, a presença de vários sinais em corrente já torna desapropriado o uso de placas de aquisição de dados.

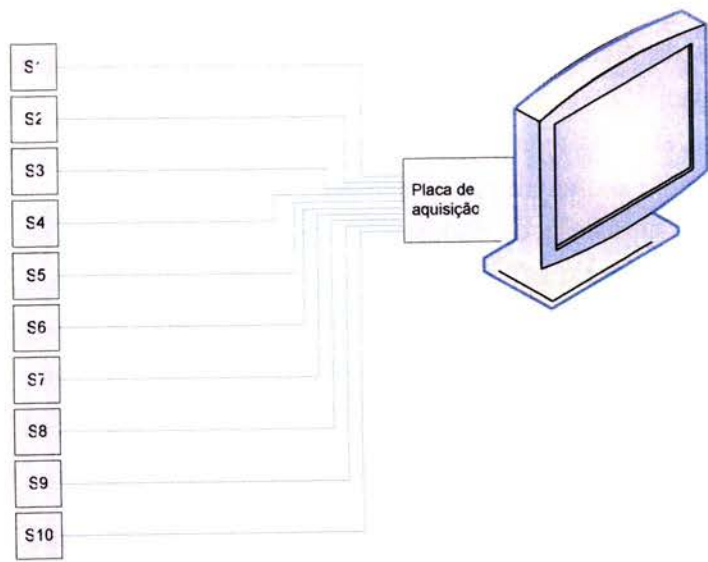


Figura 3-15 – diagrama de solução com placas de aquisição de dados

Por outro lado, esta possibilidade falha um requisito (não essencial) de desenvolvimento destas bancas. Com uma arquitectura destas, não seria possível ter controlo directo das válvulas nem medir algumas grandezas-chave, sem que o computador estivesse ligado. Embora seja relativamente fácil conceber um sistema de controlo das válvulas independente e “paralelo” ao sistema de aquisição de dados, o mesmo não acontece quanto à medida e apresentação dessas grandezas essenciais.

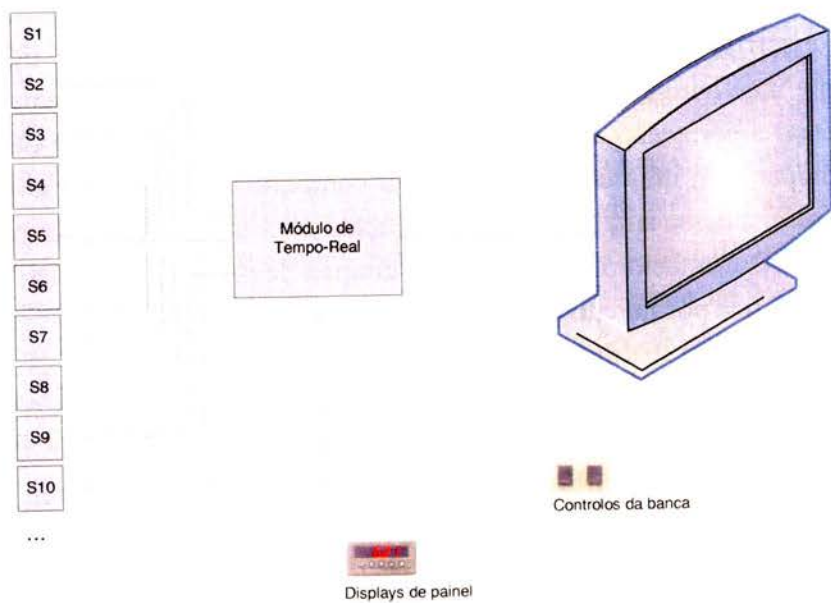


Figura 3-16 – diagrama da arquitectura com sistemas independentes

Outra solução estudada foi a solução baseada em plataformas independentes. Dentro de soluções da National Instruments existem as recém chegadas ao mercado plataformas CompacRIO. Estas plataformas são mais do que entradas/saídas distribuídas, são um sistema avançado e embebido de controlo e aquisição de dados. Esta solução, já permite o que a anterior não era capaz, e respeita as necessidades das bancas em termos de aquisição de dados. É portanto uma solução possível, mas com performances muito superiores ao necessário. Estas performances reflectem-se naturalmente no preço do produto. Outra questão que fez descartar esta possibilidade é a de que a empresa não possui o ambiente de desenvolvimento de software neste hardware (Labview FPGA module), pelo que haveria um custo adicional de aquisição de software.

Esta arquitectura também é passível de ser implementada com autómatos programáveis. Ainda assim, nesse caso, o número de variáveis analógicas é relativamente elevado para este tipo de plataformas. Mais ainda, a aquisição de dados engloba algum cálculo associado, e comunicação RS-485 (ou RS232 com conversor). Todos estes requisitos poderiam ser significativos para um autómato da dimensão necessária, para além de que haveriam nesse caso dois ambientes de desenvolvimento muito diferentes, por um lado o programa do PLC, e por outro o software de desenvolvimento da interface com o utilizador. Volta também a existir a questão de aquisição de algum software de programação do PLC, embora aqui menos preocupante já que eventualmente poderia até existir na área de produção, dependendo da marca de PLC escolhida.

A terceira hipótese baseia-se em E/S distribuídas, com uma capacidade de processamento independente (sem PC em funcionamento). É a solução *FieldPoint* da National Instruments, que nos permite assim ter processamento independente, com alguma capacidade, juntamente com algum condicionamento de sinal integrado. Seja a título de exemplo, a capacidade de um dos módulos adquiridos, medir temperaturas baseadas em termopar, onde a compensação da característica do tipo de termopar escolhido já é corrigida. Deste modo, ao ler uma entrada analógica deste tipo, obtém-se imediatamente uma leitura em temperatura que já não consome processamento. O PLC teria de efectuar a correcção da característica dos termopares, para além de que ler um sinal de termopar com uma entrada em tensão comporta alguns erros elevados dada a ordem de grandeza desse sinal. Esse processamento é feito de modo independente nesse mesmo módulo. Outro factor importante é a filtragem de ruído às frequências industriais (50 e 60Hz), incluída por defeito nestes módulos de aquisição de dados.

Esta estrutura de hardware é modular. Com um módulo de processamento adequado, e os restantes de apenas aquisição de dados (E/S), torna-se possível adquirir todas as variáveis da banca e mostrar as essenciais nos indicadores de painel. Estes dados são o resultado da conversão da entrada analógica em valores de medida nas unidades respectivas. Esta conversão é efectuada no citado módulo de processamento, que além disto permite o funcionamento da banca, mesmo com o computador desligado, tanto com as variáveis digitais como as analógicas. Este módulo corre uma aplicação

desenvolvida à medida do necessário, e num sistema operativo de tempo-real, pelo que pode mesmo ser utilizada em controlo, embora neste caso a sua utilidade seja fundamentalmente medição.

Não há lugar a custos adicionais de aquisição de software neste caso, uma vez que a Vulcano já possui o ambiente de desenvolvimento para estes módulos de processamento, o Labview Real-Time.

A solução final terá a configuração da Figura 3-17:

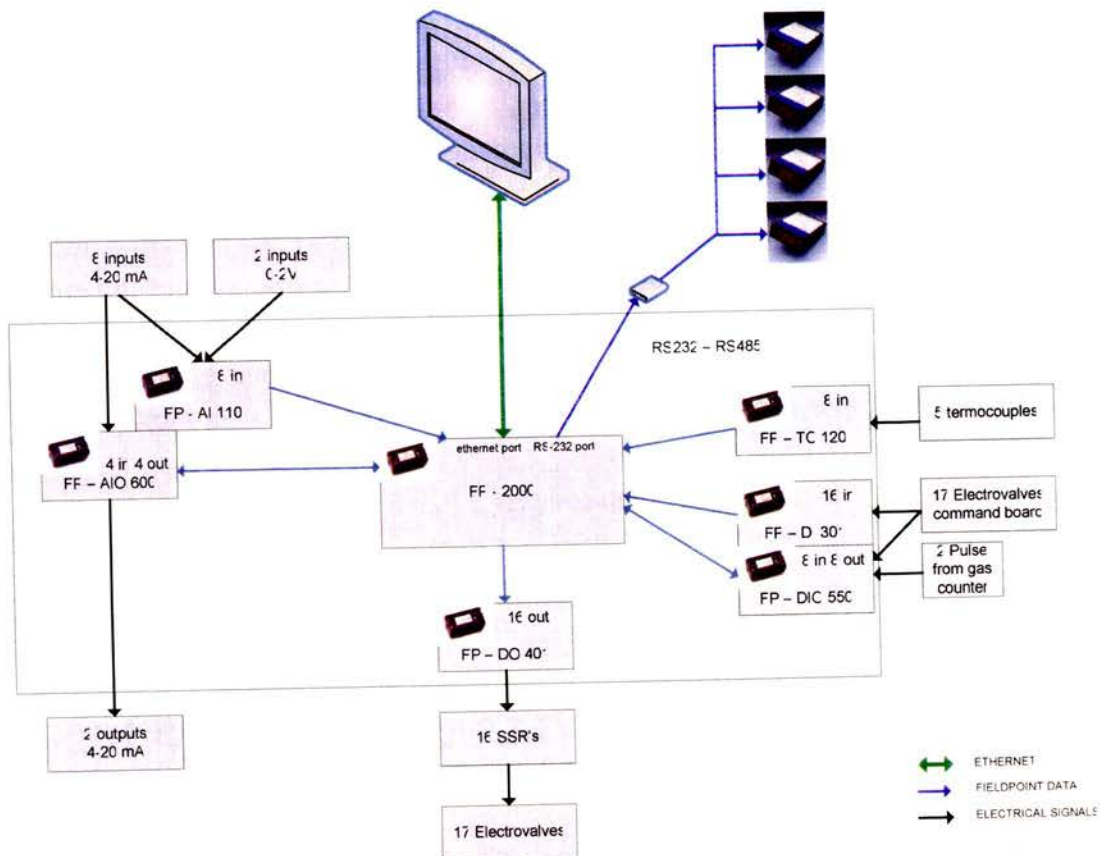


**Figura 3-17 – arquitetura implementada**

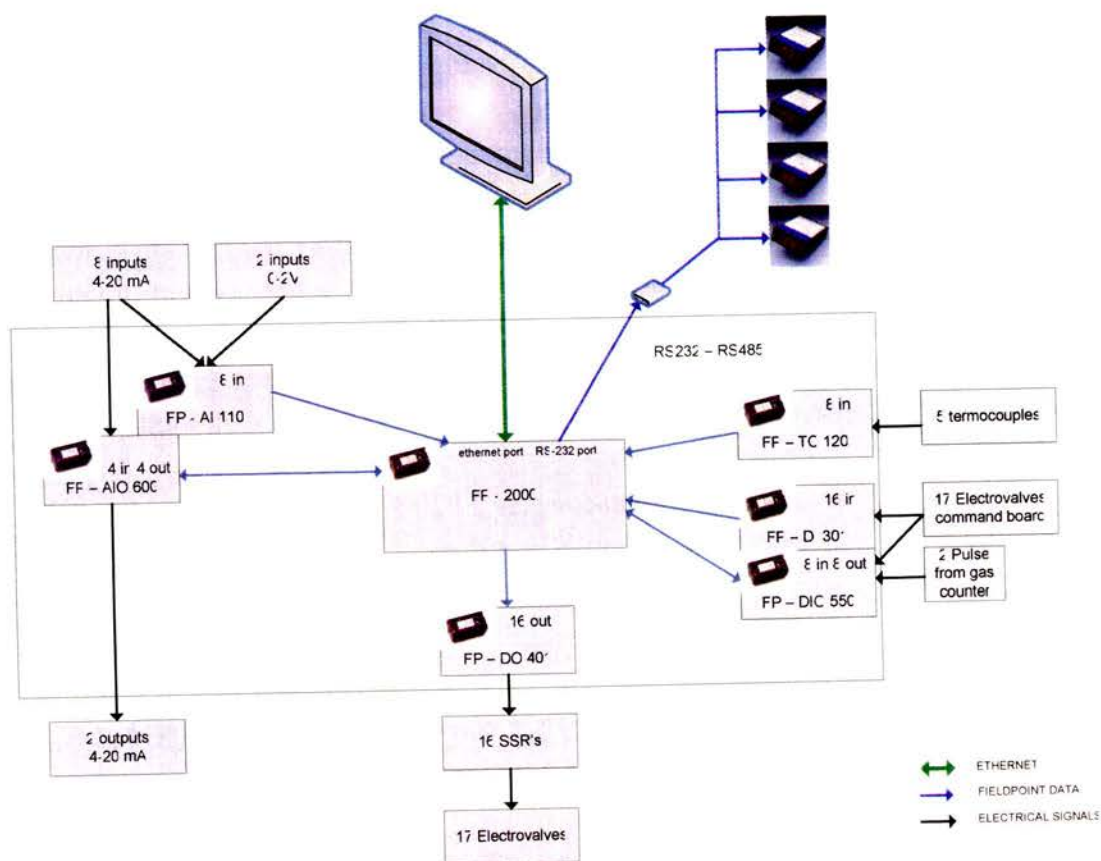
Os componentes no interior do retângulo desenhado a traço interrompido constituem o sistema de aquisição de dados propriamente dito. O FP2000, ao centro, é o sistema de processamento em tempo-real. É o centro funcional de todos os módulos FieldPoint, por aqui passam todos os dados para e do sistema de instrumentação. A ligação com o computador onde corre uma aplicação independente (a interface com o utilizador) é feita por Ethernet.

Esta será garantida por um cabo cruzado, de maneira que o FP2000 e o computador da banca constituirão uma rede local de computadores. À parte desta ligação, o computador terá ainda outra à rede da fábrica, efectuada através de uma placa de rede adicional. Esta segunda ligação garante ao computador da banca ser configurado como outro qualquer computador da rede interna da Vulcano. Permite ainda a utilização de licenças de software para utilização na rede da fábrica e ainda a impressão dos

desenvolvida à medida do necessário, e num sistema operativo de tempo-real, pelo que pode mesmo ser utilizada em controlo, embora neste caso a sua utilidade seja fundamentalmente medição.

Não há lugar a custos adicionais de aquisição de software neste caso, uma vez que a Vulcano já possui o ambiente de desenvolvimento para estes módulos de processamento, o Labview Real-Time.

A solução final terá a configuração da Figura 3-17:



Os componentes no interior do rectângulo desenhado a traço interrompido constituem o sistema de aquisição de dados propriamente dito. O FP2000, ao centro, é o sistema de processamento em tempo-real. É o centro funcional de todos os módulos FieldPoint, por aqui passam todos os dados para e do sistema de instrumentação. A ligação com o computador onde corre uma aplicação independente (a interface com o utilizador) é feita por Ethernet.

Esta será garantida por um cabo cruzado, de maneira que o FP2000 e o computador da banca constituirão uma rede local de computadores. À parte desta ligação, o computador terá ainda outra à rede da fábrica, efectuada através de uma placa de rede adicional. Esta segunda ligação garante ao computador da banca ser configurado como outro qualquer computador da rede interna da Vulcano. Permite ainda a utilização de licenças de software para utilização na rede da fábrica e ainda a impressão dos

relatórios criados pelo software de utilizador da banca, em impressoras partilhadas na rede.

Esta separação do tráfego de rede da empresa do tráfego de dados da banca (de instrumentação) tem como principal objectivo não aumentar o tráfego na rede da empresa com a existência das bancas. Não existe a necessidade de introduzir os dados de aquisição de medida das bancas na rede da empresa já que estes apenas são necessários localmente. Em segunda instância obtém-se maior garantia de determinismo na comunicação entre o computador da banca e os módulos FP. Ainda assim, e mesmo com esta configuração, é possível ao FP2000 trocar dados com outros computadores da rede da fábrica, se o computador da banca for configurado para funcionar como *bridge* entre as duas redes. Esse caso pode aparecer, se por exemplo se achar necessário de futuro partilhar os dados de uma banca entre mais do que um computador. Nessa situação, o segundo computador da rede a ler os dados dos módulos FP nem necessitaria de software adicional. Pode ser activado um servidor *web* no FP2000, sendo a interface aí definida, e lida essa interface em qualquer parte da rede, e apenas com um simples browser.

Além de tudo isto, a ligação entre o computador da banca e o hardware de instrumentação garante uma excelente capacidade de troca de dados entre os dois dispositivos.

Os dados enviados para o computador pelo FP2000 serão apenas aqueles pedidos pelo próprio PC. Esses valores nunca serão os valores das entradas (nomeadamente os analógicos) directamente, à excepção das entradas de termopar que já dão valores em temperatura, mas sim esses valores já convertidos para as unidades convenientes. Faço notar que quando se lê uma entrada analógica de FP, o resultado é dado nas unidades de configuração dessa entrada, V, mV, mA. Esta conversão de (por exemplo) mA para L/min será feita no FP2000, até porque este é o responsável pela escrita nos indicadores de painel, e os valores apresentados nesses indicadores tem de ter naturalmente o valor convertido para as unidades representativas. Deste modo, uma segunda conversão no computador só traria mais uma fonte de erros, dada a eventual não simultaneidade das duas conversões, pelo que em determinados instantes, o valor apresentado no ecrã poderia ser diferente do apresentado no indicador de painel induzindo o operador em erro. Além disto ainda se pode acrescentar que seria um desperdício de cálculo, e sem qualquer benefício na transmissão.

Os indicadores em causa são alfanuméricos de 6 dígitos, com comunicação RS-485. A restante interface do módulo FP2000 para além da Ethernet é uma porta série (RS-232) e por este motivo foi acrescentado à arquitectura um conversor RS-232/485, que permite assim ao FP2000 escrever dados para os indicadores. Como é este módulo o responsável pela escrita de valores nos indicadores de painel, este envio pode ser sincronizado com os pedidos de leitura de dados por parte do computador de interface tornando assim síncrona a indicação das variáveis medidas entre o computador e os indicadores. Essa possibilidade não existia na banca apelidada de intermédia a descrita previamente.

Quanto a E/S, existem algumas digitais e outras analógicas. Além destas existem ainda neste caso as entradas de termopar (representadas na parte direita do desenho) que são também analógicas mas vão ter aqui uma identificação separada, dada a leitura imediata de temperaturas, através da correcta configuração do módulo TC120, e do seu condicionamento de sinal incorporado.

As entradas digitais estão também na parte direita da figura. Incluem os comandos das válvulas através de botões que serão incorporados no painel da banca (como indicado em 3.2 – Estrutura física das bancas) e os impulsos dos contadores de gás. Inicialmente foi pensada a possibilidade do uso de um módulo de contagem, mas depois de algum estudo da máxima frequência que poderia aparecer neste sinal, não se evidenciou necessária a aquisição de tal módulo. Isto só é possível pelo facto de os contadores de gás terem *encoders* com poucos impulsos por volta (apenas 50).

Ao fundo do desenho encontra-se o módulo de saídas digitais, que comanda os relés de estado sólido que por sua vez fazem a comutação em potência para as válvulas (tanto de gás como de água). São apenas 16 relés para 17 válvulas porque há duas válvulas que abrem e/ou fecham sempre em conjunto e portanto do ponto de vista de controlo são apenas uma. Essas válvulas são as EV's 15, que são até homónimas. O único problema que poderia haver com esta alteração ao padrão seria o mau dimensionamento de potência do relé de estado sólido que comuta em potência estas duas válvulas em vez de apenas uma. Esse problema inicialmente considerado verificou-se inexistente.

Mais à esquerda na figura encontra-se o mapeamento das E/S analógicas. Quanto a saídas existem apenas duas e que são as saídas de comando das válvulas de controlo de caudal de água e de gás. As entradas são bastantes, 8 delas em corrente e apenas duas em tensão. Esta configuração das entradas analógicas depende apenas dos transdutores associados e é mesmo adaptável por consequência dos módulos AI110 e AIO600 aceitarem entradas analógicas tanto em tensão (V) como em corrente (mA).

Os esquemas eléctricos que servem à montagem do sistema, quer em relação à arquitectura do sistema de aquisição de dados quer em relação à alimentação de alguns dispositivos independentes como o conversor de potência, estão representados no anexo B. Os esquemas apresentados estão simplificados, mas tornam-se assim mais facilmente perceptíveis, nomeadamente no que se refere à ligação eléctrica dos sensores. São ainda representados os sistemas de protecção que a banca conterà.

## 4. Software e respectivas características

### 4.1. Apresentação e descrição da interface

Nesta secção será apresentado o software de interface com o utilizador da banca, tanto a parte do ensaio de rendimento já efectuada (de uma forma limitada), como dos outros ensaios que serão desenvolvidos de futuro. Estes últimos serão apenas mencionados quanto à sua utilidade e aos procedimentos relacionados.

O software de interface com o utilizador está organizado em vários painéis ou abas, consoante os ensaios que são executados. Além disso, ainda contém um painel com indicação do estado da banca e outra que permitirá efectuar a calibração dos sensores com saída já linear.

Relembra-se aqui que os objectivos do estágio prendem-se apenas com o desenvolvimento da parte do software responsável pelo ensaio de rendimento. O primeiro painel, com indicação do estado da banca assim como o do ensaio de rendimento constituem a proposta inicial. Os outros surgiram por sugestão dos operadores das bancas actuais do laboratório de desenvolvimento e de maneira a tornar este software o mais completo possível. Estas serão aplicadas a ensaios que se efectuam também frequentemente no laboratório em questão, se bem que não sejam tão frequentes como o de rendimento.

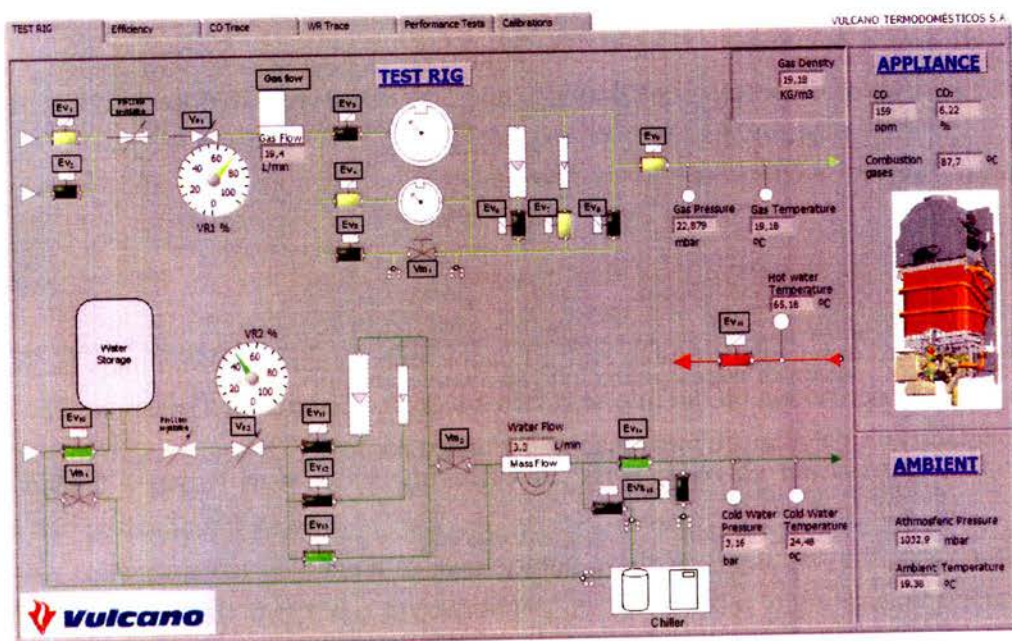


Figura 4-1 – primeira aba do software da banca – estado da banca

Na Figura 4-1 mostra-se então o painel inicial do software. O painel permite ao operador analisar rapidamente o estado geral da banca, nomeadamente quanto ao estado

das válvulas (de água e gás). Esta leitura é facilitada pela presença dos circuitos de água e gás no próprio software, de tal maneira que quando o operador quer verificar o estado de uma determinada válvula não necessita andar à procura do nome da válvula numa lista ou tabela de indicadores luminosos para ver o seu estado, consegue localizá-la rapidamente no circuito de gás/água. O mesmo acontece com todas as outras variáveis, devido à sua localização intuitiva.

Existe também indicação de outras variáveis directas (medidas) relacionadas com os circuitos mecânicos, mas também com o próprio aparelho e até medidas sobre as condições ambientais (a medida de densidade do gás tem aqui unidades uma vez que é uma medida absoluta, efectuada pelo densímetro de gás). Este é portanto um painel com duas facetas: por um lado contém um vasto leque de medidas que englobam quase todas as variáveis presentes no sistema, mas por outro permite rapidamente analisar o estado do sistema como um todo.

O painel do ensaio de rendimento, antes de ser iniciado um ensaio, apresenta-se como ilustrado na Figura 4-2.

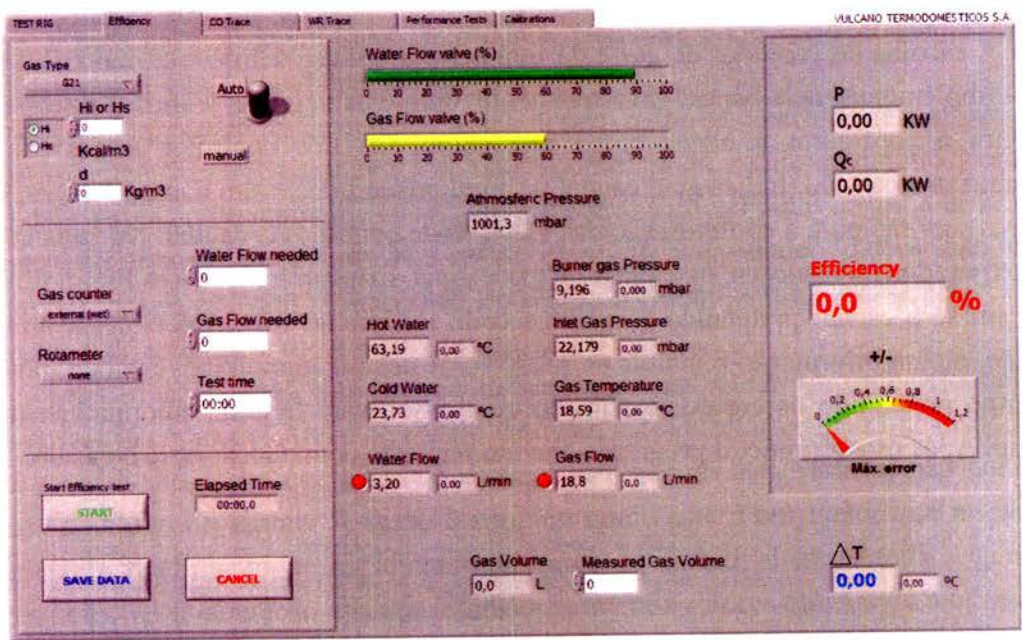


Figura 4-2 – painel do ensaio de rendimento – antes de ensaio

Este é o painel mais denso no software, em termos de indicadores numéricos, como não podia deixar de ser.

Na zona esquerda da página existem alguns controlos<sup>4</sup> que servem para configurar o próprio ensaio. Ao meio são apresentados os valores das grandezas influentes no rendimento. Do lado direito são indicados os resultados derivados desses mesmos valores.

<sup>4</sup> Um controlo em Labview e neste contexto é um campo de introdução de dados por parte do utilizador. São modificáveis.

Logo no topo dessa parte esquerda vêm as características do gás usado no ensaio, começando na escolha do seu tipo. Se o tipo de gás usado no ensaio for um gás de referência (quase sempre assim acontece), o software tem tabelado já como constantes o seu poder calorífico inferior e superior ( $H_i$  e  $H_s$ ), assim como a densidade relativa ao ar ( $d$ ), em condições de referência de pressão e temperatura atmosféricas. Se for utilizado, por qualquer razão um gás que não standard, o utilizador poderá inserir manualmente os valores do poder calorífico e de densidade. O poder calorífico do gás utilizado para o cálculo do rendimento tanto pode ser o superior como o inferior. Normalmente usa-se o inferior, mas a legislação de alguns países exige a utilização de  $H_s$  para o cálculo do rendimento. Isto altera, naturalmente, o patamar de rendimento que pode ser atingido pelo aparelho. Por isto existe (e esse está sempre disponível) uma lista de selecção de  $H_i$  vs  $H_s$ , onde o utilizador da banca indica que característica do gás usar no ensaio corrente. O valor predefinido é  $H_i$ , porque este é o mais frequentemente utilizado.

Na divisão a seguir existem controlos para selecção de alguns parâmetros importantes num ensaio de rendimento. Estes controlos destinam-se ao ensaio automático de rendimento.

A escolha do contador de gás e do rotâmetro a utilizar define o circuito de água e gás a implementar pela banca. Concretamente, define as válvulas a abrir e a fechar, de maneira a configurar a banca como pretendido. Os três controlos numéricos são referências ao ensaio. Indica-se o caudal de água pretendido, assim como o de gás, estes valores servirão para a configuração das válvulas de controlo de caudal. Na zona central e próximo dos indicadores<sup>5</sup> de caudal de gás e água, existem indicadores luminosos que indicam se o caudal pretendido (com uma certa tolerância) foi correctamente atingido ou não, é uma informação a incluir no relatório de ensaio automático. É ainda indicado o tempo pretendido de ensaio, ao fim do qual o software termina automaticamente o ensaio. Após este término, o programa cria um relatório com dados sobre o ensaio.

---

<sup>5</sup> Um indicador em Labview e neste contexto é um campo de saída de dados do software – indicação ao utilizador.

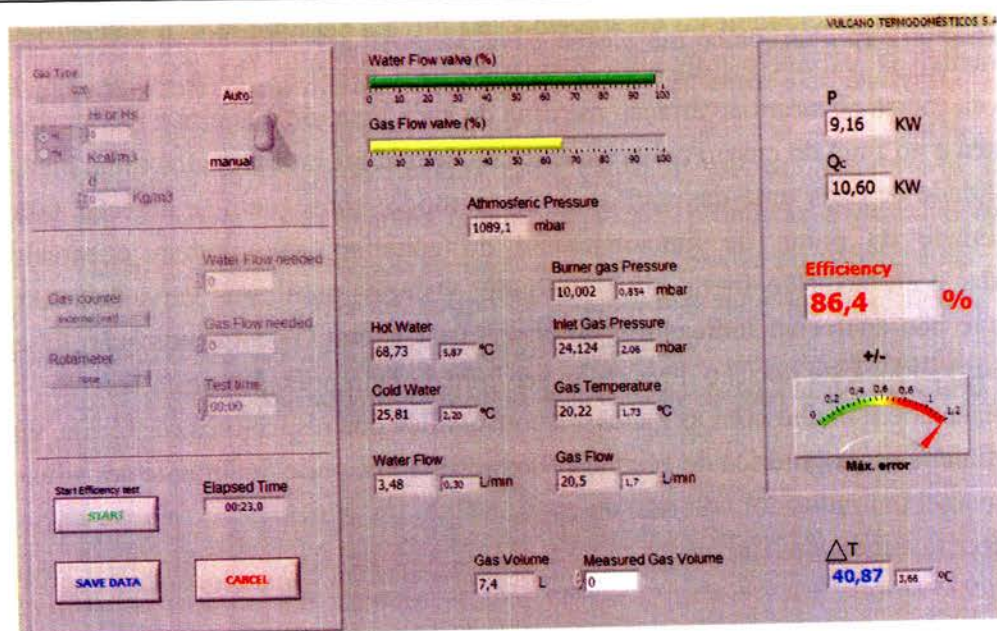


Figura 4-3 – o painel do ensaio de rendimento – durante um ensaio

A Figura 4-3 mostra um ensaio em curso. Como se pode verificar pelo selector, trata-se de um ensaio manual de rendimento.

Dado que o ensaio já foi iniciado, estão desactivados os controlos de configuração do tipo e características de gás assim como os controlos do ensaio automático: escolha de caudais a aplicar, do tempo de ensaio, do rotâmetro e do contador de gás a utilizar. A configuração manual de  $H_i$  ou  $H_s$ , assim como da densidade relativa não estão disponíveis, nem o estavam mesmo antes do ensaio começar já que o gás seleccionado é conhecido e de referência nos ensaios de rendimento (G20).

O selector de  $H_i$  ou  $H_s$  está também desactivado, mas este novamente pelo facto de que o ensaio já começou. Antes do ensaio arrancar, este selector encontra-se disponível, mas é desactivado assim que o ensaio começa, isto porque esta variável não pode ser alterada ao longo do ensaio. A razão é simples, como este é um factor que influencia fortemente o rendimento, se for alterado ao longo do ensaio, altera-se toda a gama de valores de  $Q_c$ . Esta alteração aparece imediatamente nos valores obtidos de rendimento, pelo que os valores médios finais (que ficam armazenados juntamente com outros dados em relatório) de algumas variáveis apareceriam adulterados.

A impossibilidade do utilizador alterar a configuração do ensaio automático prende-se com o facto deste ter escolhido efectuar um ensaio manual. Evitam-se deste modo erros de operação, e simplifica-se o uso da interface, pondo disponível ao utilizador apenas a informação que este precisa e não informação excessiva.

Na zona central encontra-se sobretudo a indicação de medidas efectuadas pela banca, como de resto foi já enunciado.

Falta ainda referir é que cada indicador contém ao seu lado um outro mais pequeno, que indica a variação máxima ocorrida nessa variável ao longo de todo o ensaio de rendimento. Esta indicação suplementar parece redundante, mas tem uma razão de ser. Um dos problemas em efectuar ensaios de rendimento, é que se pretende

que o ponto de funcionamento do aparelho seja o mais bem definido possível, pelo que idealmente, as variáveis influentes permaneceriam estáticas. Mas como isso não é possível, indica-se assim a variação máxima de cada uma, de maneira a dar ao operador da banca e no final do ensaio (só aí estes dados devem ser interpretados) uma medida da estabilidade de cada uma das variáveis. Deste modo, conseguem-se detectar falhas na estabilidade do ponto de funcionamento do aparelho, que podem eventualmente invalidar o ensaio. Não foram ainda definidos critérios para estas variações máximas, pelo que não aparecem indicadores coloridos (por exemplo) com indicação de ensaio válido/inválido. Esta decisão deve então ser tomada pelo operador nesta fase. Se, com a experiência de trabalho com as bancas, e com análise dos respectivos relatórios, virem a ser definidos esses critérios de aceitação dos resultados, pode facilmente ser adicionada a este painel um indicador colorido de ensaio válido (ou não).

Existe ainda um indicador por cada válvula de controlo de caudal, a título meramente informativo, e tem como objectivo dar feedback ao utilizador quanto ao estado do controlo dos caudais, existem apenas porque estas variáveis são muito importantes neste ensaio.

Além de todos estes indicadores, existe ainda nesta área central um controlo numérico. Este controlo (Measured Gas Volume), serve para o utilizador, caso pretenda, inserir manualmente o volume de gás medido pelo contador húmido em uso. Esta inserção manual do valor medido elimina o erro de contagem de  $\pm 1$  impulso dos contadores em causa (isto será explicado a seguir, no capítulo *Análise de propagação de erros*). Deste modo consegue-se reduzir o erro no rendimento. Este procedimento deverá ser realizado antes do utilizador ordenar a criação de relatório.

Do lado direito e ao fundo é indicada uma variável que não tem medida física directa, mas tem grande significado na análise do ponto de funcionamento corrente do aparelho. É a variação de temperatura da água entre a entrada no aparelho e a saída. Esta variável é importante porque é a reconhecida facilmente pelas pessoas que efectuem este tipo de ensaios, por isso a indicação separada e realçada deste valor.

Temos ainda do lado direito a indicação do rendimento, da potência e do caudal térmico do aparelho. Todos estes valores são actualizados à mesma taxa de todas as outras variáveis medidas na banca e que está definida inicialmente em 1 segundo. Esta taxa de actualização é facilmente alterável no software, mas isso só será feito se se verificar, com a utilização do software, que é demasiado baixa ou alta.

Após o início do ensaio, são ainda desactivados os índices de página, no topo da interface, repare-se na diferença entre a Figura 4-2 e a Figura 4-3. Isto faz com que não seja possível mudar de painel durante um ensaio. É uma restrição que existirá em qualquer painel do software excepto a primeira e portanto em qualquer ensaio. A necessidade desta restrição é simples: dada a interface de comunicação entre o módulo FP2000 e o computador da banca, e com o intuito de não trocar dados excessivamente reduzindo as taxas de transmissão, apenas são lidos do hardware de instrumentação os valores necessários em cada painel do software. Deste modo, se o utilizador mudasse de página com um ensaio em curso, estaria a alterar as variáveis lidas. Eventualmente não

estariam a ser lidas as variáveis necessárias ao ensaio em curso, pelo que os resultados estariam certamente corrompidos. Esse menu de troca entre painéis volta a estar disponível assim que o ensaio presente termina.

De seguida, e ao longo do restante deste capítulo, vão ser descritos os painéis seguintes do software. Estes painéis adicionais foram propostas a desenvolvimento futuro de variadas formas. Pretende-se assim fazer a exposição do software não só em termos do que foi possível fazer em tempo de estágio, mas também indicando as ideias que existem para o seu desenvolvimento futuro e completo.

O painel seguinte no software de interface é relativo ao ensaio de CO e tem o aspecto seguinte:

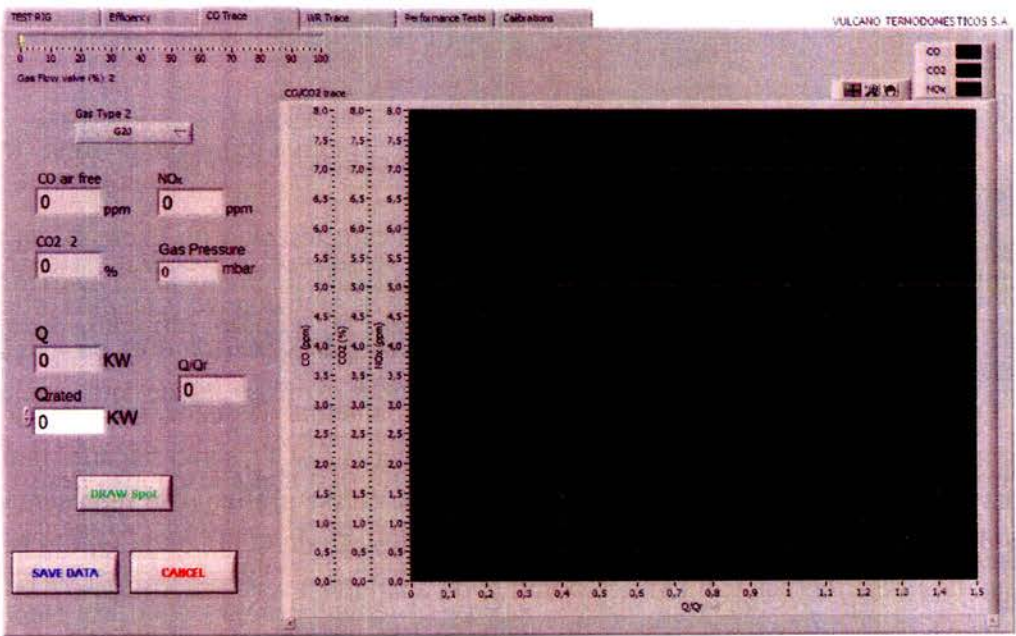


Figura 4-4 – o painel do ensaio de CO

Antes de se descrever o painel em si, vejamos a importância, utilidade e necessidade deste ensaio.

O ensaio de CO serve para simular e testar o comportamento do aparelho em altitude. A grandes altitudes, o ar é mais rarefeito, e com menor teor de oxigénio do que ao nível do mar. Esta falta de oxigénio faz com que as concentrações de CO<sub>2</sub>, e mais preocupantemente de CO nos gases de combustão dos aparelhos sejam maiores. Este ensaio pretende prever precisamente essa situação, validando ou não o funcionamento dos aparelhos produzidos pela Vulcano até uma altitude mínima exigida. Vejamos como o ensaio é efectuado e como é simulada a falta de oxigénio no ar.

O esquentador é colocado em funcionamento acima da sua potência nominal. Essa razão é dada por  $Q/Q_r$ , no eixo das abcissas do gráfico deste painel do software. Desta maneira, o consumo de gás aumenta também, levando a maiores concentrações de CO e CO<sub>2</sub> à saída da chaminé do aparelho uma vez que este queima mais gás, para a mesma quantidade de oxigénio. Esta curva é normalmente exponencial.

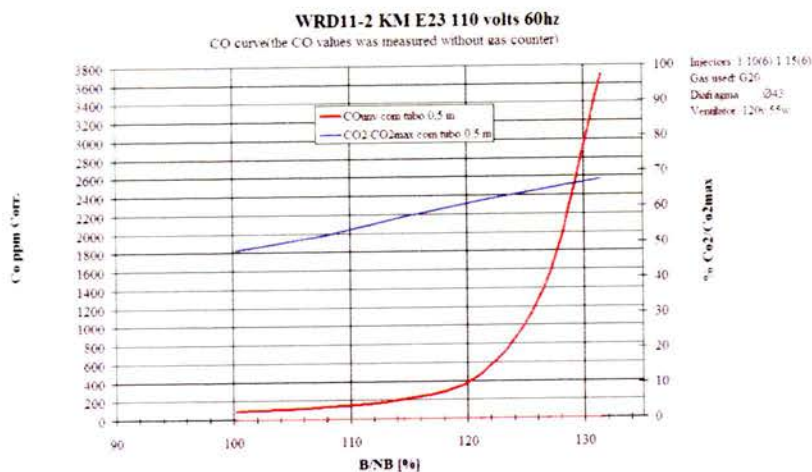


Figura 4-5 – exemplo de curva de CO

A questão é: a partir de que ponto é que a curva começa a subir muito rapidamente?

É regular que o mínimo deste ponto, que está caracterizado no exemplo anterior pela intersecção entre as duas curvas, seja acima dos 120% de potência do aparelho, ou ele tornar-se-á perigoso quando em funcionamento a grandes altitudes. Daqui a necessidade deste ensaio.

Quanto ao software, existe como indicador fundamental de dados, um gráfico com 3 curvas e outras tantas escalas diferentes. Além da curva de CO, serão traçadas também as curvas de CO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>, para as mesmas condições. Nesse gráfico será representado o valor de cada variável em jeito de curva contínua, função de Q/Q<sub>r</sub>, onde Q<sub>r</sub> é o caudal térmico de referência (caudal térmico nominal do aparelho a ser testado). Esse é o valor inscrito na chapa de características do aparelho (ou, no caso de protótipos, o valor projectado) e como tal é inserido pelo utilizador. Existe para isso um controlo na parte esquerda do painel. É aliás o único controlo para além dos botões e da escolha do tipo de gás. Desta feita, a escolha do tipo de gás apenas influencia os dados registados em relatório pelo software, não tendo influência directa na acção do programa.

Nesta parte esquerda do painel, começa a ser indicado o estado da válvula de controlo de caudal de gás, por razões semelhantes ao que acontece com a presença destes indicadores na página do rendimento.

Por baixo são indicados os valores instantâneos e actuais das concentrações de CO, CO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> (NO + NO<sub>2</sub>). Estes valores são lidos de analisadores de gases independentes existentes no laboratório.



**Figura 4-6 – analisador de gases (CO e CO<sub>2</sub>) do laboratório**

É ainda indicada a pressão actual do gás, como não podia deixar de ser, uma vez que este aumento de potência acima da nominal é imposto ao aparelho através da aplicação de sobrepressão do gás. Naturalmente é apresentado também o valor instantâneo do caudal térmico, assim como a sua relação com a nominal (abscissa do eixo).

Como esta parte ainda não foi implementada, ainda não foi decidido o método de actualização do gráfico, que eventualmente virá a ser manual, ponto a ponto. Nesta situação, o operador coloca o aparelho em determinado ponto de funcionamento, e consoante os dados apresentados no gráfico decide se aceita ou não o ponto. Os restantes poderão ser representados por interpolação (eventualmente linear) entre os pontos definidos. A primeira vez que este botão (DRAW Spot) for premido começa o ensaio, e o selector de painéis também será desactivado, tal como aconteceu no do caso do ensaio de rendimento, e pelas mesmas razões. Existe também o mesmo mecanismo de criação de relatório ou eliminação de dados (e consequente limpeza do gráfico), que define o fim do ensaio.

Um outro ensaio algo semelhante é o de desenho da curva W-R (water rate). Semelhante em termos de software e de aparência, mas com objectivos bastante diferentes.

Neste ensaio pretende-se analisar a performance do aparelho a testar. Isso é feito analisando o comportamento do aparelho quanto à diferença de temperatura que este é capaz de impor à água ( $\Delta T$ ) consoante a pressão e caudal da água.

De modo semelhante ao ensaio descrito anteriormente, é indicado o estado actual da válvula de controlo de caudal (de água). São também indicados os valores instantâneos das grandezas representadas no gráfico.

O método de desenho e validação dos pontos no gráfico também ainda não está definido, mas será idêntico ao do ensaio anterior, dada a similaridade das duas páginas do software.

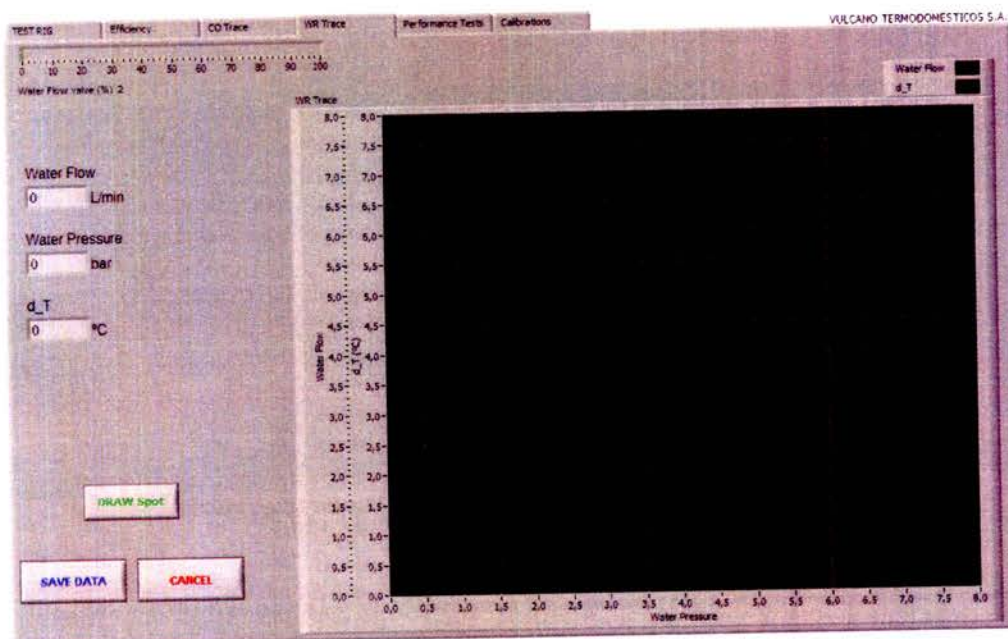


Figura 4-7 – painel do ensaio da curva W-R

Um outro ensaio menos frequente, mas talvez um dos mais exigentes em termos de programação é o ensaio de performance das válvulas de modulação de água/gás dos aparelhos.

Este ensaio consiste resumidamente em aplicar condições variadas de caudal e de pressão de água e gás, em instantes bem definidos, e analisar o comportamento transitório dos componentes citados no parágrafo anterior. Neste campo, pretende-se que o software seja ele próprio capaz de reconhecer e executar uma série de comandos programados passo a passo pelo utilizador.

Para cumprir isto, sugere-se a interface representada na Figura 4-8. A programação destes comandos efectua-se começando pela definição do instante temporal em que este ocorre. Uma vez que o objectivo é analisar transitórios, o tempo é um factor importante nestes ensaios. Assim, depois de definido o instante em que será executado o comando a ser definido, deve ser definido, no controlo ao lado, o tipo de comando, e a seguir o objecto sobre o qual o comando será executado. Este objecto é a válvula a abrir/fechar, ou a alterar o estado de abertura, no caso das válvulas de controlo de caudal. Se a alteração a efectuar for sobre as válvulas de controlo de caudal, aparecerá outro controlo onde será indicado o valor de abertura a impor à válvula (em %). O utilizador solicita então a adição desse passo no algoritmo.

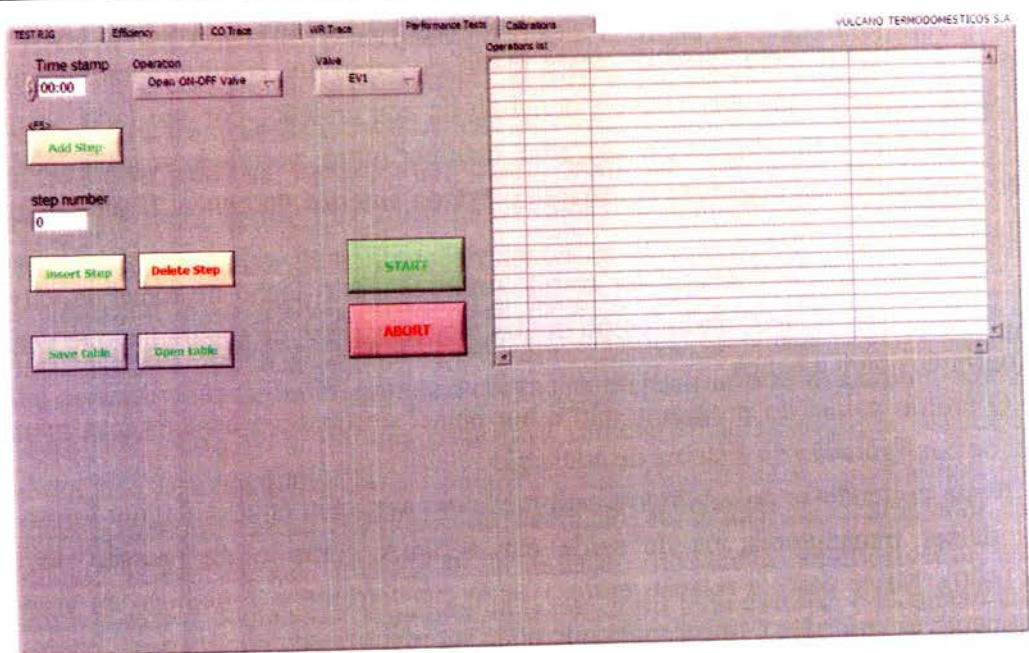


Figura 4-8 – painel do ensaio de performance

A lista de comandos criados será apresentada e actualizada na tabela mais à direita. Esta tabela conterá, por colunas: um número de comando – que define a ordem de execução e a própria ordenação na tabela; o *time stamp* – que define o instante de execução, a descrição da operação e ainda o objecto a ser alterado. Com isto será possível ao utilizador confirmar a sequência de comandos criados, e os instantes onde serão aplicados à realidade. Como o software por detrás desta interface ainda não está desenvolvido, não está ainda definido o modo de realce da próxima operação a executar, ou a última que foi executada. Há várias soluções possíveis: pode apresentar-se o tempo decorrido do actual ensaio, com o qual se poderá verificar que comando será executado de seguida e até qual foi o último executado; pode ser actualizada a tabela, tendo sempre o próximo comando a ser executado no topo da lista; ou pode ainda ser mostrado num indicador numérico qual o próximo passo, ou o último executado, segundo o número de sequência dos comandos existente na primeira coluna da tabela.

Além deste procedimento (normal), deverá ser possível inserir comandos no meio da tabela. Depois de definido o comando, em vez do utilizador premir *Add Step*, escolhe a linha da tabela onde este comando será inserido (através do número de sequência dos comandos, *Step number*) e pressiona *Insert Step*. De modo semelhante será possível seleccionar um *step number* existente na tabela e eliminá-lo através de *Delete Step*. Estas funcionalidades dão uma total flexibilidade na edição da tabela de comandos ou instruções.

Além disso, serão implementadas funcionalidades de armazenamento da tabela de instruções em ficheiro, assim como a possibilidade de abrir um ficheiro contendo uma série de instruções anteriormente guardado, e executá-lo novamente, sem ter de inserir todas as instruções de novo. Isto permitirá construir séries de instruções para ensaios específicos, e rapidamente carregá-los e executá-los.

Este ensaio tem um controlo de início (START) e outro de paragem (ABORT), que aqui é realçado pelo facto de neste modo poderem ser configurados comandos, cujas consequências não são visíveis aquando da sua criação. Por um lado porque é preciso conhecer bem a banca e o aparelho, mas por outro, porque essa acção pode ter ou não consequências negativas consoante o estado anterior da banca. É uma máquina de estados com memória.

Este botão ABORT deverá ter como consequência o fecho de todas as válvulas (quer de água quer de gás) assim como outros procedimentos de segurança que venham a ser definidos para a banca.

O último painel do programa não é um painel destinado a ensaios mas mais um painel de configuração do sistema de aquisição.

Nesta pretende-se possibilitar a calibração dos sensores cuja saída já é linear. São casos destes transdutores, os de saída em 4-20mA como o de pressão de água (PTX1400). Nesse caso, a relação entre a saída em corrente e a medição da grandeza nas respectivas unidades é linear, pelo que pode ser identificada por apenas 2 pontos.

A Figura 4-9 sugere o modo de introdução desses pontos.

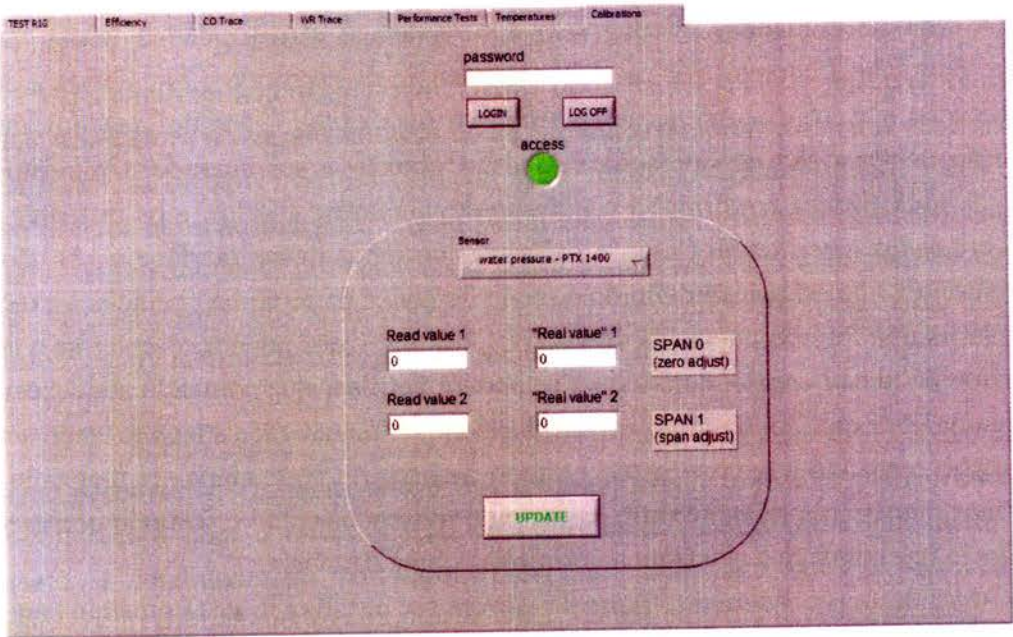


Figura 4-9 – painel de calibração dos sensores de saída linear

Também esta parte do software ainda não foi desenvolvida e será a última. Nesta apenas utilizadores autorizados poderão alterar dados, pelo que a interface começa por um sistema de autenticação baseado apenas em password. Mesmo havendo vários utilizadores com esta permissão, não é necessário haver configurações diferentes para cada um deles, não é necessário haver identificação do utilizador, apenas uma password ou código de acesso a estes campos, que por definição são sensíveis e podem alterar completamente a fiabilidade das medições da banca (pelo menos de algumas).

Após a autenticação, o utilizador poderá escolher o transdutor que pretende calibrar (estarão na lista todos os de saída linear), e perante isso indicar os dois pontos necessários à redefinição da característica desse transdutor. O utilizador autorizado fará então uma medição da variável em causa, com um transdutor de calibração da respectiva grandeza, após o qual identifica o valor lido pelo transdutor da banca e o lido realmente pelo transdutor de calibração e insere esses valores nos campos respectivos. Após confirmar esses dados, premindo o botão *UPDATE*. A acção deste botão no software consiste em enviar para o FP2000 estes valores ou outros já derivados destes, que lhe permitirá alterar internamente a curva característica desse transdutor. Após isso, as leituras em causa serão obtidas pela nova característica, pelo que a calibração do transdutor fica assim actualizada.

Também aqui haverá restrições de alteração do painel, se o utilizador estiver autenticado. Deste modo, previne-se a situação levantada anteriormente quando descritos os outros painéis do programa, mas por outro lado evita-se o esquecimento de terminação da sessão que por consequência evita a alteração incorrecta dos valores (críticos).

No final da operação, o utilizador deve logicamente sair da sessão através de *LOG OFF*.

Poderá ainda ser adicionado outro campo neste painel. Com o objectivo de melhor calcular a incerteza do ensaio no caso do rendimento, pode vir a ser útil configurar-se aqui a incerteza ou erro máximo com que cada transdutor está a operar. Estes dados seriam obtidos após calibração e viriam assim a substituir os dados dos fabricantes no cálculo da incerteza do rendimento sendo assim o valor indicado mais realista. Com os dados das *datasheets* dos transdutores obtém-se um valor majorado que pode ser bastante superior ao que se conseguiria garantir deste modo.

Este é então o aspecto do software, tanto da parte já desenvolvida como da que está por desenvolver. Embora não esteja definido como objectivo para o estágio o desenvolvimento nem a especificação de todos estes painéis (que constituem neste momento a totalidade do software), parece-me relevante que se demonstre a abrangência do software na sua totalidade e não apenas na parte já desenvolvida.

## 4.2. **Estrutura interna**

Na Figura 4-10 encontra-se representada de uma forma muito simplificada a estrutura do software a executar no computador da banca e que serve de interface ao utilizador.

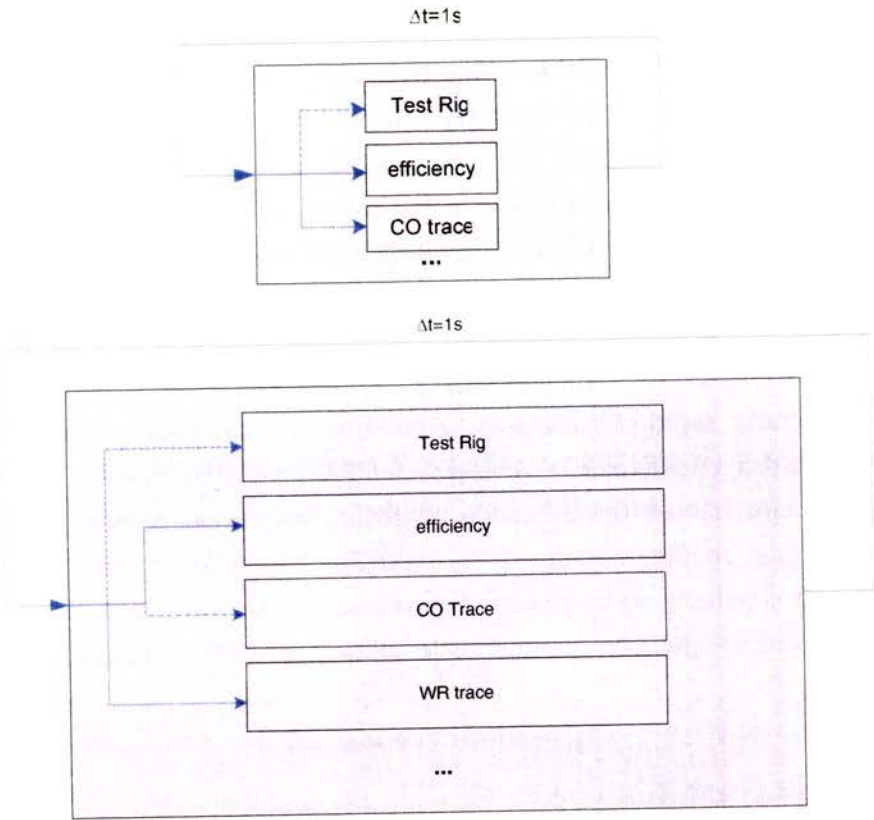


Figura 4-10 – estrutura interna do software de interface

Este divide-se em duas funções principais. Por um lado a aquisição de dados do módulo FP-2000 e por outro a interface com o utilizador propriamente dita assim como a realização dos cálculos relativos aos ensaios. A separação de funções com características muito diferentes como sugerido tem a vantagem destas poderem ser executadas em *threads* diferentes, melhorando a performance do software. Deste modo, como a leitura de dados do FP em princípio é ligeiramente mais lenta do que a execução do código de determinado ensaio, se o computador pedir dados ao FP2000, enquanto “espera” por eles, poderá executar código de ensaios, não tendo de ficar ociosamente aguardando a recepção dos dados.

As setas no interior dos diagramas têm tipos de traço diferentes para indicar que não ocorrem em simultâneo. De facto apenas uma das funções interiores é executada em cada iteração do ciclo temporizado, consoante a necessidade do software no momento (consoante o tipo de ensaio que se esteja a efectuar ou o painel que está a ser visualizado).

Os tempos de repetição destas funções têm a ver com o necessário à boa interactividade dos utilizadores com a banca. Com 1 segundo de repetição quer da leitura dos dados do FP2000 quer em termos de cálculo relativo a determinado ensaio teremos actualizações de dados na interface a cada segundo. É fácil alterar o tempo de actualização dos valores embora este vá ser configurado como constante a menos que de futuro seja necessária alguma dinâmica nesse sentido.

Então, consoante o painel que está a ser visualizado, são lidos os valores necessários do FP2000 pela função ou rotina mais à esquerda na Figura 4-10. De modo semelhante, só são tratados dados e efectuados cálculos na rotina mais à direita, consoante a necessidade do painel visualizado ou do ensaio a ser correntemente efectuado, e a uma cadência fixa. Esta parte do software tem ainda integrado o código gerador de relatório automático para os ensaios a efectuar. Dentro do possível será comum aos vários ensaios.

São definidas prioridades para cada uma destas partes do software. Neste caso a função de maior prioridade é a da interface com o utilizador (à direita na figura) de maneira a melhorar a experiência do utilizador no uso das bancas.

De modo semelhante, o software a executar no FP2000 mais relacionado com a aquisição de dados está também dividido em várias funções com prioridades de execução diferentes, como ilustrado na Figura 4-11.

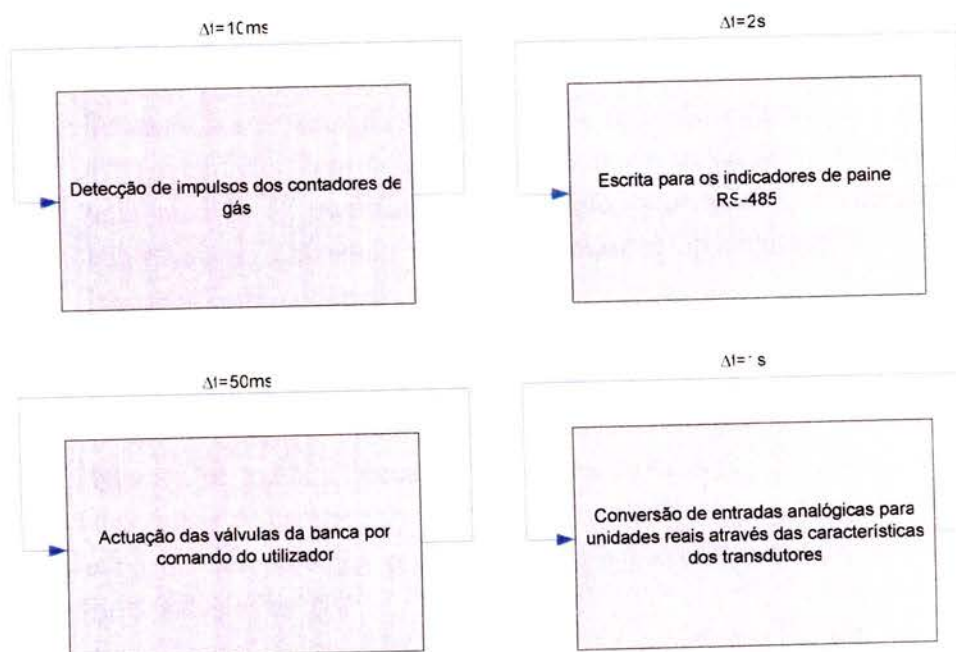


**Figura 4-11 – estrutura interna do software Real-Time**

Neste caso existem 4 funções principais: a detecção de impulsos dos contadores húmidos de gás; a actuação das válvulas por comando do utilizador; a escrita das principais variáveis para os indicadores de painel da banca; finalmente talvez a mais importante que é a conversão das entradas analógicas para valores reais nas unidades pretendidas.

Esta detecção de impulsos dos contadores poderia estar a ser feita por um módulo próprio de contagem, mas dada a frequência máxima existente no sinal, optou-se por fazer essa detecção desta forma, não havendo assim necessidade de adquirir um módulo dedicado. Esta é a rotina de maior prioridade.

De seguida e em sentido decrescente de prioridade de execução vem a função de controlo das válvulas da banca por comando do utilizador. Este tempo de ciclo de 50 ms

garante que o atraso desde o comando do utilizador um botão de controlo da banca até à activação da saída que controla a respectiva válvula não é superior a 50 ms. Este tempo parece perfeitamente razoável para a aplicação em causa, mas poderá vir a ser reduzido se se vier a mostrar demasiado alargado.

A rotina de conversão de valores para as escalas pretendidas é a de mais baixa prioridade. Tem um tempo de ciclo de 1 segundo, à semelhança do tempo de ciclo da função de leitura de dados por parte do computador da banca.

A rotina mais lenta é a de escrita para os indicadores de painel. Esta rotina tem prioridade de execução superior à de conversão de dados para que de novo a experiência do utilizador seja a melhor possível, e para evitar *timeout's* na comunicação com os indicadores de painel. O tempo de ciclo está definido em 2 segundos para facilitar a leitura dos indicadores. Ainda assim, se estes indicadores de painel passarem a ser utilizados em ensaios mais exigentes, este tempo poderá vir a ser alterado para 1 segundo, ficando assim com uma cadência máxima e igual à da conversão de sinais das entradas analógicas para unidades reais de ensaio à custa das características dos sensores.

## 5. Análise de propagação de erros

Como foi dito na introdução, pretende-se neste projecto não só desenvolver novas bancas de ensaio, mas também estudar a qualidade dos seus resultados. Esta informação é particularmente importante para o ensaio de rendimento, o mais exigente em termos de medição.

Para isso foi analisado o erro de cada transdutor envolvido em medições que influenciam o cálculo do rendimento separadamente. De seguida, foi estudada a influência de todos estes erros no erro final do cálculo do rendimento.

Foram avaliados dois factores de qualidade das bancas:

- Incerteza no rendimento – este cálculo permite-nos por um lado obter um majorante do erro cometido por estas bancas (factor característico da banca) e por outro saber como calcular a incerteza para cada ensaio de rendimento. Este segundo factor parece irrelevante, mas realmente não depende só dos erros absolutos máximos de cada transdutor (exactidão), mas também das condições próprias de cada ensaio. Com isto pretende-se informar o operador da banca do erro absoluto máximo que este poderá estar a cometer num determinado ensaio de rendimento, dando-lhe assim uma medida da qualidade desse ensaio (incerteza no rendimento). Este valor vai ser calculado para cada ensaio e apresentado no software de interface com o operador.
- Repetibilidade – este factor é mais uma característica global de qualidade de medição da banca em si e não de um determinado ensaio, enquanto que o anterior tem as duas facetas. Para o cálculo desta característica das bancas foi usada a incerteza dos transdutores, que é indicada na maioria das folhas de características separadamente do erro absoluto.

Para melhor se compreender o que se está a apresentar neste capítulo, vejam-se algumas definições destes termos:

A exactidão (de um instrumento de medição) é a aptidão que este tem para dar indicações próximas do verdadeiro valor da grandeza medida. O mesmo é aplicável a transdutores. Esta grandeza ou característica dá-nos uma relação de qualidade do instrumento indicando-nos o erro absoluto máximo que este comete. Este erro absoluto máximo é portanto o erro máximo que o transdutor comete, em relação ao verdadeiro valor da grandeza a medir.

Com a análise deste erro para cada transdutor consegue-se determinar o erro máximo no cálculo do rendimento, que seria nulo se todos os erros de medição de todas as grandezas envolvidas fossem nulos (situação ideal). De facto, sendo o rendimento uma variável indirecta e cujo cálculo é feito com base noutras medições, se estas têm erros (o que é inevitável já que não existem transdutores ideais), o rendimento calculado também não será o verdadeiro. É este erro que se pretende calcular aqui, cujo método de cálculo vai ser apresentado de seguida.

### 5.1. O erro absoluto no rendimento

Antes de se começar a pensar em erros, o primeiro passo será perceber de que variáveis depende o rendimento. Começemos por definir o cálculo do rendimento de um esquentador:

Cálculo da potência (definição das variáveis em *Lista de abreviaturas e símbolos*):

$$P = (T_f - T_i) \times Q_a \times \frac{60}{860} \tag{Eq. 5.1}$$

Onde  $\frac{60}{860}$  é uma constante que transforma a potência obtida, P (em Kcal/min) para KW, unidade do sistema internacional.

Cálculo do caudal térmico:

$$Q_c = 0.27(7) \times H_i \times V_g = 0.27(7) \times H_i \times V_{gm} \sqrt{\left(\frac{a + p_g}{a}\right) \times \left(\frac{p_a + p_g}{a}\right) \times \left(\frac{b}{c + T_g}\right) \times \frac{d}{dr}}$$

(Eq. 5.2)

Esta expressão calcula o caudal térmico absorvido corrigido para as condições do ensaio ( $Q_c$ ). Por esse motivo aparecem na equação constantes de condições de referência. Neste sentido,  $a$  é a pressão atmosférica de referência,  $b$  representa a temperatura ambiente de referência para o gás (15°C) e  $c$  a temperatura de 0°C (relativas aos respectivos valores em Kelvin):

$$\begin{aligned} a &= 1013.25 \\ b &= 288.15 \\ c &= 273.15 \end{aligned}$$

Para o ensaio de rendimento, devem ser usados contadores húmidos de gás, sendo então necessária uma correcção da densidade do gás, efeito desse contador. Nesse caso,  $d$  deve ser substituído por  $d_h$ :

$$d_h = \frac{d(p_a + p_g - p_s) + 0.622 \times p_s}{p_a + p_g} \text{ onde } p_s \text{ é a pressão de saturação do gás (tabelado para}$$

valores de temperatura do gás, sendo obtido por interpolação linear, e com erro assumido nulo). Esta correcção introduz uma alteração muito subtil na densidade do gás, sendo portanto o factor  $d/d_r$ , muito próximo de 1.

O rendimento é definido à custa destas duas grandezas, do seguinte modo:

$$\eta = \frac{P}{Q_c} \tag{Eq. 5.3}$$

Com o objectivo de ser analisado o erro máximo cometido no rendimento ao efectuar os respectivos ensaios na banca, foram analisados os valores de exactidão

indicados nas *datasheets* dos transdutores independentemente e depois inferidos esses valores no cálculo do rendimento. Com isto consegue-se definir a “exactidão de medida de rendimento” da banca.

Os dados recolhidos foram os seguintes:

**Tabela 5-1 – erro absoluto máximo dos transdutores a usar nas bancas**

| Transdutor                 | Variável             | Mínimo leitura             | Máximo leitura | Erro absoluto max. | unidades       |
|----------------------------|----------------------|----------------------------|----------------|--------------------|----------------|
| PMP 4070                   | Pressão do gás       | 20                         | 50             | 0,04% FS           | mbar           |
| Ptx 1400 (800 – 1200 mbar) | Pressão atmosférica  | 990                        | 1030           | 0,15% FS           | mbar           |
| Rotamass                   | Caudal de água       | 2                          | 40             | 0.1% R             | L/min          |
| Contador húmido de gás     | Volume de gás        | Depende do tempo de ensaio |                | 0,5% R             | m <sup>3</sup> |
| Termopar                   | Temperatura ambiente | 0                          | 45             | 0.25               | °C             |
|                            | Gás                  | 15                         | 25             | 0.25               | °C             |
|                            | Gases de combustão   | 50                         | 500            | 0.25               | °C             |
| PT100                      | Temperaturas de água | 10                         | 90             | 0.1                | °C             |

Nesta tabela não está indicada a exactidão do caudalímetro de gás porque este não é usado em ensaios de rendimento.

Os valores de mínimo e máximo de leitura não representam o mínimo e máximo que o transdutor é capaz de medir mas sim o mínimo e máximo que se prevê venha a ser medido por estes na sua utilização nas bancas de ensaio. Na 5ª coluna da tabela, onde se diz #%FS (full scale) pretende-se afirmar que esse transdutor tem um erro máximo de #% relativo ao valor de fim de escala (valor máximo que o transdutor é capaz de medir). De modo semelhante, quando se diz que o erro absoluto máximo do transdutor é #%R (reading) pretende-se informar que é um erro máximo de #% relativamente ao valor lido pelo transdutor.

Com base nestes valores, por fim podemos inferir o erro absoluto máximo cometido no cálculo do rendimento.

Com esse objectivo, foram introduzidos em Excel todos estes dados. Por um lado calcula-se o rendimento numa zona dessa folha, assumidamente sem erro e ao lado, calcula-se um segundo rendimento, com o erro máximo de cada medição adicionado ou subtraído à respectiva variável, consoante o pior caso. Com isto obtêm-se 2 valores diferentes de rendimento, um supostamente verdadeiro, e outro que será o calculado com base nos valores medidos pelos transdutores (com erro máximo). A diferença entre eles representa o efeito do erro máximo das variáveis medidas no rendimento final. De

seguida, utilizando o *solver* do Excel, tenta-se maximizar a incerteza do rendimento (a diferença entre os dois rendimentos calculados) por variação das condições de ensaio.

Também a variação do rendimento foi limitada. Normalmente este rendimento situa-se entre os 70% e 90%, mas de modo a explorar extremos, os limites da célula do rendimento foram explorados de 0 a 100% (imposto naturalmente pela própria definição de rendimento).

Dado que  $d/d_r$  é um factor muito próximo de 1, esta correcção de densidade foi inicialmente ignorada no cálculo do erro absoluto máximo no rendimento.

Este factor teria previsivelmente uma influência muito reduzida no erro absoluto máximo do rendimento, em relação às outras variáveis. Ainda assim, esta previsibilidade foi testada e confirmada, como documentado mais adiante.

Foi então calculado, do modo descrito, a incerteza no cálculo do rendimento pela banca. O resultado final foi uma incerteza de  $\pm 1,712 \%$ , nas seguintes condições de ensaio:

**Tabela 5-2 – condições de ensaio onde foi obtido o erro máximo no rendimento.**

|          |        |
|----------|--------|
| Ti       | 30     |
| Tf       | 40     |
| Qa       | 40     |
| Vgm - 5L | 2,9795 |
| pa       | 990    |
| pg       | 20     |
| Tg       | 25     |

Estas condições de ensaio levam a um rendimento (inatingível de 100%). Dado que foram exploradas todas as combinações de entradas com o rendimento situado entre 0 e 100%, pode-se afirmar com confiança que esta banca será capaz de realizar ensaios de rendimento com uma incerteza garantidamente abaixo de 1,712%, satisfazendo assim os ensaios mais exigentes a efectuar nestas bancas com requisito de medição de rendimento com incerteza abaixo dos 2%.

De seguida, foi analisado o erro na densidade corrigida de maneira a confirmar a previsibilidade da pouca influência da correcção de densidade no cálculo do rendimento. Nas condições do resultado anterior, considerando especificamente os erros de  $p_a$  e  $p_g$ . Obteve-se o seguinte resultado:

- Densidade de referência do gás G20: 0.555 (norma EN26);
- Densidade corrigida (condições reais de  $p_a$  e  $p_g$ ): 0.557100;
- Densidade corrigida considerando condições de erro de  $p_a$  e  $p_g$ : 0.557106

Sendo portanto a alteração do valor da densidade corrigida:  $6 \cdot 10^{-6} \text{ (kg/m}^3\text{)}$ . Este valor é de facto desprezável, até por comparação da sua ordem de grandeza com o número de algarismos de precisão na densidade proposta pela norma EN 26 [7]: apenas 3 casas decimais.

Sendo assim, confirma-se desprezável a inclusão do erro da correcção da densidade no cálculo da incerteza no rendimento, pelo que para este efeito não foi

considerado. Também por isto é habitual considerar-se unitário este factor nos ensaios de rendimento menos importantes.

Pode-se assim afirmar com segurança que estas novas bancas de ensaio estão de acordo com as exigências da norma NP EN 26 [7], garantindo em qualquer situação de ensaio uma incerteza inferior a 2% no rendimento, sendo essa incerteza máxima de 1.712%.

A incerteza calculada aqui é apenas um majorante que garante a conformidade da banca com a EN 26 em qualquer situação de ensaio realizável. Ainda assim, com os transdutores calibrados esperam-se erros bastante inferiores a 1%. De facto, se se assumir que para cada transdutor, o erro após calibração é metade do erro máximo que este comete (será após calibração eventualmente mais baixo), já só se obtém uma incerteza no rendimento de 0.86%.

## **5.2. A repetibilidade da banca**

A repetibilidade caracteriza a aptidão de um instrumento de medição para dar, em condições de utilização definidas, respostas muito próximas quando se aplica repetidamente a mesma mensuranda. Caracteriza portanto, a consistência dos valores indicados por um instrumento, a capacidade que este tem para indicar o mesmo valor, para as mesmas condições da mensuranda, em instantes de tempo diferentes.

Como não podia deixar de ser, a repetibilidade da banca relaciona-se com a repetibilidade dos instrumentos. Dado que nem todos os instrumentos de medida a usar na banca têm indicação discriminada da sua repetibilidade, foi necessário utilizar outros métodos e outras características dos transdutores. A característica que mais se adequa a esta análise é sem dúvida a incerteza de medição, que, essa sim, vem discriminada em quase todos os instrumentos, e independentemente da sua exactidão (utilizada na análise anterior de erro máximo absoluto). Esta incerteza indicada nas folhas de dados dos transdutores não engloba o erro absoluto até porque acontece de ser menor do que o erro máximo absoluto. Assumi assim esta incerteza como sendo uma incerteza apenas relacionada com a repetibilidade do transdutor.

Como a incerteza tem um sentido normalmente mais lato e engloba o erro absoluto, vai daqui para a frente ser chamada a esta característica da banca apenas repetibilidade. De facto a incerteza, tal como o nome indica, reflecte o grau de desconhecimento do valor real da mensuranda. Ora, o erro absoluto mencionado na secção anterior é um máximo de erro, ao qual ainda deve ser adicionada a repetibilidade e outros desvios de medição de um instrumento/transdutor para se obter a incerteza desse transdutor.

Assim sendo, foi feita uma análise, desta vez mais teórica em torno da incerteza dos transdutores. Não foi calculado o resultado apenas com análise combinatória simples, como no caso anterior. Como a relação da incerteza de uma variável dependente (como o rendimento) com variáveis independentes (as medidas) não é tão explícita como para o erro absoluto, foi necessário algum cálculo adicional. Esse cálculo

envolveu a dedução da expressão da incerteza do rendimento, com base na incerteza das variáveis de medida.

$$u_c(\eta) = \left(\frac{1}{Q}\right)^2 u_c^2(P) + \left(-\frac{P}{Q^2}\right)^2 u_c^2(Q)$$

Esta dedução com base na *lei fundamental de propagação da incerteza* é apresentada em detalhe no anexo A.

Obtida então a equação da repetibilidade do rendimento bastava agora maximizar este valor, variando as condições de ensaio e à semelhança do que foi feito para o erro absoluto, para obter um majorante de repetibilidade que caracterize a banca de um modo geral. Mais uma vez, este valor é referido ao cálculo do rendimento, e será portanto a repetibilidade da banca no cálculo do rendimento em vez da repetibilidade da banca nas medições que efectua (que seria igual à pior repetibilidade dos transdutores aplicados).

Este cálculo foi feito com a ajuda da ferramenta *Solver* do Microsoft™ Excel®, onde se maximizou o valor de repetibilidade. Esta opção tornou-se muito mais rápida do que a eventual alternativa (com programa desenvolvido em Scilab). Na situação anterior esta técnica não podia ter sido utilizada, já que a o problema anterior era combinatório “de duas dimensões”, uma para as condições do ensaio e outra para os erros absolutos (positivos ou negativos para cada variável), por isto não foi possível utilizar a ferramenta agora usada.

Dos cálculos demonstrados no anexo A e da variação combinatória (mais uma vez) das condições de ensaio, obtém-se o majorante da repetibilidade da banca no cálculo do rendimento:

Obteve-se um resultado de 0.0092. Pode-se assim dizer que a banca a construir terá uma repetibilidade tão boa ou melhor do que 0,01 no cálculo do rendimento, sendo esta expressa na mesma unidade (%).

## **6. Conclusões**

### **6.1. Situação Actual**

De facto, o projecto completo de desenvolvimento de bancas de ensaio é mais complexo e alargado do que a parte levada a cabo neste estágio curricular. Por isto, à data de entrega deste relatório e inclusive do final do estágio curricular, o desenvolvimento das bancas não está completo. Aliás, nunca estará, até pelo que se disse atrás, que por muito bom que seja determinada ferramenta ou produto, este pode sempre ser melhorado.

Foi assim feito durante este estágio tudo quanto possível, e cumpridos os objectivos do estágio, que são naturalmente diferentes dos objectivos do desenvolvimento destas bancas, do ponto de vista da empresa.

Quanto à especificação de materiais, esta ficou completa. Ficou claramente definido que tipo e quais os transdutores a utilizar, assim como toda a arquitectura de aquisição e tratamento de dados. Mais, ficaram totalmente especificados os circuitos de gás e água das bancas. O mesmo aconteceu com o modelo físico (de construção). As bancas estão aliás à altura deste final de estágio ainda a serem construídas, segundo o modelo definido. Algum material constituinte ainda não foi sequer entregue, em parte devido à sua especificidade e qualidade, que os torna disponíveis com prazos alargados e apenas por encomenda prévia.

Foi completado o estudo de qualidade das bancas em termos das repercussões da sua capacidade de medida no cálculo do rendimento, concluindo-se nesse campo que esta respeita completamente os objectivos definidos no erro máximo pretendido para o ensaio de rendimento.

Quanto ao software de interface, fica pronto em termos do que estava definido para o estágio: o ensaio de rendimento. O ensaio manual de rendimento fica pronto a tempo deste estágio curricular, e ainda eventualmente o mesmo ensaio efectuado de forma automática pela banca. Obviamente este desenvolvimento no software só será validado aquando da finalização da construção da banca. Ainda assim, este foi desenvolvido a título de especificação e exemplo, por simulação de valores medidos, conforme indicado já anteriormente.

Há outros ensaios que foram propostos pelos operadores das bancas actuais, a pedido meu, mas que não será possível desenvolver nesta fase. Ainda assim, ficam registados como evolução futura destas bancas, como está descrito na secção seguinte. A possibilidade de se realizarem estes ensaios independentes por controlo apenas do software não tinha sequer sido prevista, mas dada a sua utilidade para tornar a banca o mais completa e flexível possível, torna-se lógico que existam deste modo, pelo que são assim propostos como evolução no final deste estágio curricular.

## 6.2. *Evolução Futura*

Não foi apenas desenvolvido o que foi possível no tempo deste estágio curricular, mas também foi preparada a evolução futura do resultado.

Por um lado, a estrutura ficou preparada para receber de futuro mais um circuito hidráulico. O circuito do aquecimento central, e que permitirá à Vulcano dentro de pouco tempo analisar o rendimento das caldeiras que produz, com grande exactidão e com o mesmo conforto de medida e de interface que esta banca lhes proporcionará para os ensaios em esquentadores. Naturalmente este tipo de ensaio já é efectuado na Vulcano, mas estas novas bancas permitirão obter resultados mais fiáveis, e com uma interface mais amigável.

Por outro, ficaram já definidos alguns ensaios complementares, a nível de software, indicados no capítulo 5. e descritos no capítulo 4. São estes: o ensaio de emissão de CO; a análise da curva W-R e testes de performance. Mais, é sugerido um método de calibração eficiente dos sensores de saída linear (já com condicionamento de sinal integrado).

Este é realmente o caminho de maior flexibilidade no crescimento de funcionalidades, e que é possível graças à arquitectura implementada.

Este caminho previsto no desenvolvimento destas bancas permitirá à Vulcano ter dentro de pouco tempo uma única ferramenta capaz de efectuar uma larga panóplia de ensaios, tanto a caldeiras como a esquentadores, sendo os resultados comprovadamente fiáveis.

Importa ainda referir que este desenvolvimento exige a realização de documentação adequada (manuais), nomeadamente em termos de software e da sua correcta utilização, mas também em termos de utilização geral da banca. No entanto esta documentação só deverá ser construída quando o software estiver completo e a banca construída.

### 6.3. **Considerações finais**

A parte do projecto que englobou a recolha e correcta especificação dos requisitos de desenvolvimento destas novas bancas foi a que trouxe maiores dificuldades. Por um lado porque a responsabilidade desses requisitos é inteiramente minha, e o desenvolvimento das bancas implica custos para a empresa, pelo que esta especificação tem de ser feita com cuidado e responsabilidade técnica. Por outro, nem sempre é fácil perceber o que as pessoas que são o alvo do que estamos a desenvolver pretendem do sistema e nem sempre estas sabem exactamente o que pretendem.

Outra fase de desenvolvimento importante é a especificação e desenvolvimento da interface com o utilizador. Esta é de facto a janela que este tem para todo o sistema de medição e todo o hardware da banca. É o que o utilizador da banca vai ver todos os dias, e como tal deve ser amigável e simples ou o utilizador vai sentir a tarefa de trabalhar com a banca como insípida.

A capacidade das bancas efectuarem os ensaios de forma automática é algo inovador. De facto, penso que devemos aproveitar as possibilidades que a tecnologia nos permite actualmente de maneira a melhorar o nível de vida em termos de trabalho de quem trabalha com este tipo de equipamento. Aliás, penso que devemos aproveitar estas novas capacidades sempre que possível e viável. É de facto um modo de colocar as *máquinas* a trabalhar para os humanos e não apenas com eles.

O estudo de propagação de erros apresentado neste relatório foi relativamente importante no projecto. Não só a nível de tempo consumido, mas também porque trouxe consistência ao trabalho de especificação feito anteriormente e dá confiança aos colaboradores do laboratório em termos dos resultados que produz.

O cariz deste projecto permitiu-me fazer desenvolvimento desde o levantamento de requisitos, passando pela especificação dos mesmos e culminando com a implementação. Até agora e na faculdade, apenas tinha participado nestas tarefas separadamente. Foi por isso necessário conjugar conhecimento colhido ao longo do curso, através de várias disciplinas. Mais importante que isso, apliquei com sucesso alguns conhecimentos adquiridos na licenciatura.

Além disso ainda adquiri novos conhecimentos. O projecto em si englobava a escolha de transdutores para aplicação e acredito que fiquei possuidor de algum *know-how* neste tipo de escolhas. Isso parece-me importante num engenheiro que faz desenvolvimento de novos produtos/ferramentas.

Um tema que não é abordado na nossa licenciatura e que representou de certo modo um desafio interessante foi o dimensionamento físico da banca. Nesse campo, foi bastante importante a informação dada pelos colaboradores do laboratório de desenvolvimento da Vulcano em reuniões na empresa, marcadas por mim próprio. Esta autonomia na utilização de recursos da empresa foi também algo novo e gratificante do ponto de vista de experiências pelas quais ainda não tinha passado a este nível.

Quanto ao tempo de desenvolvimento, compreendo agora no final do projecto que não era possível efectuar tudo o que foi pensado inicialmente e presente no planeamento de tarefas em tempo de estágio curricular. Por um lado pelas burocracias que existem nas empresas e que dificultam ou atrasam a aquisição de materiais. Por outro lado existem grandes tempos de entrega desses materiais dada a sua especificidade. Estes factores conjugados tornam os prazos previstos à partida irrealizáveis.

Esta foi também a minha primeira experiência numa empresa de tal dimensão como a Vulcano. Também neste campo aprendi algumas coisas novas e ganhei alguma percepção de como acontecem as coisas no interior das empresas. Penso que também isso é importante, numa altura em que estamos a muito pouco tempo de entrar no mercado de trabalho.

Estas conclusões são maioritariamente relativas ao estágio em si e às experiências vividas e não as conclusões deste projecto de desenvolvimento. Essas apenas poderão ser inferidas após a conclusão de todo o projecto, e consoante o seu comportamento geral e a experiência inicial de utilização.

Resta dizer por fim que o desenvolvimento destas bancas não pára aqui, como foi indicado no capítulo 6.2 ainda há um caminho a percorrer, principalmente do ponto de vista de implementação e finalização do software. Embora existam requisitos bem definidos que permitiriam já (e talvez com um pouco mais de documentação) a qualquer outro engenheiro acabar o projecto, esse engenheiro serei eu mesmo, pelo que a continuação do projecto está assegurada.

## **Lista de Referências**

### ***Documentos internos***

- [1] – Bosch Facts & Figures – 27/04/2006
- [2] – Brochura de Apresentação da Vulcano, 2006

### ***Bibliografia***

- [3] – Aurélio Campilho, “Métodos e Técnicas de medição”, FEUP edições, 2000. ISBN: 972-752-042-1.
- [4] – Alan S. Morris, “Principles of Measurement and Instrumentation”, Prentice Hall, 2<sup>nd</sup> edition, 1993. ISBN:0-13-489709-9
- [5] – Richard W. Miller, “Flow Measurement Engineering Handbook”, 1996. ISBN: 0-07-042366-0
- [6] – Roger C. Baker, “An Introductory Guide to Flow Measurement “, 1989. ISBN: 0-85298-670-X

### ***Normas***

- [7] – NP EN 26: “Aparelhos de produção instantânea de água quente para aplicações sanitárias equipados com queimadores atmosféricos que utilizam combustíveis gasosos”
- [8] – NP EN 161: “automatic shut-off valves for gas burners and gas appliances”
- [9] – Directiva ATEX – Directive 94/9/EC of the European Parliament and the council of 23 March 1994, Official Journal of the European Communities.

## **ANEXO A**

### **Demonstração da equação de cálculo da repetibilidade da banca no cálculo do rendimento:**

#### Lei de propagação da incerteza:

Dada uma função  $y = f(x_i)$ , onde  $x_i$  são as grandezas a medir (com determinada incerteza,  $u(x_i)$ ), a incerteza na grandeza ou variável dependente ( $y$ ) é dada por:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} u(x_i, x_j)$$

(eq.A.1)

Na equação A.1:

$$u(x_i) = S(\bar{x}_i) = \frac{S(x_{ik})}{\sqrt{N}},$$

onde  $S(x_{ik})$  é o desvio-padrão experimental de  $N$  observações (onde  $N$  é o número de itens de índice 'k'. o índice 'i' representa a variável independente me causa);

$u(x_i, x_j)$  é a covariância estimada, associada a  $x_i$  e  $x_j$ .

Resta definir  $y$ ,  $x_i$  e a função que os relaciona.

Os vários  $x_i$  são as variáveis de medida que entram na equação de cálculo do rendimento:

- $Q$  – Caudal térmico obtido (KW);
- $P$  – potência obtida do aparelho (KW);
- $T_f$  – temperatura final (à saída do aparelho) da água (°C);
- $T_i$  – temperatura inicial (à entrada do aparelho) da água(°C);
- $T_g$  – temperatura do gás (°C);
- $Q_a$  – Caudal mássico de água médio durante o ensaio (Kg/min ~ L/min);
- $V_g$  – Caudal volumétrico de gás, nas condições de referência (1013.25 mbar de pressão atmosférica e 15°C de temperatura do gás);
- $V_{gm}$  – caudal volumétrico de gás medido, nas condições reais (m<sup>3</sup>/h);
- $p_g$  – pressão do gás (mbar);
- $p_a$  – pressão atmosférica (mbar);
- $H_i$  – poder calorífico inferior do gás consumido – constante para determinado tipo de gás e de incerteza assumidamente nula (Kcal/m<sup>3</sup>)

Cálculo da potência:

$$P = P' \times \frac{60}{860}, \text{ onde } P' = (T_f - T_i) \times Q_a \quad (\text{eq. A.2})$$

Cálculo do caudal térmico:

$$Q = 0.27(7) \times H_i \times V_g = 0.27(7) \times H_i \times V_{gm} \sqrt{\left(\frac{a + p_g}{a}\right) \times \left(\frac{p_a + p_g}{a}\right) \times \left(\frac{b}{c + T_g}\right) \times \frac{d}{dr}}$$

$a, b$  e  $c$  são constantes:

- $a = 1013.25$
- $b = 288.15$
- $c = 273.15$

$$\frac{d}{dr} \cong 1$$

Foi visto já anteriormente e no corpo do documento que a influência da correcção de densidade no erro do rendimento é muito baixa pelo que não foi tida em conta aqui para simplificação de cálculo.

O rendimento é então definido à custa das duas grandezas anteriores, do seguinte modo:

$$\eta = \frac{P}{Q} \quad (\text{eq.A.3})$$

Assim sendo, primeiro vai ser calculado o quadrado da incerteza em  $P$  e em  $Q$  ( $u_c^2(P)$  e  $u_c^2(Q)$ ), e depois inferida pela mesma lei de propagação da incerteza, a incerteza total em  $\eta$ , afinal o rendimento é ele próprio função destas duas variáveis. Conhecendo a incerteza nas duas, é possível usar de novo a lei de propagação da incerteza, desta vez aplicada à equação A.3.

#### Cálculo de $u_c^2(P)$

$$\frac{\partial P'}{\partial T_f} = Q_a$$

$$\frac{\partial P'}{\partial T_i} = -Q_a$$

$$\frac{\partial P'}{\partial Q_a} = (T_f - T_i)$$

Da lei de propagação da incerteza:

$$u_c^2(P') = u_{c1}^2(P') + u_{c2}^2(P') \quad \text{onde:}$$

$$u_{c1}^2(P') = \left(\frac{\partial P'}{\partial T_f}\right)^2 u^2(T_f) + \left(\frac{\partial P'}{\partial T_i}\right)^2 u^2(T_i) + \left(\frac{\partial P'}{\partial Q_a}\right)^2 u^2(Q_a)$$

$$u_{c2}^2(P') = 2 \times \left[ \frac{\partial P'}{\partial T_f} \frac{\partial P'}{\partial T_i} u(T_f, T_i) + \frac{\partial P'}{\partial T_f} \frac{\partial P'}{\partial Q_a} u(T_f, Q_a) + \frac{\partial P'}{\partial T_i} \frac{\partial P'}{\partial Q_a} u(T_i, Q_a) \right]$$

Aplicando agora a fórmula anterior à fórmula A.2 (fórmula da potência), vem:

$$u_c^2(P) = \left( \frac{\partial P}{\partial P'} \right)^2 u_c^2(P') = \left( \frac{60}{860} \right)^2 u_c^2(P') = \left( \frac{60}{860} \right)^2 (u_{c1}^2(P') + u_{c2}^2(P'))$$

(eq.A.4)

Cálculo de  $u_c^2(Q)$

$$\frac{\partial V}{\partial V_{gm}} = \sqrt{\frac{a + p_g}{a} + \frac{p_a + p_g}{a} + \frac{b}{c + t_g}}$$

$$\frac{\partial V_g}{\partial p_g} = \frac{1}{2} V_{gm} \left( \frac{b}{c + t_g} \right)^{\frac{1}{2}} \left( \frac{1}{a} \right)^{\frac{1}{2}} ((a + p_g)(p_a + p_g))^{-\frac{1}{2}} (a + p_a + 2p_g)$$

$$\frac{\partial V_g}{\partial p_a} = V_{gm} \left( \frac{a + p_g}{a} \right)^{\frac{1}{2}} \left( \frac{b}{c + t_g} \right)^{\frac{1}{2}} \left( \frac{1}{a} \right)^{\frac{1}{2}} \times \frac{1}{2} (p_a + p_g)^{-\frac{1}{2}}$$

$$\frac{\partial V_g}{\partial T_g} = V_{gm} \left( \frac{a + p_g}{a} \right)^{\frac{1}{2}} \left( \frac{p_a + p_g}{a} \right)^{\frac{1}{2}} \times \frac{1}{2} \left( \frac{c + T_g}{b} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{-b}{(c + T_g)^2}$$

Analogamente, pela equação da lei da propagação da incerteza:

$$u_c^2(V_g) = u_{c1}^2(V_g) + u_{c2}^2(V_g)$$

onde

$$u_{c1}^2(V_g) = \left( \frac{\partial V_g}{\partial V_{gm}} \right)^2 u_c^2(V_{gm}) + \left( \frac{\partial V_g}{\partial p_g} \right)^2 u_c^2(p_g) + \left( \frac{\partial V_g}{\partial p_a} \right)^2 u_c^2(p_a) + \left( \frac{\partial V_g}{\partial T_g} \right)^2 u_c^2(T_g)$$

$$u_{c2}^2(V_g) = 2 \times \left[ \frac{\partial V_g}{\partial V_{gm}} \frac{\partial V_g}{\partial p_g} u_c(V_{gm}, p_g) + \frac{\partial V_g}{\partial V_{gm}} \frac{\partial V_g}{\partial p_a} u_c(V_{gm}, p_a) + \frac{\partial V_g}{\partial V_{gm}} \frac{\partial V_g}{\partial T_g} u_c(V_{gm}, T_g) + \right. \\ \left. + \frac{\partial V_g}{\partial p_g} \frac{\partial V_g}{\partial p_a} u_c(p_g, p_a) + \frac{\partial V_g}{\partial p_g} \frac{\partial V_g}{\partial T_g} u_c(p_g, T_g) + \frac{\partial V_g}{\partial p_a} \frac{\partial V_g}{\partial T_g} u_c(p_a, T_g) \right]$$

e, à semelhança do que foi feito para a potência:

$$u_c^2(Q) = (0.277(7)H_i)^2 u_c^2(V_g)$$

(eq.A.5)

Conjugando as equações A.4 e A.5, e aplicando de novo a lei fundamental de propagação da incerteza a A.3, obtemos a equação final da incerteza no rendimento, através do seguinte cálculo:

$$u_c^2(\eta) = \left( \frac{d\eta}{dp} \right)^2 u_c^2(p) + \left( \frac{d\eta}{dQ} \right)^2 u_c^2(Q)$$

(eq.A.6)

$$u_c(\eta) = \left(\frac{1}{Q}\right)^2 u_c^2(P) + \left(-\frac{P}{Q^2}\right)^2 u_c^2(Q)$$

(eq.A.7)

Na equação A.7,  $u_c^2(P)$  é a equação A.4 e  $u_c^2(Q)$  é a equação A.5. Estando assim definido todo o formulário de cálculo da incerteza do rendimento, falta calcular as incertezas individuais de cada variável independente e as incertezas combinadas, assim como o resultado das derivadas.

As incertezas independentes foram calculadas ou adquiridas directamente dos certificados de calibração do respectivo transdutor. Foi já dito no capítulo 5. que esta incerteza apenas se refere a erros de histerese e repetibilidade dos instrumentos, não englobando o erro absoluto destes como seria se fosse seguida a definição pura de incerteza. Deste modo, o resultado final desta análise será a repetibilidade da banca no valor de rendimento calculado e não o verdadeiro valor da incerteza.

Dado que o material para as novas bancas de ensaio ainda não foi entregue à altura deste estudo, estes dados foram obtidos, sempre que possível, através de transdutores idênticos existentes noutras zonas da fábrica, caso dos termopares e das PT100. Para alguns transdutores (os adquiridos), a incerteza foi obtida (por aproximação) através das *datasheets* respectivas.

Todos estes dados foram então introduzidos numa folha excell, como objectivo de se calcular um majorante da incerteza do rendimento com a ferramenta *solver*.

Incertezas independentes, para cada variável de medida

| Transdutor      | Incerteza (variável) | Valor     | unidades |
|-----------------|----------------------|-----------|----------|
| PMP 4070        | $u(pg)$              | 1.535E-04 | mbar     |
| PTX 1400        | $u(pa)$              | 3.953E-03 | mbar     |
| Rotamass        | $u(Qa)$              | 4.382E-03 | L/min    |
| contador húmido | $u(Vgm)$             | 1.349E-05 | m3/h     |
| Termopar        | $u(Tg)$              | 1.118E-01 | °C       |
| PT100           | $u(Ti)$              | 4.472E-02 | °C       |
| PT100           | $u(Tf)$              | 4.472E-02 | °C       |

Como se pretende obter um majorante para a incerteza do rendimento, as incertezas independentes estimadas também foram estimadas como majorantes. As incertezas em temperatura não são conhecidas directamente. Deste modo, usei várias amostras (N=6) com o erro máximo definido para este tipo de transdutores (como se em todas elas fosse cometido o erro máximo). Esses erros máximos foram assumidos positivos para metade das amostras e negativos para os restantes, de modo a maximizar a incerteza dessa medição, segundo:

$$u(x_i) = S(\overline{x_i}) = \frac{S(x_{ik})}{\sqrt{N}}.$$

Um caso especial é a medição do caudal volumétrico de gás. Há dois métodos de medição desta grandeza na banca: contador húmido de gás (para os ensaios mais exigentes como o de rendimento) e o caudalímetro de gás (para dar informação em tempo-real).

Nos ensaios de rendimento, é medido o volume de gás consumido ao longo de algum tempo (usualmente 5 minutos) através do contador húmido de gás, pelo que apenas este método de medição de caudal de gás será considerado nesta análise.

Nesta medição, há outra implícita: a medição do tempo, que por sua vez também tem uma incerteza. Esta medição do tempo vai nestas novas bancas ser feita pelo próprio software. Será programado o tempo de ensaio, ao fim do qual o próprio software encerra as válvulas do circuito de gás. Nesse momento, o operador poderá ler com grande exactidão o volume de gás consumido pelo aparelho. Estes contadores de gás possuem uma saída de impulsos, que o sistema de instrumentação associado às bancas adquire e conta. Ainda assim, o *encoder* do contador apenas oferece 50 impulsos por volta, o que é muito pouco no caso do contador de 5L, e naturalmente ainda mais grave no de 25L. Para o contador de 5L, por exemplo, o erro de 1 impulso já é de 0,1L de gás, o que se torna significativo. Uma volta do ponteiro do contador representa um consumo de gás igual à capacidade do contador. Assim, quando o ponteiro do contador de 5L dá uma volta foram consumidos 5L de gás, que estão divididos em 50 impulsos. Um impulso representa assim um consumo de  $5/50=0.1$ L. Raciocínio idêntico pode ser efectuado para o contador de 25L.

Ainda assim, os erros de detecção de  $\pm 1$  impulso não serão considerados na situação da incerteza do rendimento, uma vez que nesta se pretendem analisar as condições de repetibilidade dos resultados que pressupõem as mesmas condições de ensaio. Portanto este erro não será considerado neste cálculo, mas apenas no do erro absoluto máximo obtido no cálculo do rendimento, também mencionado no capítulo 5.

Incertezas combinadas

| Incertezas combinadas | Valor        |                 |
|-----------------------|--------------|-----------------|
|                       | Caudalímetro | Contador húmido |
| $u(T_i, T_f) =$       | 2.400E-02    |                 |
| $u(T_f, Q_a)$         | 1.624E-05    |                 |
| $u(T_i, Q_a) =$       | 1.624E-05    |                 |
| $u(p_g, p_a) =$       | 1.250E-05    |                 |
| $u(p_g, T_g) =$       | 1.200E-04    |                 |
| $u(p_a, T_g) =$       | -9.375E-03   |                 |
| $u(p_g, V_{gm}) =$    | 1.286E-05    | -6.680E-08      |
| $u(p_a, V_{gm}) =$    | -1.713E-03   | -1.625E-05      |
| $u(T_g, V_{gm}) =$    | 7.275E-03    | 1.160E-04       |

Os dados de incerteza relativos ao caudalímetro de gás são apresentados na tabela apenas a título de comparação com os dados alusivos aos contadores húmidos de gás. Este caudalímetro não é utilizado nos ensaios de rendimento.

De maneira a calcular então um majorante para a incerteza no ensaio de rendimento, foi usada a ferramenta “solver” do excell, do seguinte modo:

- Objectivo: maximizar incerteza no rendimento (função das condições de ensaio e das incertezas individuais e combinadas, tal como descrito neste anexo);
- Por alteração de: células com valor real das variáveis independentes (condições do ensaio);

Sujeito a:

- $0 \leq \text{rendimento (valor real)} \leq 100$ ;
- $15 \leq \text{temperatura do gás} \leq 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- $0.504 \leq \text{caudal volumétrico de gás medido} \leq 4.8 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $8.4 \leq \text{caudal} \leq 80 \text{ L/min}$  – dados obtido empiricamente junto dos operadores das bancas actuais);
- $10 \leq \text{temperatura inicial da água} \leq 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- $20 \leq \text{temperatura final da água} \leq 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- $\text{Temperatura final da água} \geq \text{temperatura inicial} + 20^{\circ}\text{C}$ ;
- $2 \leq \text{caudal de água} \leq 20 \text{ L/min}$ ;
- $20 \leq \text{pressão do gás} \leq 50 \text{ mbar}$ ;
- $990 \leq \text{pressão atmosférica} \leq 1030 \text{ mbar}$ .

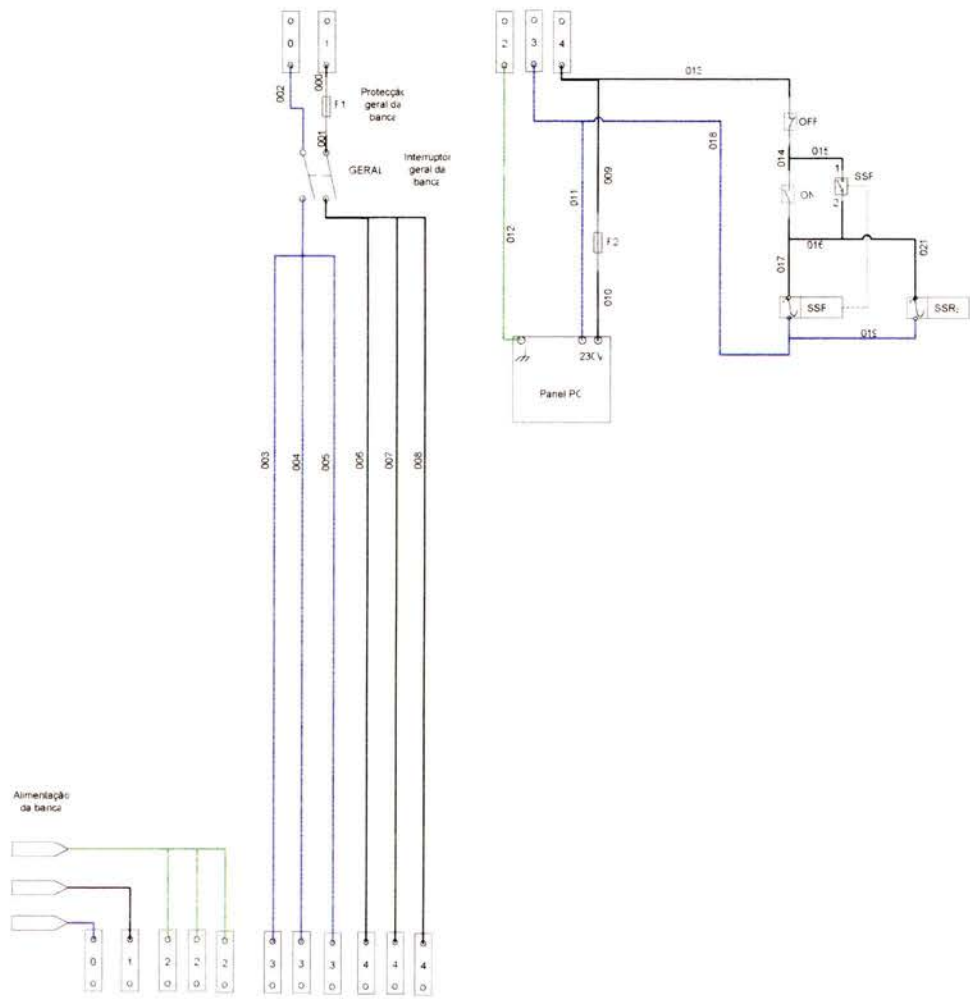
E deste modo se obteve o valor apresentado na secção 5.2.

# ANEXO B

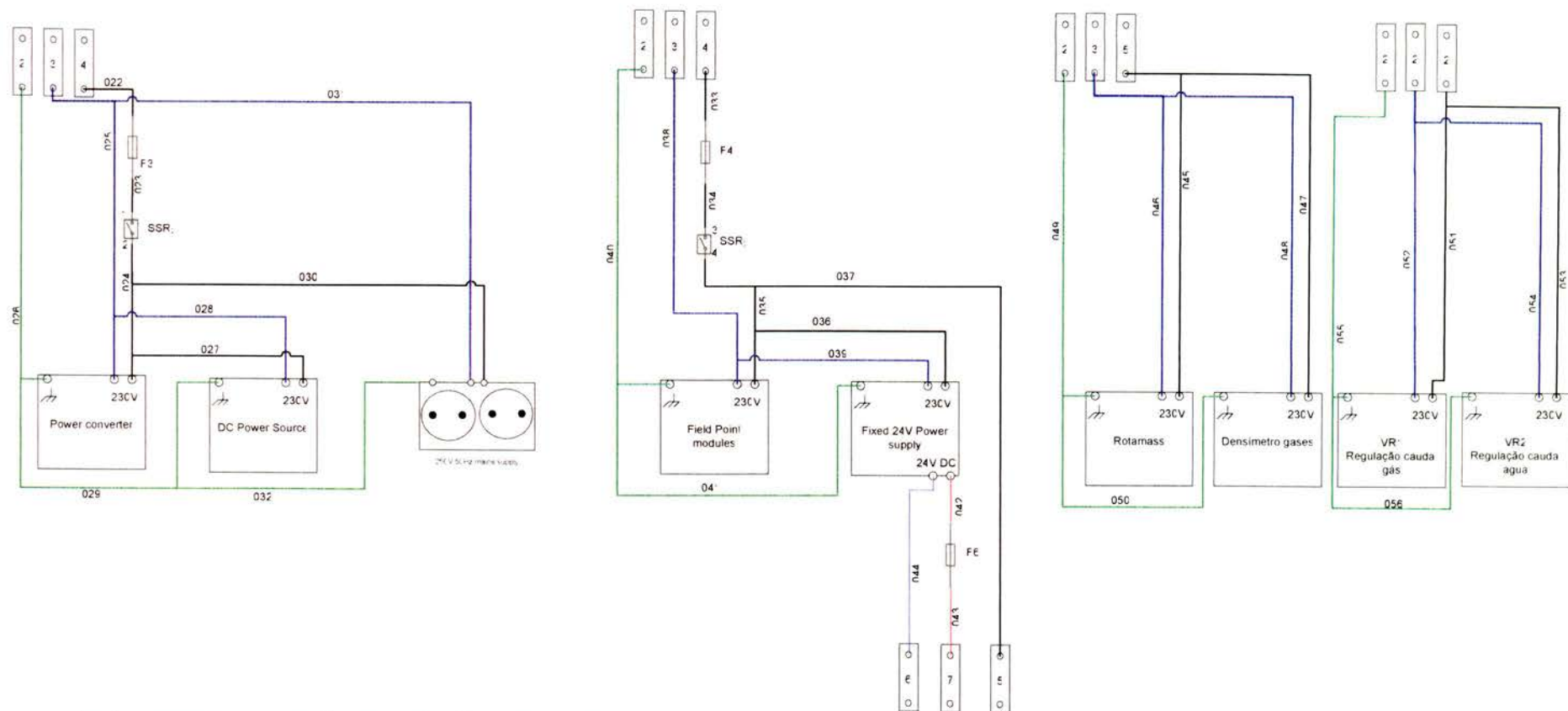
## Esquemas eléctricos simplificados de implementação das bancas

Neste anexo são apresentados os esquemas eléctricos de apoio à implementação de toda a parte eléctrica das novas bancas de ensaio. São esquemas ainda simplificados e não pretendem ser de documentação final. São por isso ocultados alguns detalhes como a ligação pormenorizada dos transdutores. Estes são nalguns casos substituídos por elementos que os representam conceptualmente e tornam os esquemas até mais facilmente compreensíveis.

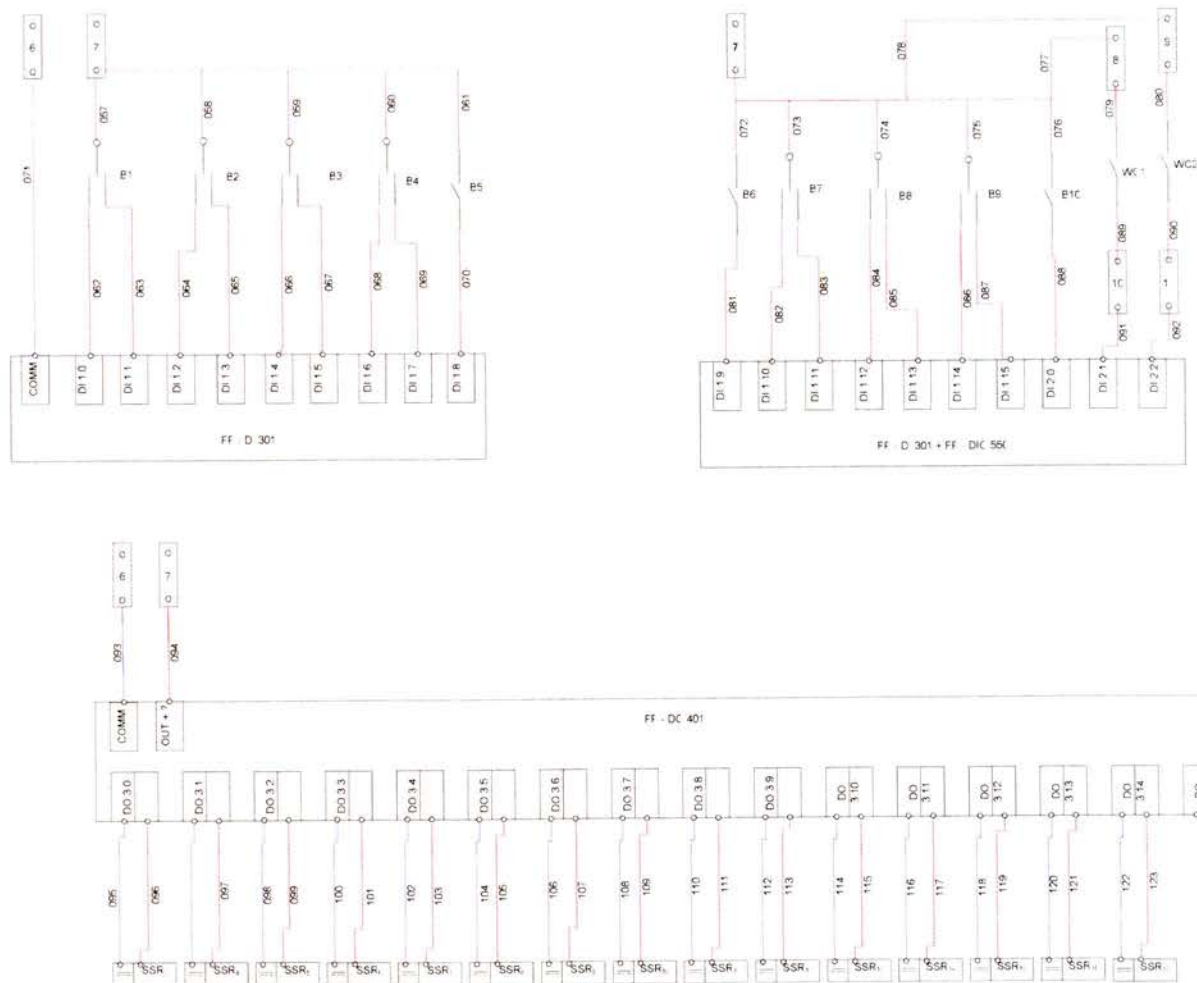
No final do anexo é apresentada uma tabela com o mapeamento das E/S.



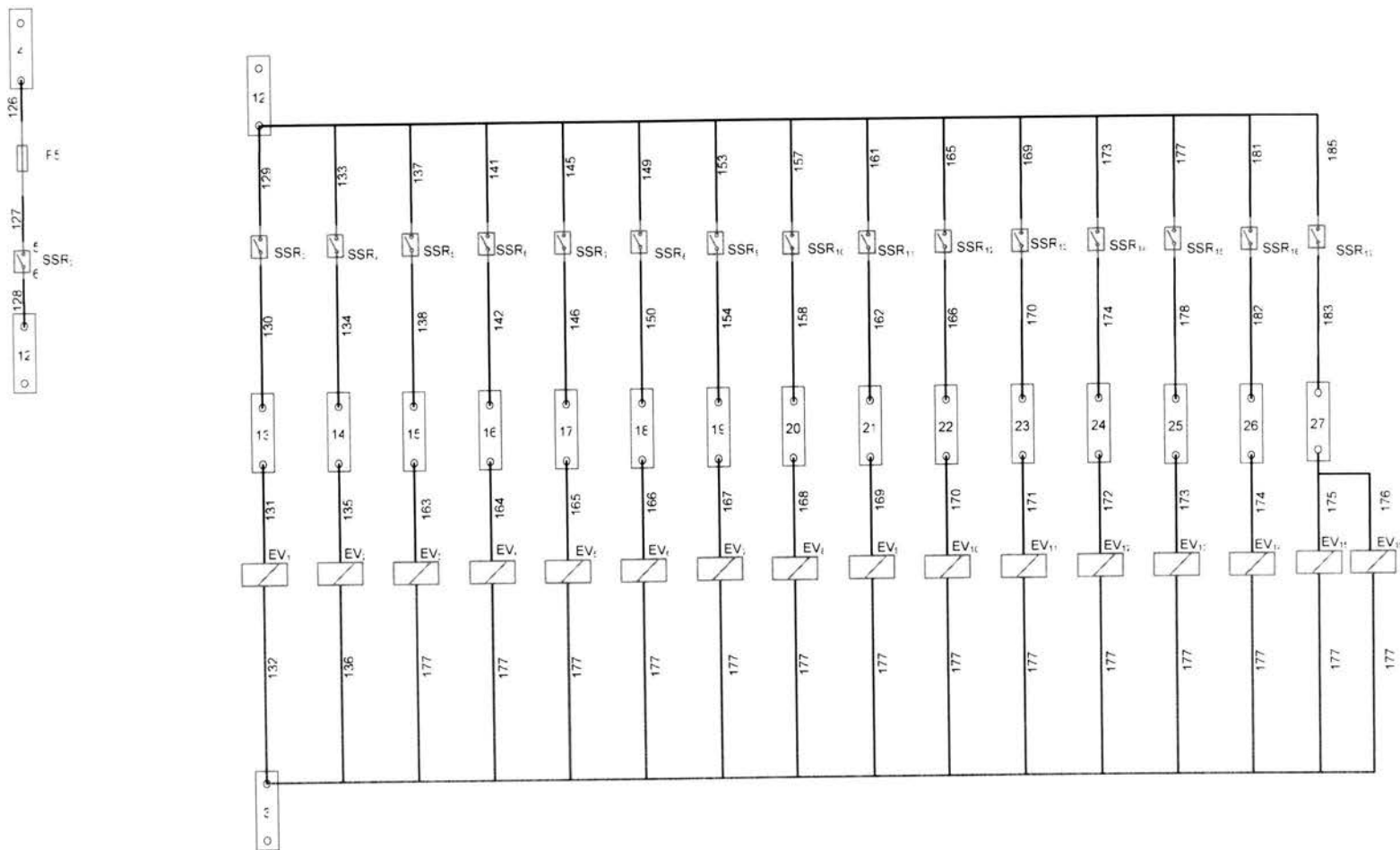
Esta figura representa a alimentação geral da banca, a alimentação do computador de painel que é independente dos restantes elementos, mas também o sistema de ligar e desligar a banca. Todos os botões utilizados são conforme a directiva ATEX, para zonas de categoria 2 e 3 – perigo intermitente ou episódico de explosão.



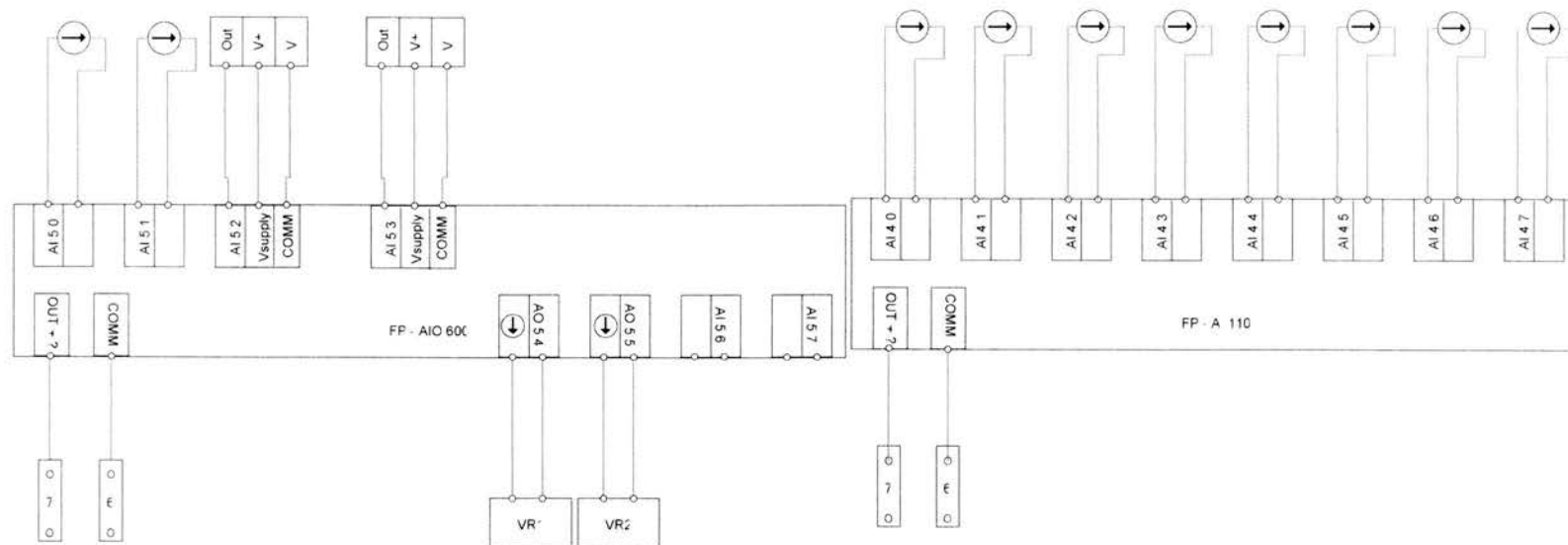
Aqui apresentam-se as ligações de alimentação dos principais transdutores e dos sistemas auxiliares à banca.



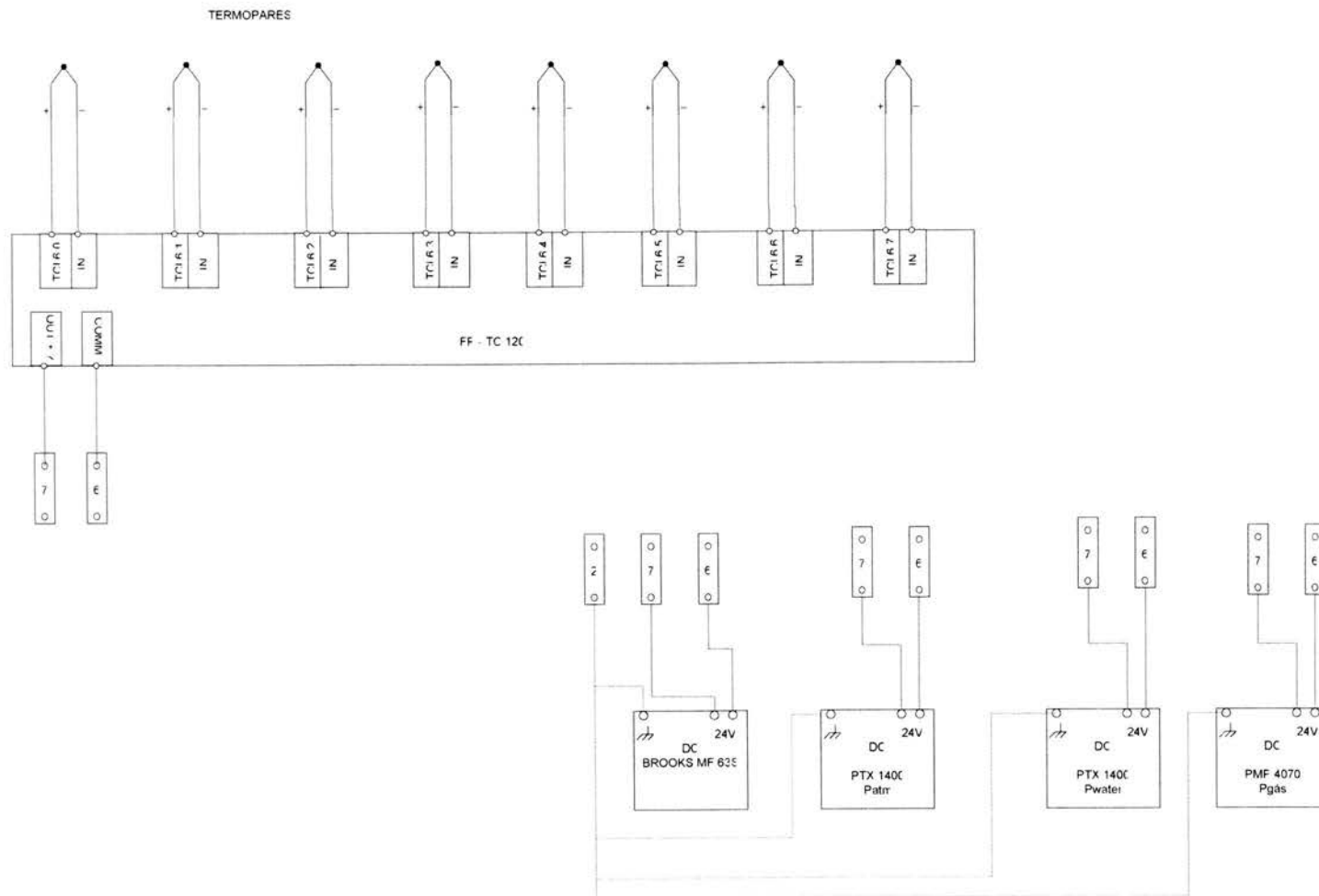
Entradas/saídas digitais ao sistema de instrumentação da banca. Referem-se aos controlos do operador, à actuação das electroválvulas ON-OFF e ainda à detecção dos impulsos dos contadores húmidos de gás.



Ligação dos relés de estado sólido de accionamento das electroválvulas ON-OFF. Naturalmente os relés de estado sólido não têm bobinas de excitação, mas optou-se por representar deste modo a ligação dos terminais de controlo desses dispositivos, para facilitar a compreensão do esquema.



Entradas analógicas em tensão e corrente ao sistema de instrumentação



Finalmente as entradas analógicas de termopar que ligam ao módulo específico. Além disso mostram-se as ligações de alimentação de alguns transdutores de 24V DC.

Mapeamento das entradas e saídas

| <b>Terminal do sistema de instrumentação ou da banca</b> | <b>Dispositivo exterior de saída</b>                         |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| B1                                                       | Seleção de $Ev_1$ , $Ev_2$ ou nenhuma delas                  |
| B2                                                       | Controlo $VR_1$ – abrir, fechar ou repouso                   |
| B3                                                       | Seleção $Ev_3$ , $Ev_4$ ou $Ev_5$                            |
| B4                                                       | Seleção $Ev_6$ , $Ev_7$ ou $Ev_8$                            |
| B5                                                       | Controlo de $Ev_9$                                           |
| B6                                                       | Controlo de $Ev_{10}$                                        |
| B7                                                       | Controlo de $VR_2$ – abrir, fechar ou repouso                |
| B8                                                       | Seleção de $Ev_{11}$ , $Ev_{12}$ ou $Ev_{13}$                |
| B9                                                       | Controlo de $Ev_{14}$                                        |
| B10                                                      | Controlo das válvulas $Ev's_{15}$                            |
| B11                                                      | Controlo de $Ev_{16}$                                        |
| WC1                                                      | Impulsos do contador húmido de gás de 5L                     |
| WC2                                                      | Impulsos do contador húmido de gás de 25L                    |
| AI 4.0                                                   | Feedback do controlo da válvula de controlo de caudal de gás |

|                 |                                                               |
|-----------------|---------------------------------------------------------------|
| AI 4.1          | Feedback do controlo da válvula de controlo de caudal de água |
| AI 4.2          | PT100 na água fria (de entrada no aparelho)                   |
| AI 4.3          | PT100 na água quente (de saída no aparelho)                   |
| AI 4.4          | Caudal de água                                                |
| AI 4.5          | Caudal de gás                                                 |
| AI 4.6          | Pressão atmosférica                                           |
| AI 4.7          | Pressão de água                                               |
| AI 5.0          | Densidade do gás – do densímetro                              |
| AI 5.1          | Livre nesta fase para uma entrada suplementar – do densímetro |
| AI 5.2          | Pressão do gás à entrada                                      |
| AI 5.3          | Pressão do gás no queimador                                   |
| TC0             | Temperatura ambiente                                          |
| TC1             | Temperatura dos produtos de combustão – chaminé do aparelho   |
| TC2             | Temperatura do gás                                            |
| TC3 e restantes | Livres para medição móvel noutros pontos do aparelho          |



FACULDADE DE ENGENHARIA  
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



0000104930