

Desenvolvimento de Sistema Distribuído para Controlo e Monitorização de Ensaios Laboratoriais

Carlos Miguel Soares da Silva

Licenciado em Engenharia Electrotécnica – Ramo de Sistemas
Eléctricos de Energia pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto

Dissertação submetida para satisfação parcial dos
requisitos do grau de mestre
em
Automação, Instrumentação e Controlo

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado em Automação, Instrumentação e Controlo
Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal

Novembro de 2007

Dissertação realizada no âmbito do programa do
Mestrado em Automação, Instrumentação e Controlo da
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Dissertação realizada sob a supervisão do
Professor Doutor António José Pessoa de Magalhães
Professor Auxiliar do Departamento de
Engenharia Mecânica e Gestão Industrial da
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Resumo

Este trabalho descreve o desenvolvimento de um sistema automático de teste de cabos de automóvel instalado no Laboratório da empresa Ficocables, Lda. (pertencente ao grupo *FICOSA International*).

O objectivo deste projecto assentou numa ideia muito simples: criar um sistema automático que permitisse controlar e adquirir dados dos ensaios realizados no laboratório.

Basicamente, trata-se de um sistema de controlo e aquisição de dados com módulos I/O e consolas tácteis distribuídos sobre uma rede CAN que é totalmente controlada por um Controlador Central. Por outro lado, este controlador está interligado a uma Base de Dados (BdD) onde é armazenada toda a informação importante sobre os ensaios. Para os operadores utilizarem os computadores, que já tinham, para aceder à informação armazenada na BdD, foram desenvolvidas interfaces em Visual Basic (VB) que permitisse esse acesso.

Espera-se que este sistema cubra, quase a totalidade dos ensaios actualmente executados no laboratório, permitindo controlar e monitorizar de forma automática todos os ensaios. Pretendeu-se com este projecto não só automatizar os ensaios laboratoriais mas também melhorar os tempos de resposta aos clientes com mais e melhor qualidade da informação sobre os ensaios. No futuro pode-se integrar este sistema com um outro de Análise de Elementos Finitos (AEF - Finite Element Analysis (FEA)).

Como maiores benefícios, o projecto permitiu não só automatizar totalmente o controlo dos ensaios executados no laboratório mas também um maior e melhor conhecimento do comportamento mecânico dos equipamentos produzidos e melhorar a rentabilização dos recursos do laboratório, quer numa maior optimização do espaço quer na optimização dos recursos humanos.

Abstract

This work describes the development of an automatic system of test of automobile cables installed in the Laboratory of the company Ficocables, Lda. (belonging to the *FICOSA International* group).

This project had a very simple objective: create an automatic system to control and acquire data of the tests done in the laboratory.

Basically, it's a system of control and data acquisition with I/O modules and tactile console distributed on a CAN bus that is totally controlled by the "Controlador Central" (Central Controller). On the other hand, this controller is connected to a Data Base where all the important information, concerning the tests, is stored on. The computers, that the Laboratory Operators already have, are going to be used to access the information stored in Data Base. All the interfaces needed to allow that access were developed with Visual Basic (VB).

It's expected that this system covers, almost, the totality of the test now executed at the laboratory, automatically controlling and to monitoring all the tests. It is intended with this project not only to automate the tests laboratory but also to improve the response times to the customers improving the quality of the information. In the future it's possible to integrate this system with one of Finite Element Analysis (FEA).

The benefits of this project were: allowing not only to totally automate the control of the tests executed in the laboratory but also a bigger and better knowledge of the mechanical behaviour of the equipments produced and the resources of the laboratory were improved, it was possible to optimize the space and the human resources.

*Aos meus pais pela educação, incentivo e apoio,
Ao professor Pessoa Magalhães pela ajuda em todo projecto,
À Ficocables, em particular ao Eng. José Mendes, pela oportunidade,
Ao amigo José Costa pelo apoio incondicional,
À minha família e amigos que sempre acreditaram em mim.*

Índice

1. Introdução	1
1.1 SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS EM LABORATÓRIO	2
1.2 OBJECTIVOS DA DISSERTAÇÃO	4
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	5
2. Definição do problema	6
2.1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA	7
2.1.1 <i>Funções do Laboratório</i>	7
2.1.2 <i>Procedimentos de execução dos ensaios</i>	11
2.1.3 <i>Lacunas de conhecimento</i>	15
2.2 ENSAIOS TIPO E PARÂMETROS A ADQUIRIR	18
2.2.1 <i>Ensaio com carga permanente</i>	18
2.2.2 <i>Ensaio com carga variável</i>	23
2.2.3 <i>Ensaio de cabos Push-Pull</i>	25
2.2.4 <i>Ensaio de cabos de assentos</i>	28
2.2.5 <i>Ensaio com carga por molas</i>	31
2.3 OBJECTIVOS DO SISTEMA A DESENVOLVER	34
2.4 POSSÍVEIS PONTOS DE PARTIDA	36
2.5 ELEIÇÃO DA SOLUÇÃO	40
2.6 SÍNTESE	42
3. Especificação estruturada da solução	43
3.1 MODELAÇÃO LÓGICA SEGUNDO P.WARD & S.MELLOR	44
3.2 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA AO PRESENTE CASO	45
3.3 MODELO DE DESENVOLVIMENTO	50
3.4 SÍNTESE	52
4. Desenvolvimento	53
4.1 RECURSOS DE HARDWARE	54
4.2 RECURSOS DE SOFTWARE	62
4.3 SÍNTESE	78
5. Teste e Validação	79
5.1 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO	80
5.2 TESTE DO SISTEMA	81
5.2.1 <i>Inquérito sobre desempenho do sistema</i>	84
5.3 SÍNTESE	86
6. Conclusões	87
6.1 TRABALHO DESENVOLVIDO	88
6.2 EXPECTATIVAS COM O SISTEMA, A CURTO/MÉDIO PRAZO	89
6.3 POSSIBILIDADES FUTURAS	90
6.4 CONCLUSÕES PESSOAIS	92
Referências Bibliográficas	93
Anexos	95
A- CADERNO DE ENCARGOS	96
B- CÁLCULO DA OCUPAÇÃO DA REDE CAN	104
C- ESQUEMA ELECTROPNEUMÁTICO	107
D- INQUÉRITO DE SATISFAÇÃO – SISTEMA CANOPEN	109
E- ESTUDO DAS AMOSTRAGENS MÍNIMAS DOS ENSAIOS	110

Índice de Figuras

Figura 2. 1 Exemplos de estruturas dos ensaios	9
Figura 2. 2 Exemplo cilindro pneumático linear (a) e rotativo (b) e respectivos esquemas	9
Figura 2. 3 Exemplos de um peso calibrado e molas.....	10
Figura 2. 4 Sistema de medição com célula de carga e display da força	10
Figura 2. 5 Sistema de medição com dinamómetro	11
Figura 2. 6 Exemplo de estruturas diferentes (teste de durabilidade (a) e eficiência (b)).	12
Figura 2. 7 Exemplo de estruturas iguais (teste de durabilidade (a) e eficiência (b)).....	12
Figura 2. 8 Exemplo de uma estrutura para o ensaio de durabilidade.....	13
Figura 2. 9 Gráfico Força vs Ciclo, da força máxima inicial e final adquirida antes do sistema proposto	15
Figura 2. 10 Gráficos Força vs Ciclo, dois comportamentos possíveis do cabo.....	16
Figura 2. 11 Sistema utilizado para efectuar leituras das forças nos cabos	17
Figura 2. 12 Estrutura geral para ensaios de Durabilidade de cabos sem “layout” definido	19
Figura 2. 13 Estrutura Geral para ensaios de Durabilidade a cabos de abertura de porta	19
Figura 2. 14 Estrutura utilizada para ensaios de eficiência e durabilidade	20
Figura 2. 15 Força vs Tempo e Deslocamento vs Tempo – carga permanente.....	21
Figura 2. 16 Força medida antes do SAD implementado.....	22
Figura 2. 17 Forças pretendidas no ensaio de carga permanente.....	22
Figura 2. 18 Esquema de teste de eficiência com carga variável	23
Figura 2. 19 Força vs Tempo e Deslocamento do cilindro vs Tempo - carga variável	24
Figura 2. 20 Forças pretendidas no ensaio de carga variável.....	25
Figura 2. 21 Esquema de Teste de durabilidade do cabo “Push-Pull”	26
Figura 2. 22 Gráfico Força vs Tempo e Deslocamento do cilindro vs Tempo - cabo Push-Pull	27
Figura 2. 23 Forças pretendidas no ensaio com cabos “Push-Pull”	28
Figura 2. 24 Esquema de Teste de durabilidade de cabos de assento	29
Figura 2. 25 Gráfico Força vs Tempo e Deslocamento do cilindro vs Tempo-cabo assento	30
Figura 2. 26 Forças pretendidas no ensaio de cabos de assento	30
Figura 2. 27 Esquema de Teste de durabilidade do cabo com mola	31
Figura 2. 28 Gráfico Força vs Tempo de um ensaio com molas.....	32
Figura 2. 29 Ensaio Durabilidade com Carga Resistente simulada por Molas.....	33
Figura 2. 30 Arquitectura de um sistema totalmente centralizado [2].....	36
Figura 2. 31 Arquitectura com processamento distribuído, baseado em PC's [5]	37
Figura 2. 32 Arquitectura com processamento distribuído, baseado em PLC's [6]	37
Figura 2. 33 Exemplo de Sistema com processamento centralizado.....	39
Figura 2. 34 Esquema da arquitectura geral proposta para o sistema de controlo ensaios	40
Figura 2. 35 Arquitectura geral proposta para o sistema de controlo de ensaios.....	40
Figura 3. 1 Arquitectura Física do Sistema Proposto	45
Figura 3. 2 Periféricos do Sistema	46
Figura 3. 3 Periféricos e Transformações do Sistema	46
Figura 3. 4 Periféricos, Transformações e Fluxos do Sistema	47
Figura 3. 5 Sistema geral modelado.....	48
Figura 3. 6 Esquema pormenorizado do Controlador Central dos Ensaios	50
Figura 4. 1 Definição e descrição dos pinos da ficha RJ45, duna rede CAN.....	55
Figura 4. 2 Ligações dos equipamentos à Rede CAN	56
Figura 4. 3 Interface de PC USB para CAN [11]	56
Figura 4. 4 Módulo de comunicação CANopen – Beckhoff [13].....	57

Figura 4. 5 Carta de entradas digitais	58
Figura 4. 6 Carta de entradas analógicas	58
Figura 4. 7 Carta de saídas digitais	58
Figura 4. 8 Imagem de uma célula de carga	59
Figura 4. 9 Amplificador analógico escolhido	59
Figura 4. 10 Exemplo do funcionamento do sistema com as mensagens Sync [16]	60
Figura 4. 11 Quadro eléctrico da bancada de ensaios	61
Figura 4. 12 Elementos Electropneumáticos da bancada	62
Figura 4. 13 Primeira aplicação que permite a introdução dos dados dos ensaios – ecrã 1	64
Figura 4. 14 Primeira aplicação que permite a introdução dos dados dos ensaios – ecrã 2	64
Figura 4. 15 Primeira aplicação que permite a introdução dos dados dos ensaios – ecrã 4	64
Figura 4. 16 Primeira aplicação que permite a monitorizar os dados dos ensaios – ecrã 5	64
Figura 4. 17 Primeira aplicação que permite executar o relatório dos ensaios – ecrã 6... ..	65
Figura 4. 18 Primeira aplicação de controlo dos Módulos I/O e Consolas	65
Figura 4. 19 Primeira base de dados em Access	65
Figura 4. 20 Interface dos Operadores - ecrã 1	67
Figura 4. 21 Interface dos Operadores - ecrã 2.1	68
Figura 4. 22 Interface dos Operadores - ecrã 2.2	68
Figura 4. 23 Interface dos Operadores - ecrã 2.3	68
Figura 4. 24 Interface dos Operadores - ecrã 2.5	69
Figura 4. 25 Interface dos Operadores - ecrã 2.6	69
Figura 4. 26 Interface dos Operadores - ecrã 2.7	69
Figura 4. 27 Controlo da Bancada – escolha da bancada a controlar	70
Figura 4. 28 Controlo da Bancada – painel das configurações do módulo I/O	71
Figura 4. 29 Controlo da Bancada – painel das configurações da consola	71
Figura 4. 30 Controlo de Ensaio	72
Figura 4. 31 Gerador de mensagens SYNC	73
Figura 4. 32 Interface que permite realizar do Relatório final do ensaio	74
Figura 4. 33 Exemplo de um Relatório final do ensaio	74
Figura 4. 34 Interface que permite visualizar todas as informações de um determinado ensaio	75
Figura 4. 35 Interface que permite Monitorizar o ensaio pretendido	76
Figura 4. 36 Aspecto geral da BdD através do VB	76
Figura 4. 37 Aspecto geral da BdD directamente no SQL Server	77
Figura 4. 38 Esquema de Interações da aplicação informática dos PC's dos Operadores	77
Figura 4. 39 Esquema de Interações das aplicações informáticas do Controlador Central	78
Figura 5. 1 Bancadas electropneumáticas	80
Figura 5. 2 Esquema da arquitectura do Protótipo	81
Figura 5. 3 Arquitectura Física do Protótipo	82
Figura B. 1 Comportamento da rede CAN na pior situação, movimento de avanço.	105
Figura B. 2 Comportamento da rede CAN na pior situação, movimento de recuo.	106
Figura E. 1 Gráfico com 35 (a), 30 (b) e 25 (c) amostras por segundo	110

Índice de Tabelas

Tabela 2. 1 Resumo das exigências dos ensaios	33
Tabela 3. 1 Simbologia de modelação de sistemas.....	44
Tabela 3. 2 Suportes Físicos	51
Tabela 3. 3 Suportes Lógicos	51
Tabela 4. 1 Relação do Bit rate com o Comprimento da rede	55
Tabela 4. 2 Resumo das exigências dos ensaios	62
Tabela B. 1 Tempos de transmissão das mensagens CANopen	104

Lista de Acrónimos

BdD – Base de Dados

CAN – Controller Area Network

CANopen – Protocolo de comunicação normalizado para utilizar na rede CAN

FEA – Análise de Elementos Finitos (Finite Element Analysis)

HMI – Interface Homem-Máquina (Human Machine Interface)

I/O – Entradas e Saídas (Inputs/Outputs)

I&D – Investigação e Desenvolvimento

LAN – Local Area Network

PLC – Controlador Lógico Programável (Programmable Logic Controller)

PC – Computador Pessoal (Personal Computer)

SAD – Sistema de Aquisição de Dados

SMS – Serviço de Mensagens Curtas (Short Message Service)

VB – Visual Basic

1. Introdução

1.1 Sistemas de aquisição de dados em laboratório

Saber exactamente o que produz e entrega aos seus clientes é uma preocupação de qualquer empresa industrial. Outra, é saber estar atenta a novas possibilidades tecnológicas que a tornem mais rentável e atractiva a clientes mais exigentes. É nesta dupla perspectiva que as empresas criam os seus sectores de engenharia, onde se torna imprescindível um laboratório experimental de maior ou menor dimensão.

Os Sistemas de Aquisição de Dados (SAD) são actualmente muito importantes na monitorização de ensaios tecnológicos, tendo uma particular relevância no controlo automático da qualidade de produtos intermédios ou acabados. [1] [2]

Assim, e no caso de produção de bens e equipamentos que obrigatoriamente têm de ser sujeitos a um controlo de qualidade individual, máquinas e tecnologias sofisticadas têm vindo a substituir, tanto quanto possível e rentável, operadores humanos. Nestes casos, equipamentos automáticos de teste podem ocupar um espaço considerável na linha da instalação fabril e envolver uma extraordinária complexidade de recursos.

Já quando, por razões diversas, o controlo de qualidade é feito numa base estatística, é típico recolher amostras dos produtos produzidos de acordo com uma qualquer regra e avaliá-los fora de linha. Nesse caso, os sistemas de ensaio tendem a ser menos automatizados, uma vez que o tempo de teste do produto não pesa tão directamente na sua produção. Há mesmo situações – sobretudo quando a aquisição dos parâmetros de interesse exige uma percepção humana mais ou menos qualificada, mas difícil de igualar por meios tecnológicos –, em que os sistemas de ensaio fora de linha são essencialmente manuais ou com um grau mínimo (quase que o indispensável) de automação. Nestes casos, “controlar a qualidade” pode facilmente tornar-se sinónimo de tarefa fastidiosa, prolongada, cansativa e, demasiadas vezes, ineficiente.

Ensaio experimentais com uma grande intervenção humana são típicos e compreensíveis quando se trata de avaliar as propriedades de um protótipo, i.e., o fruto de uma acção de Investigação e Desenvolvimento (I&D). Mas

mesmo neste contexto, o recurso a um sistema automático de teste pode enriquecer sobremaneira o conhecimento que se adquire de um determinado produto. E isto é sobretudo válido quando, por um lado, “ensaiar” não se pode limitar a uma tarefa minimalista e, por outro, avaliar com a profundidade requerida torna-se também sinónimo de tarefa fastidiosa, prolongada, cansativa, perigosa...

Na Ficocables Lda. (uma empresa do grupo FICOSA), a componente I&D é um factor fundamental para a manter na lista dos fabricantes de vanguarda no ramo automóvel, procurando sempre a excelência e a melhoria contínua. Foi nesse sentido que há cerca de 5 anos a empresa se empenhou em dedicar parte dos seus recursos à vertente de I&D, representando esta actualmente cerca de 40% das actividades do seu centro técnico [3].

No laboratório de ensaios da Ficocables Lda., em que se centra esta comunicação, está a ser implementado um sistema inovador, idealizado para melhorar a performance do departamento e otimizar os seus recursos técnicos e humanos. Com a implementação de um sistema de aquisição de dados pretende-se realizar ensaios tecnológicos de forma automatizada, ensaios esses que têm por finalidade o controlo de qualidade fora de linha de bens produzidos e a avaliação de protótipos.

Antes desta implementação, a aquisição de dados experimentais resultantes de ensaios de cabos de automóvel era efectuada manualmente, pese embora os ensaios envolvessem equipamentos de movimentação e esforço mecânico comandados semi-automaticamente. Assim, muito do tempo de trabalho do operador era dispendido na recolha de dados e, frequentemente, os ensaios tinham de ser interrompidos para leituras intermédias ou outras – que, inevitavelmente, encerravam incertezas de diversas espécies. Por outro lado, não era possível realizar ensaios fidedignos fora das horas laborais, dado que a evolução do ensaio não podia ser vigiada.

Por tudo isto, torna-se evidente a necessidade em desenvolver um sistema de aquisição de dados que permita à Ficocables, Lda. dar um salto qualitativo na análise dos equipamentos que produz.

1.2 Objectivos da dissertação

O elevado ritmo que se sente nas empresas portuguesas e mundiais, a pressão constante dos clientes e o nível de qualidade exigido, apenas é atingido com muito esforço e investimento por parte de quem aposta em áreas assumidamente tecnológicas.

Actualmente, para poder concorrer em igualdade de circunstâncias com outras empresas mundiais, há necessidade de melhorar continuamente.

Neste sentido, surgiu a possibilidade de estabelecer um protocolo entre uma empresa multinacional, a Ficocables, Lda., e a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto que permitisse fazer um levantamento das ineficiências existentes bem como o desenvolvimento de um sistema de controlo e aquisição de dados a ser instalado no laboratório de ensaios situado na fábrica da Maia.

Esta dissertação tem como objectivo descrever a solução para o problema do laboratório da Ficocables, Lda.

Pretende-se apresentar o estudo do problema, a concepção da solução e todo o desenvolvimento do Sistema Distribuído para Controlo e Monitorização de Ensaios Laboratoriais. Como conclusão, é apresentado um protótipo desenvolvido à semelhança do sistema que vai ser implementado no laboratório da Ficocables, Lda., permitindo avaliar o desempenho do sistema e analisar a possível aplicabilidade em diferentes áreas da empresa.

Fundamentalmente, planeou-se criar um sistema funcional, versátil, flexível e automatizado. Ou seja, uma ferramenta que facilitasse o dia-a-dia dos colaboradores do laboratório e que permitisse otimizar os recursos da empresa.

1.3 Organização do texto

O texto está organizado do seguinte modo:

Após uma breve introdução ao trabalho a ser desenvolvido (Capítulo 1), faz-se a definição do problema no Capítulo 2, com destaque para a apresentação do estado actual do laboratório da Ficocables e a definição das linhas de orientação da solução. O capítulo 3, apresenta a especificação estruturada da solução. O capítulo 4 relata o desenvolvimento do projecto, quer a nível de hardware, quer de software. O capítulo 5 descreve os testes de avaliação que permitiram validar a solução. O capítulo 6 expõe as conclusões do trabalho bem como as possibilidades de desenvolvimentos futuros. O documento termina com o conjunto de anexos que pormenorizam algumas questões levantadas no texto.

2. Definição do problema

2.1 Apresentação do problema

Neste capítulo é feita uma apresentação dos problemas do laboratório de ensaios da Ficocables, Lda., empresa para o qual foi desenvolvido todo trabalho exposto nos capítulos que se seguem.

A Ficocables, Lda. é uma empresa pertencente a um grupo internacional, *FICOSA International*, ligado à Indústria Automóvel. Esta empresa desenvolve equipamentos na área das cablagens mecânicas e equipamentos de conforto.

Trata-se de uma organização em franco crescimento quer em termos de mercado quer ao nível do conhecimento técnico na área.

2.1.1 Funções do Laboratório

Este trabalho foi desenvolvido num laboratório que faz ensaios a componentes de automóvel, como cabos de abertura de portas, cabos de rebatimento dos bancos, cabos de abertura de capô, apoios de braço ou sistemas lombares.

É importante referir que, em pelo menos 85% dos projectos, o desenvolvimento do produto é realizado pela equipa técnica da Ficocables, Lda. que muitas das vezes propõe uma solução final aos clientes em função das suas necessidades [4].

Mesmo tendo em conta que o desenvolvimento de novos produtos requer um certo *Know-how*, e que a equipa técnica da Ficocables, Lda., garantidamente o tem, os clientes não dispensam os testes que permitem verificar se as soluções apresentadas se comportam conforme as especificações.

Estes testes de validação são, normalmente, definidos pelo cliente. Quando isto não acontece, são definidos internamente pela equipa do projecto.

O pedido de execução de ensaio efectuado pelo cliente, vem normalmente acompanhado por um caderno de encargos (Anexo A) onde são apresentadas algumas especificidades, características de preparação e as medições a

efectuar no ensaio bem como os critérios de aceitação (por exemplo: valores de força máxima para a actuação de um sistema de rebatimento de banco).

Para ir ao encontro das necessidades do cliente, os técnicos do laboratório utilizam os cadernos de encargos e eventuais normas associadas, como base para a preparação e execução dos ensaios.

As normas utilizadas podem ser internacionais, aceites pelos clientes, ou normas criadas pelos próprios clientes. As normas descrevem como o equipamento e a própria cablagem deve ser posicionada (“*layout*”) para ser ensaiada, o número de ciclos do ensaio, as diferentes temperaturas de ensaio, se for o caso, entre outras.

As normas que os clientes criam têm, normalmente, um grau de exigência superior às normas internacionais. Isto acontece fruto da grande experiência que estes têm no desenvolvimento dos seus produtos ao longo dos anos.

Seja como for, os técnicos têm toda a informação necessária para poder executar o ensaio dos equipamentos.

Como, salvo raras excepções, os ensaios aos produtos fabricados na Ficocables, Lda. não são efectuados directamente nas viaturas, é necessário simular de alguma forma o “*layout*” do cabo.

Para isso, os Operadores montam estruturas tridimensionais que permitem fixar o cabo, simulando os apoios existentes no automóvel onde seria montado.

Normalmente, são colocadas várias amostras em simultâneo de forma a testar vários cabos ao mesmo tempo (Figura 2. 1), otimizando assim o reduzido espaço disponível do laboratório.

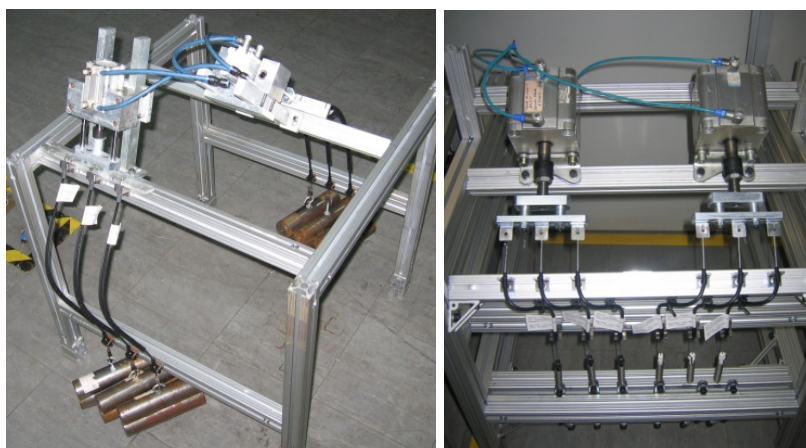


Figura 2. 1 Exemplos de estruturas dos ensaios

Como já foi referido anteriormente, os ensaios requerem uma repetição sistemática de actuações de cada cabo, obrigando à utilização de cilindros lineares ou rotativos (com alheta) semelhantes aos da Figura 2. 2.

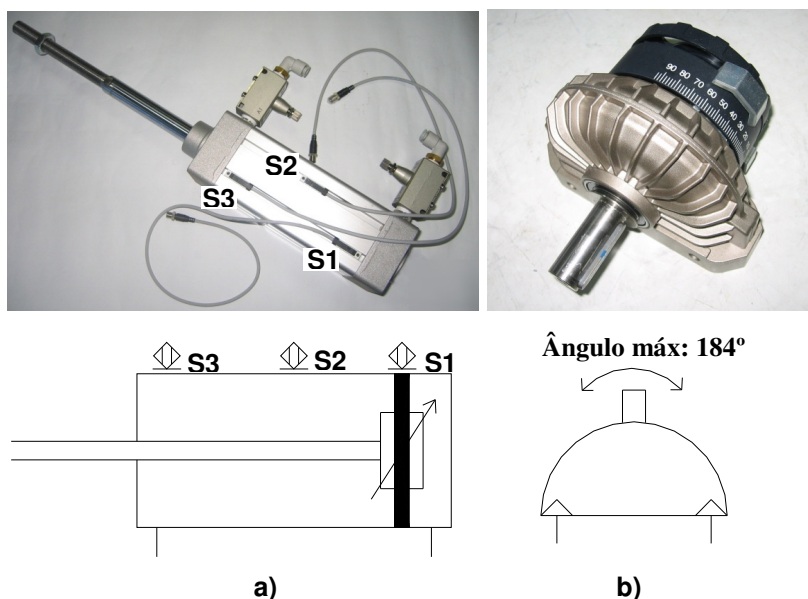


Figura 2. 2 Exemplo cilindro pneumático linear (a) e rotativo (b) e respectivos esquemas

Para executar os ensaios é necessário aplicar uma força resistente que simule a força que o cabo executa quando está instalado no automóvel. Para isso, são utilizados pesos calibrados (de 10N, 20N, 50N, etc.) ou molas.

Quando se pretende aplicar uma força resistente constante utilizam-se os pesos calibrados (Figura 2. 3 a)).

Quando se pretende que a força resistente, aplicada ao cabo, varie ao longo do movimento, utilizam-se molas (Figura 2. 3 b)).



a) b)
Figura 2. 3 Exemplos de um peso calibrado e molas

Quando os equipamentos são testados há normalmente necessidade de medir as forças a que os cabos estão sujeitos, de modo a ser possível comparar os desempenhos no início e no fim do ensaio.

Para conseguir medir as forças envolvidas no ensaio são utilizados dois métodos. O primeiro utiliza uma estrutura idêntica à referida anteriormente, e um conjunto de célula de carga e *display* digital (com amplificador analógico incorporado). Deste modo o operador pode actuar o cilindro e registar em papel a força máxima (Figura 2. 4).

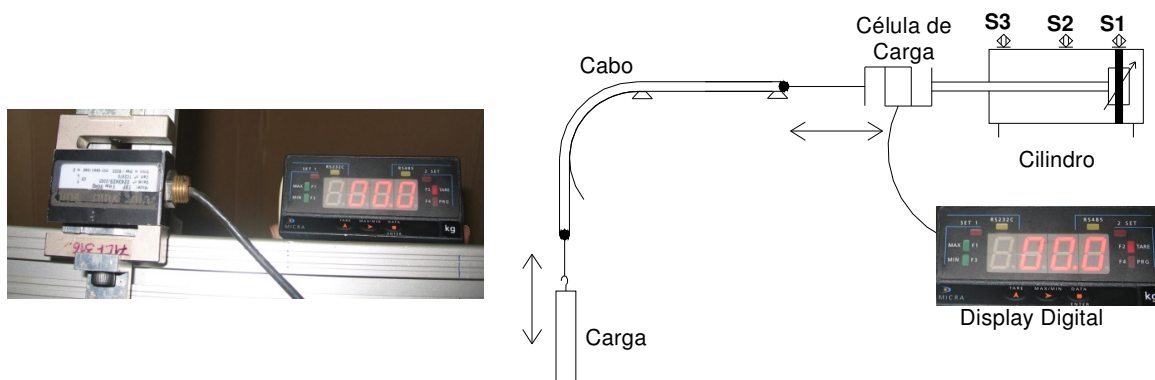


Figura 2. 4 Sistema de medição com célula de carga e *display* da força

O segundo método também utiliza uma estrutura para apoiar o cabo mas o accionamento é feito com força muscular do operador que, segurando num dinamómetro, tracciona o cabo (Figura 2. 5). O valor da força máxima é apresentado no mostrador do aparelho, permitindo assim que o operador registre os valores das forças do ensaio também em papel.



Figura 2. 5 Sistema de medição com dinamómetro

2.1.2 Procedimentos de execução dos ensaios

Devido à actual inexistência de um SAD automático no laboratório, houve necessidade de criar um procedimento que permitisse testar e retirar alguma informação sobre o comportamento dos cabos. Na falta de um sistema de controlo dos ensaios e como é impensável ter um operador a controlar e registar os valores das forças durante um teste completo, chegou-se à seguinte solução:

Criou-se um procedimento que divide o teste em três fases. A primeira, consiste em medir a Força Máxima Inicial exercida pelo cabo quando este é actuado; depois o cabo é submetido a um teste de durabilidade; por fim, é medida a Força Máxima Final exercida pelo cabo.

Para medir a força inicial (e final) exercida pelo cabo, utiliza-se uma estrutura específica (ver Figura 2. 6) para posicionar o cabo de modo a este ser testado ou é utilizada a mesma estrutura do ensaio de durabilidade – a ser discutido mais à frente - (Figura 2. 7) para fazer esta medição. Por actuação do cilindro pneumático (Figura 2. 6 b)) ou por actuação do operador (Figura 2. 7 b)), é feita a medição da força máxima exercida pelo cabo durante o deslocamento.

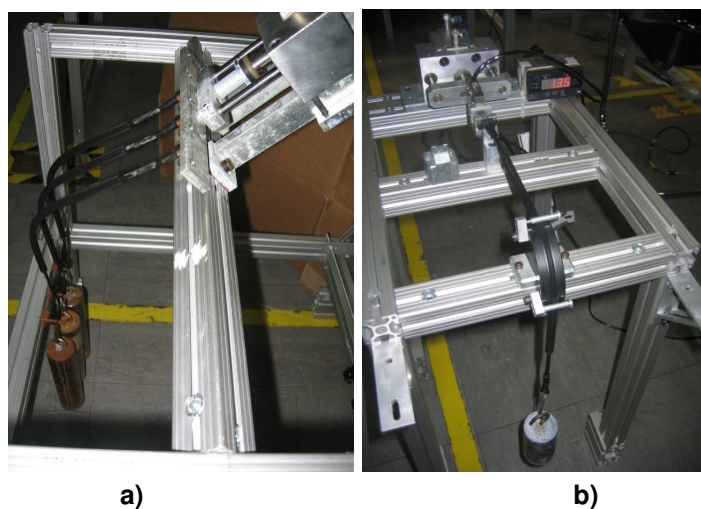


Figura 2. 6 Exemplo de estruturas diferentes (teste de durabilidade (a) e eficiência (b))

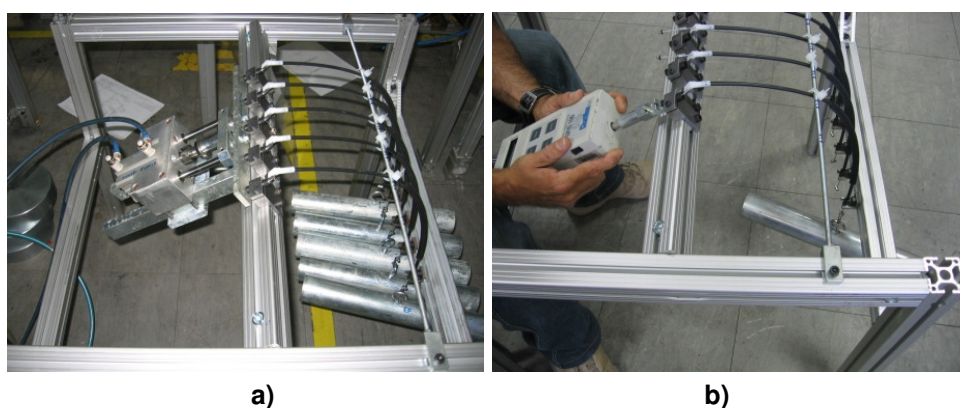


Figura 2. 7 Exemplo de estruturas iguais (teste de durabilidade (a) e eficiência (b))

Quer o teste utilize estruturas diferentes (Figura 2. 6) ou a mesma estrutura (Figura 2. 7), o **teste de eficiência** tem de ser executado da seguinte forma:

Depois de ser preparada a estrutura o cabo é actuado dez vezes e a medição só é feita no fim do teste, ou seja no décimo ciclo. Isto acontece porque há a necessidade de eliminar folgas e eventuais desalinhamentos ao longo do percurso do cabo, assim é possível que o cabo se ajuste ao layout. Considera-se que ao fim dos dez ciclos todas as folgas e desalinhamentos estão eliminados e é possível fazer-se a medição. Considera-se que só assim é possível medir-se a verdadeira força que o cabo faz “na primeira actuação”.

Quando é feita uma medição num cabo cuja carga aplicada é de 50 N, a Força Máxima Inicial que o cabo exerce pode atingir, por exemplo, os 58,2N. Neste caso, fazendo uma conta muito simples, é possível afirmar que o cabo tem uma Perda de Eficiência Inicial de 16,4%.

Depois da medição da força inicial segue-se o **teste de durabilidade**. Este teste pretende simular, em laboratório, o desgaste que o equipamento vai sofrer ao longo de alguns anos de utilização no automóvel. Os anos de vida são simulados através de um elevado número de actuações dos cabos e submetendo os cabos a diferentes condições ambientais durante o teste.

A Figura 2. 8 apresenta uma estrutura que é muito utilizada para este tipo de testes.

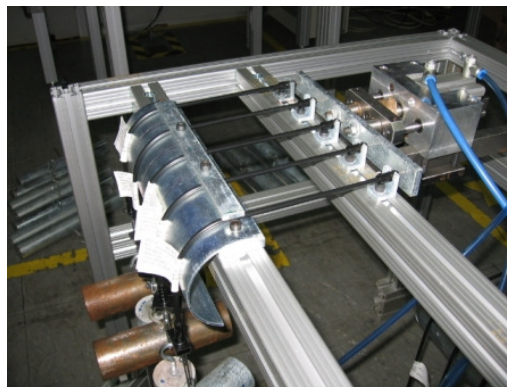


Figura 2. 8 Exemplo de uma estrutura para o ensaio de durabilidade

O número de ciclos do teste de durabilidade pode variar entre os 3 000 e os 100 000 ciclos, dependendo do produto a testar ou do grau de exigência do cliente.

Normalmente, quando se executa este teste, submetem-se os cabos a diferentes patamares de temperaturas e humidades durante uma parte do ensaio, acelerando o envelhecimento dos materiais do cabo e permitindo desta forma compreender como este se comporta ao longo da sua vida útil.

Um teste de durabilidade com 10 000 ciclos pode ter a seguinte configuração:

3 000 ciclos à temperatura ambiente;

1 500 ciclos a +85°C com uma humidade relativa de 95% Hr.

3 000 ciclos à temperatura ambiente;

1 500 ciclos a -40°C

1 000 ciclos a 0°C com uma humidade relativa de 5% Hr.

Dependendo dos clientes, pode haver necessidade de se fazer medições da eficiência do cabo em patamares de temperatura e humidade.

Raramente acontece mas existem situações em que os cabos são unicamente submetidos ao teste de durabilidade, tendo como único objectivo saber se o cabo suporta, ou não, o número de ciclos do ensaio.

No fim do teste de durabilidade os cabos são novamente submetidos a outra medição com vista a medir-se a Força Máxima Final exercida pelo cabo.

Utilizando o exemplo dado anteriormente, a carga aplicada ao cabo é de 50N mas, no fim do ensaio, pode ser medida uma Força Máxima Final de 62,4N. Isto traduz-se numa Perda de Eficiência Final de 24,8%.

Depois do ensaio terminar é ainda possível calcular a Perda de Eficiência por Degradação do cabo. Utilizando os valores dos exemplos anteriores, onde a Perda de Eficiência Inicial é de 16,4% e a Perda de Eficiência Final é de 24,8%, é possível determinar uma Perda de Eficiência por Degradação do cabo de 8,4% (basta fazer a diferença entre os valores).

Os resultados obtidos nestes testes são muito importantes pois o cliente pode-se basear nos resultados do ensaio no momento em que decide se aceita, ou não, o cabo proposto (analisa o cabo proposto versus desempenho obtido).

2.1.3 Lacunas de conhecimento

Depois de adquiridos os dados de um determinado ensaio, os operadores do laboratório tentavam analisar os dados obtidos. Mas como a representação das forças retiradas do ensaio só permitia apresentar um gráfico semelhante ao da Figura 2. 9, as conclusões adicionais eram poucas ou nenhuma.

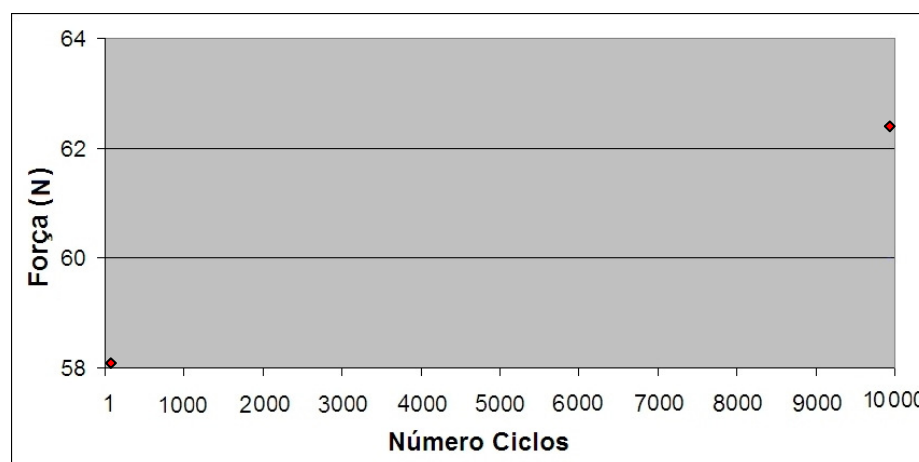


Figura 2. 9 Gráfico Força vs Ciclo, da força máxima inicial e final adquirida antes do sistema proposto

Como só são conhecidos dois pontos do gráfico não era possível saber, na realidade, qual é o comportamento real do cabo ao longo do ensaio. A única verificação possível é da Perda de Eficiência por Degradação do cabo que, como já vimos anteriormente é possível chegar-se a uma conclusão através de alguns cálculos, no gráfico fica visualmente mais perceptível essa diferença.

A Figura 2. 10 apresenta duas possibilidades do comportamento do cabo tendo como referência os mesmos pontos do gráfico anterior.

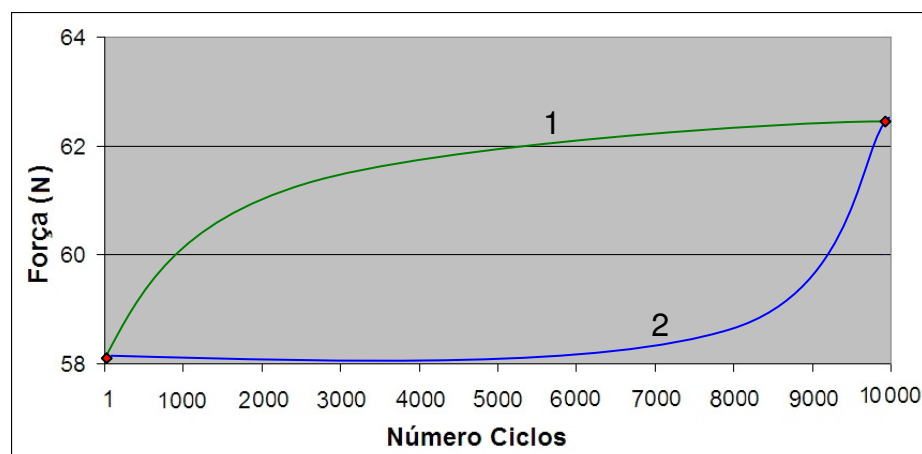


Figura 2. 10 Gráficos Força vs Ciclo, dois comportamentos possíveis do cabo

No caso da curva 1, podemos observar que a amostra inicialmente degrada-se de forma significativa no início do teste, mas a partir dos 3 000 ciclos tem um bom comportamento (pouca degradação e constante) até ao fim do teste.

No caso da outra curva 2, verifica-se que a amostra comporta-se muito bem até aos 7 500 ciclos, no entanto os ciclos finais são caracterizados por uma degradação muito acentuada até ao fim do ensaio.

Cada uma das curvas tem as suas vantagens e desvantagens que, dependendo do cliente, pode viabilizar, ou não, a aprovação do cabo proposto.

A Figura 2. 10 apresenta duas possibilidades do comportamento do cabo, num universo de algumas dezenas ou mesmo centenas de possibilidades.

O sistema a ser desenvolvido tem de conseguir medir e registar os valores das forças ao longo do ensaio, permitindo assim criar gráficos, semelhante ao da Figura 2. 10, com as forças executadas pelos cabos do durante o ensaio.

Depois de algumas conversas sobre o âmbito do projecto e como seria inserido no Laboratório da Ficocables, Lda., iniciou-se a fase de observação cuidada que permitisse conhecer as características e diferentes necessidades dos diversos ensaios. Observaram-se as lacunas existentes de forma a serem erradicadas. Após algumas visitas ao laboratório foi fácil perceber que algumas carências deviam-se ao facto de não existir um SAD automático, ou seja, o

problema não estava na maneira como os ensaios eram executados mas na forma como os ensaios eram monitorizados e como os valores eram registados/armazenados.

Em seguida discriminam-se algumas dessas situações:

- Como o laboratório não possuía um sistema de controlo e aquisição de dados automático para controlar os ensaios, as conclusões retiradas eram muito limitadas não permitindo que os operadores tivessem conhecimento do comportamento do cabo ao longo do ensaio;
- Para tentar otimizar os recursos do laboratório, era necessário deixar ensaios a funcionar durante os fins-de-semana. Se um ou mais cabos rebentassem, os operadores não conseguiam determinar o momento exacto em que isso tinha acontecido (dia e hora).
- Como não existia um SAD que controlasse e monitorizasse os ensaios, quando era necessário medir a eficiência dos cabos havia necessidade de executar o “Procedimento” explicado anteriormente no ponto 2.1.2. Como se trata de um *compromisso* significa que existe muita informação à qual os operadores não tinham acesso, não podendo analisar profundamente o comportamento do cabo.
- Como último exemplo, o modo como a aquisição dos valores das forças era feita. Os operadores utilizavam um indicador digital (Figura 2. 11) que apresentava as forças máxima, mínima e instantânea. Os operadores liam as forças e registavam-nas em papel, só posteriormente os valores eram armazenados no computador, para que se pudesse realizar o relatório final do ensaio.

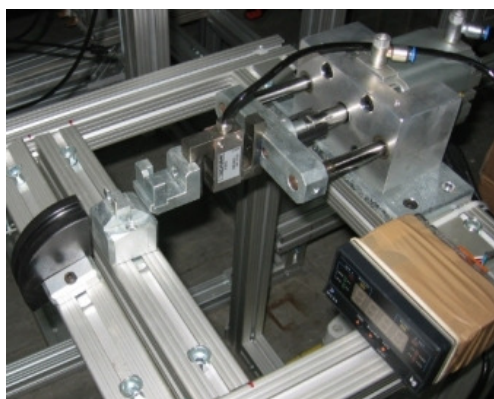


Figura 2. 11 Sistema utilizado para efectuar leituras das forças nos cabos

Actualmente, situações como estas já não fazem sentido e estão desenquadradas quando assistimos à grande evolução tecnológica em todas as áreas, especialmente na indústria automóvel.

Depois de serem detectadas e apontadas as deficiências do laboratório, e no sentido de as corrigir, este trabalho apresenta de seguida e de modo informal alguns requisitos a que o sistema a desenvolver deverá atender.

2.2 Ensaio tipo e parâmetros a adquirir

Neste ponto são apresentadas as diferentes características dos ensaios tipo e os diferentes parâmetros que se pretende adquirir em cada um deles.

A classificação dos ensaios é da responsabilidade do laboratório da Ficocables, Lda.

2.2.1 Ensaio com carga permanente

O “*layout*” apresentado na Figura 2. 12 é o normalmente utilizado quando se pretende ensaiar um *novo cabo* cujo “*layout real*” ainda não está perfeitamente definido. Desta forma, o laboratório pode fazer uma análise do comportamento do cabo numa fase inicial do projecto.

Os resultados da perda de eficiência obtidos com este ensaio são, normalmente, piores que os resultados obtidos com o “*layout real*”. Não obstante, este ensaio dá uma indicação preliminar do comportamento do cabo. Como se tratam de projectos de investigação e/ou desenvolvimentos (internos) da Ficocables, Lda., pode existir a necessidade de fazer alguns testes às diferentes versões dos cabos e verificar qual deles tem o melhor comportamento.

Este teste também é usado para avaliar novos materiais que vão aparecendo no mercado. Logo, numa perspectiva de *Benchmarking*, contribui para o desenvolvimento e melhoria contínua dos produtos da Ficocables, Lda.

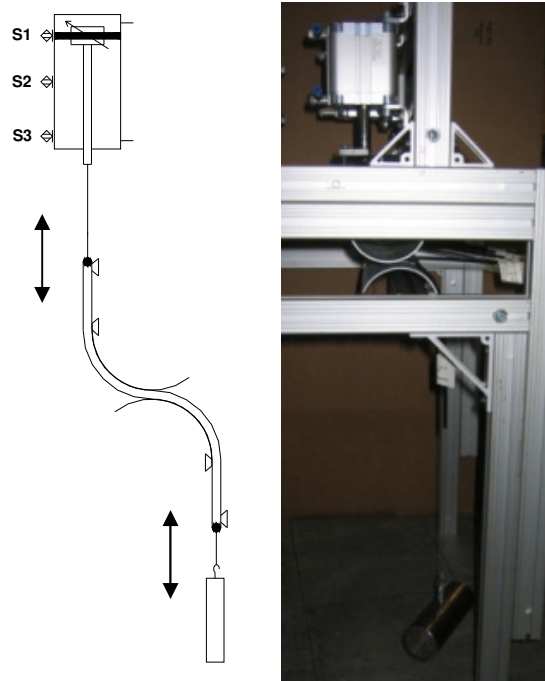


Figura 2. 12 Estrutura geral para ensaios de Durabilidade de cabos sem “layout” definido

O “*layout*” da Figura 2. 13 apresenta um ensaio de durabilidade realizado em cabos de abertura de porta.

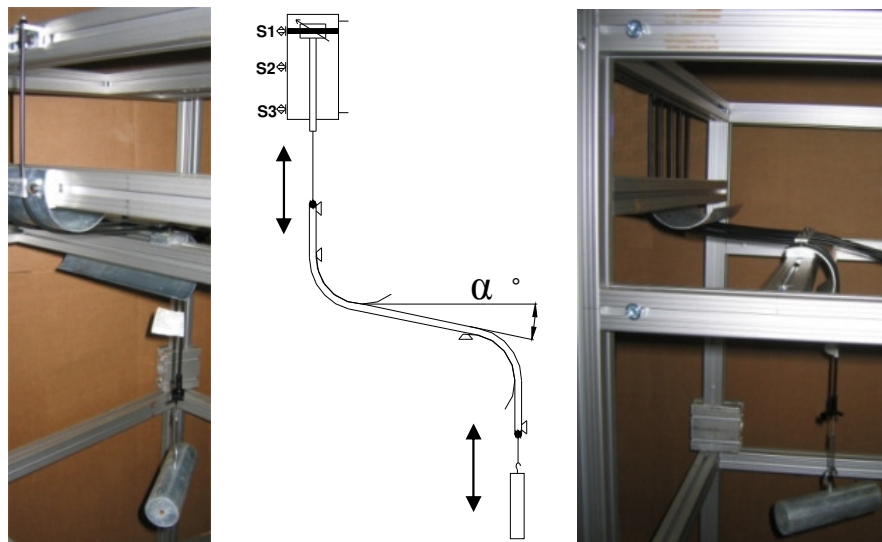


Figura 2. 13 Estrutura Geral para ensaios de Durabilidade a cabos de abertura de porta

A Figura 2. 13 retrata uma estrutura de ensaio de um cabo que também não tem “*layout real*” definido, mas desta vez foi o cliente que definiu a configuração do layout (menos agressivo que o anterior). O cliente pretende analisar as

perdas de eficiências do cabo numa fase preliminar do projecto; desta forma, é possível avaliar o comportamento da combinação dos materiais do tubo interior com o cabo metálico.

A Figura 2. 14 apresenta uma estrutura que é muito utilizada para ensaios de cabos a diferentes temperaturas, dentro de uma câmara climática.

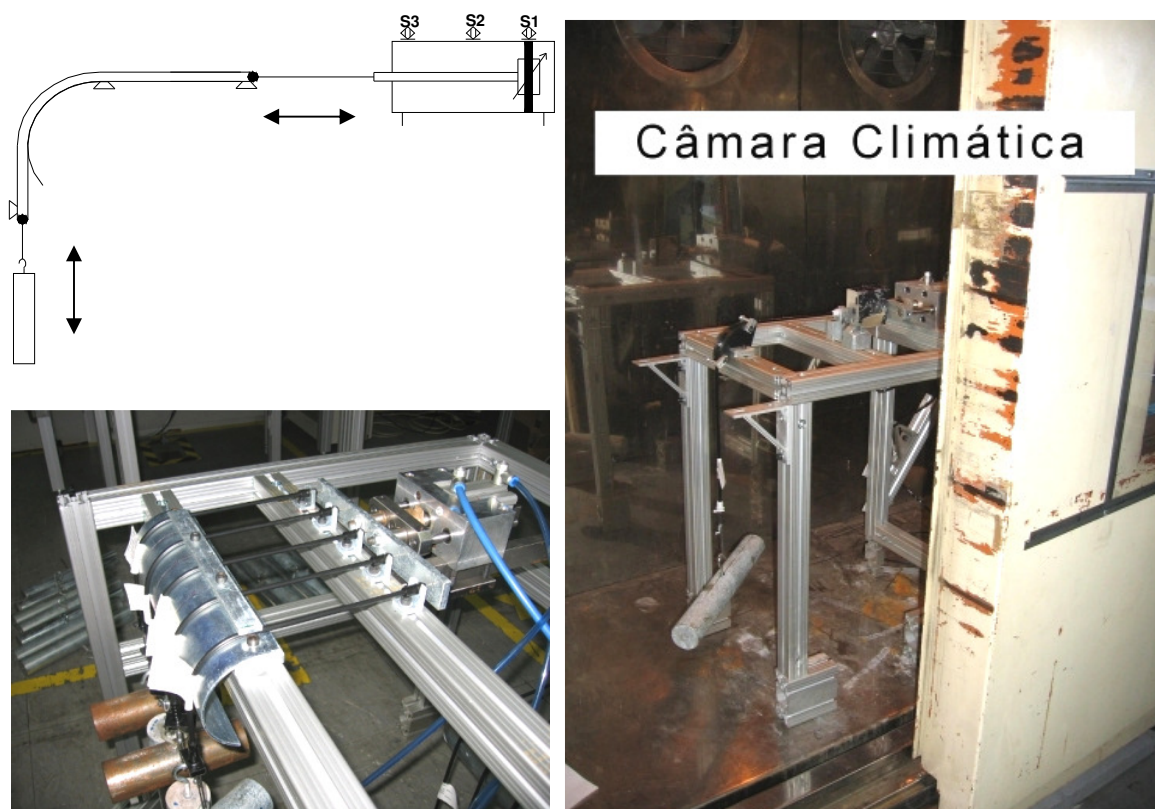


Figura 2. 14 Estrutura utilizada para ensaios de eficiência e durabilidade

Os ensaios apresentados anteriormente permitem medir e analisar as forças, atritos, a que os cabos estão sujeitos quando testados.

A característica comum dos ensaios apresentados é o facto da carga estar permanentemente aplicada ao cabo.

Os testes com carga permanente têm um comportamento da força versus tempo e deslocamento versus tempo, semelhante ao apresentado na Figura 2. 15.

Para medir o comportamento da força ao longo do tempo foi implementada um sistema *ad-hoc*, com uma placa de aquisição de dados, uma frequência de

amostragem bastante elevada, para este tipo de sistema (1000 amostras/seg.), permitindo fazer uma representação gráfica, considerada, contínua. Desta forma foi possível adquirir o gráfico apresentado na Figura 2. 15, bem como os gráficos dos ensaios tipo apresentados nos pontos seguidos.

Neste momento foi possível perceber que para além de automatizar os ensaios era também necessário retirar informação dos testes que permitisse conhecer aprofundadamente os comportamentos dos diferentes ensaios.

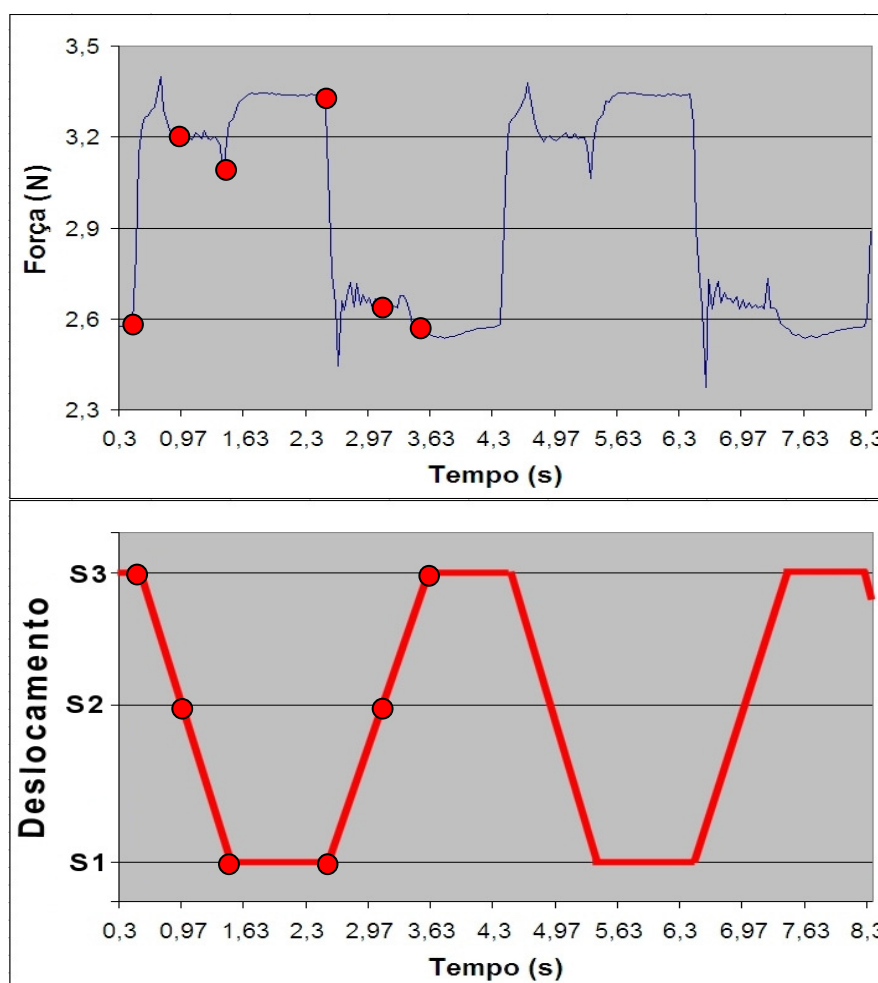


Figura 2. 15 Força vs Tempo e Deslocamento vs Tempo – carga permanente

Considere-se que, no gráfico Deslocamento versus Tempo, o deslocamento de S3 para S1 significa que o cilindro está a recuar e quando vai de S1 para S3 o cilindro está a avançar.

Ao analisar o gráfico apresentado na Figura 2. 15 e analisando o método de medição que o Laboratório usava até à data, foi possível concluir que os

operadores têm medido sempre a força máxima de tracção do cabo, correspondente ao pico de força, como se pode ver na Figura 2. 16.

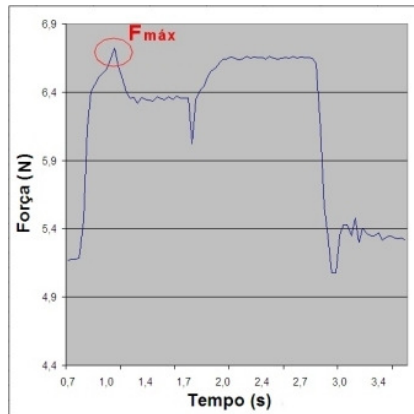


Figura 2. 16 Força medida antes do SAD implementado

Quando estes dados foram apresentados aos responsáveis do departamento técnico e do laboratório da Ficocables, Lda. foi possível perceber que eles nunca tinham observado um gráfico com o real comportamento da força dos ensaios. Depois dos gráficos serem analisados foi possível perceber que a medição da força máxima em cada ciclo, por vezes, era insuficiente. Por isso o sistema a ser desenvolvido teria de permitir outro tipo de medidas (explicadas nos pontos seguintes).

Neste caso o sistema a ser desenvolvido teria de permitir a aquisição de duas forças máximas em cada um dos ciclos do ensaio (Figura 2. 17).

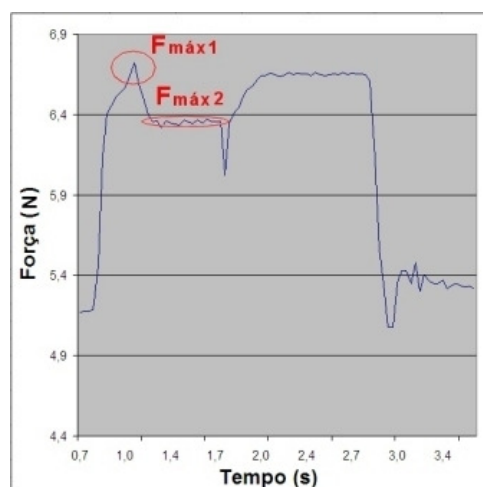


Figura 2. 17 Forças pretendidas no ensaio de carga permanente

A aquisição das duas forças é importante, porque cada uma delas fornece uma informação diferente. A $F_{máx1}$ descreve a força máxima do atrito estático e a $F_{máx2}$ descreve a força máxima do atrito dinâmico.

O atrito estático, traduz-se na força resistente oferecida pelo cabo imediatamente antes do movimento iniciar, enquanto o atrito dinâmico representa a resistência oferecida pelo atrito do cabo durante o movimento.

2.2.2 Ensaio com carga variável

Neste ensaio a carga não está sempre aplicada ao cabo. Durante um ciclo vai haver momentos em que a carga vai estar apoiada no chão (Figura 2. 18).

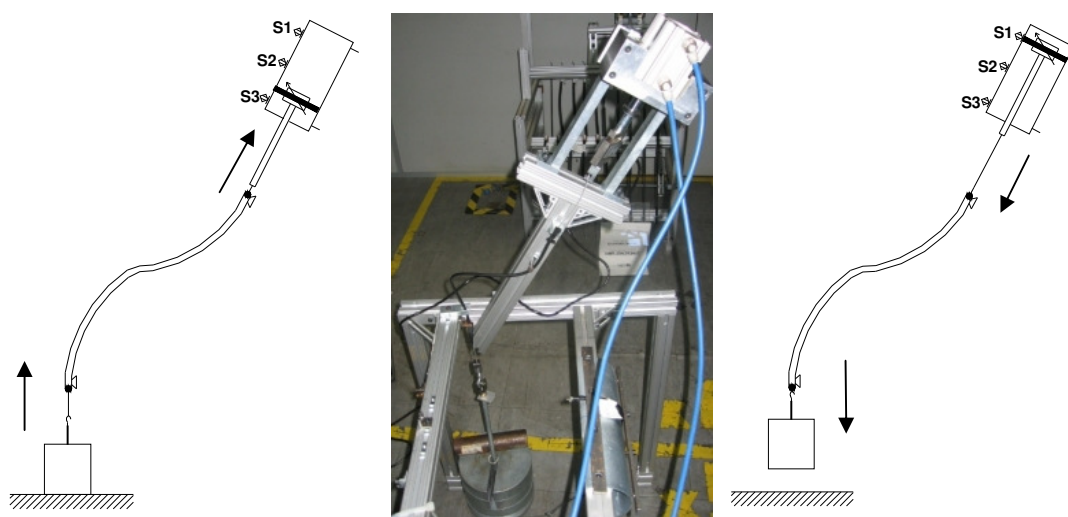


Figura 2. 18 Esquema de teste de eficiência com carga variável

Este ensaio testa um cabo de elevador do vidro de uma janela de um automóvel.

O comportamento das forças vs tempo, para este tipo de ensaios, pode ser visualizado na Figura 2. 19.

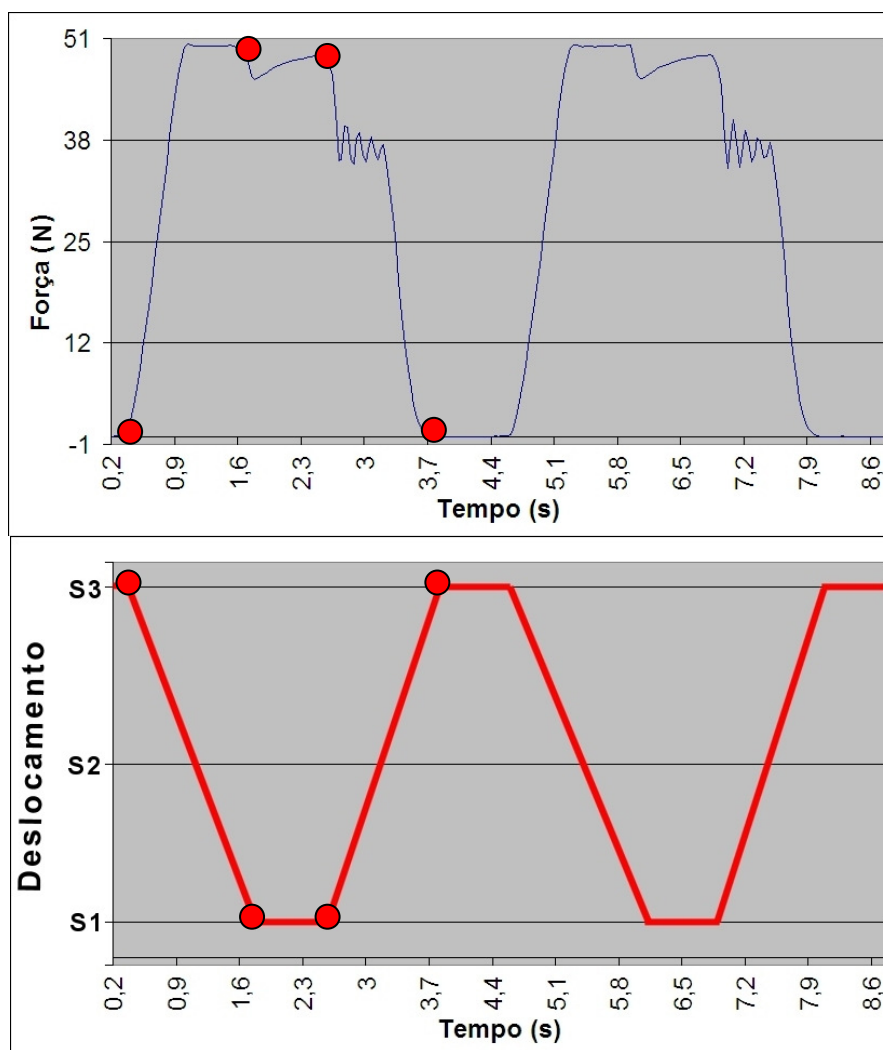


Figura 2. 19 Força vs Tempo e Deslocamento do cilindro vs Tempo - carga variável

Neste caso, existe uma força que vai aumentando progressivamente à medida que o cilindro vai recuando (passa do fim-de-curso S3 para S1). Quando a carga é totalmente elevada a força não aumenta mais até que o cilindro pára.

O gráfico não apresenta um pico de força inicial, como o ensaio anterior, porque quando o cilindro inicia o seu movimento a carga está totalmente apoiada no suporte e não no cabo. À medida que o cabo vai sendo traccionado a força vai aumentando. Quando a carga é totalmente elevada o cilindro já se encontra em movimento, por isso não tem de vencer a força de atrito estático não existindo o pico de força correspondente a esta força.

Neste tipo de ensaios o gráfico Força vs Tempo é semelhante ao apresentado na Figura 2. 20.

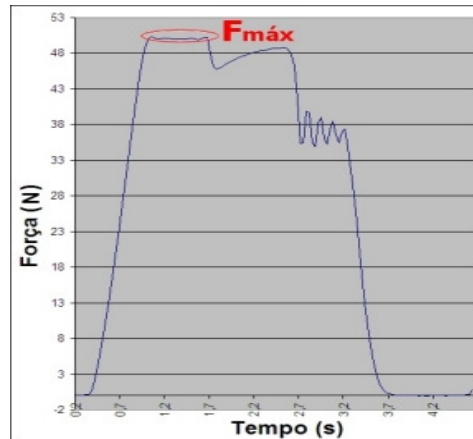


Figura 2. 20 Forças pretendidas no ensaio de carga variável

A força pretendida neste tipo de ensaios é a $F_{máx}$ que corresponde à força de atrito dinâmico, já que neste caso não existe força de atrito estático.

2.2.3 Ensaio de cabos Push-Pull

A estrutura apresentada na Figura 2. 21 foi concebida para testar cabos com a função denominada “Push-Pull”. Como o próprio nome indica, este cabo vai estar sujeito a uma força de compressão (Push) e a uma força de tracção (Pull).

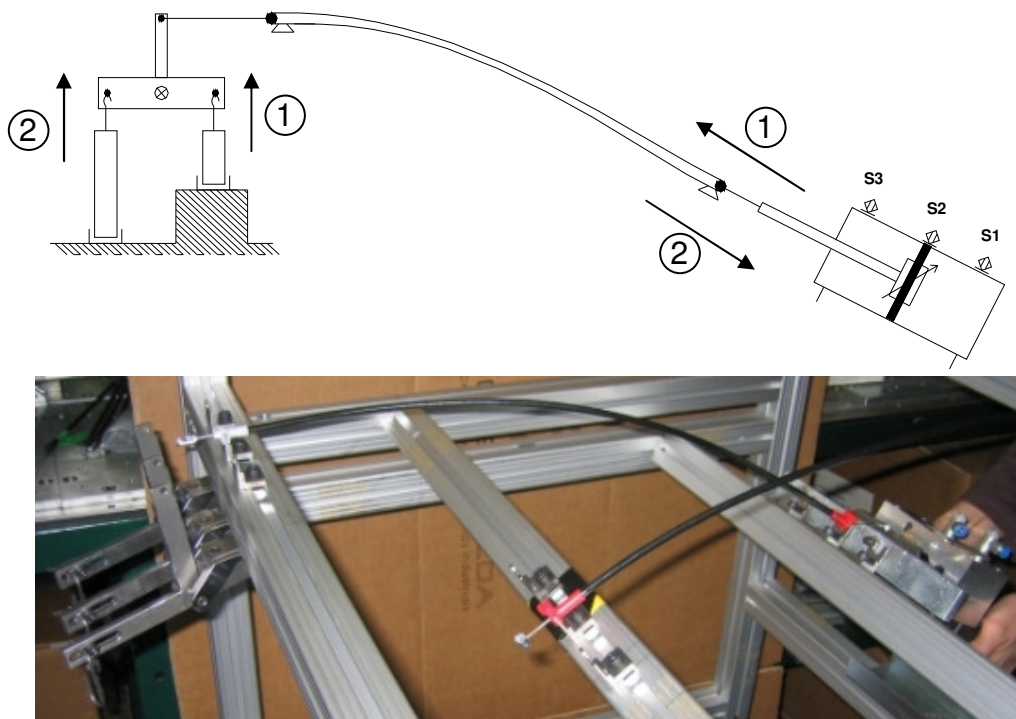


Figura 2. 21 Esquema de Teste de durabilidade do cabo “Push-Pull”

Normalmente este tipo de cabo é utilizado, por algumas marcas de automóveis, nos fechos das portas. Quando o cabo é actuado num dos sentidos este abre a porta (Pull), quando é accionado no sentido contrário tranca a porta (Push).

Este ensaio tem um comportamento força vs tempo idêntico ao apresentado na Figura 2. 22.

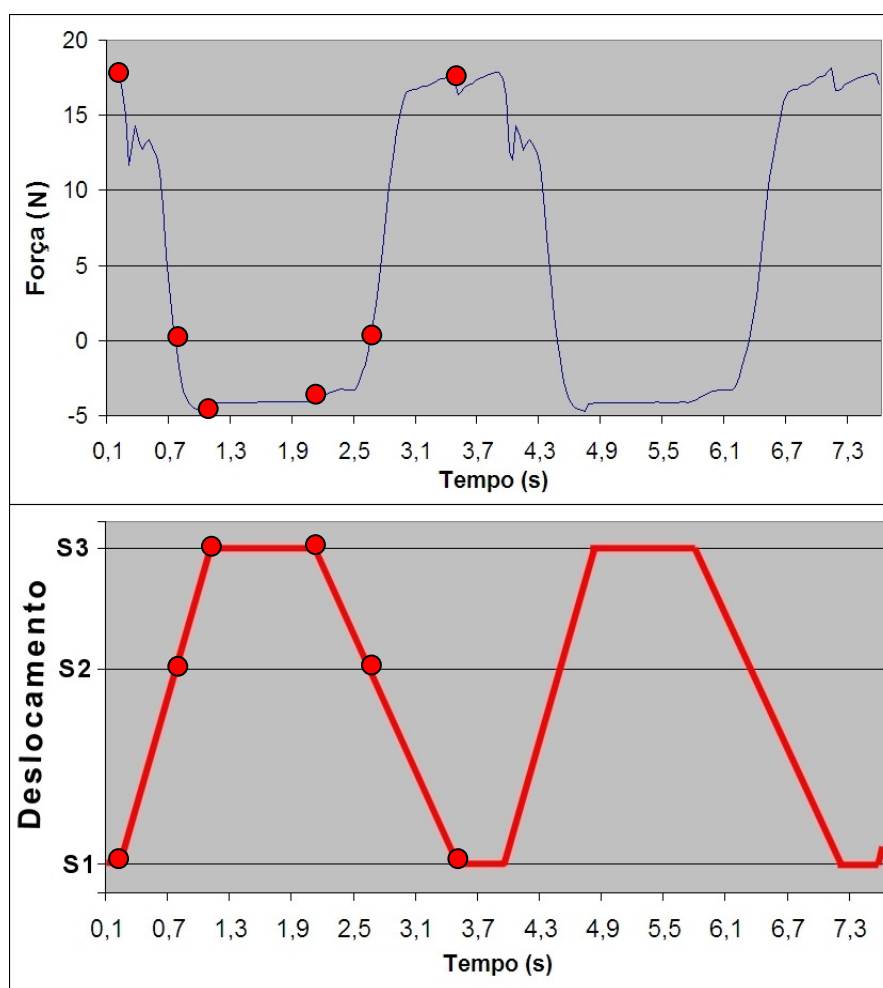


Figura 2. 22 Gráfico Força vs Tempo e Deslocamento do cilindro vs Tempo - cabo Push-Pull

Comparando o comportamento deste tipo de cabo com os cabos apresentados anteriormente é possível ver-se que a força apresenta valores positivos (tracção) e negativos (compressão) devido à dupla função do cabo Push-Pull.

Nos ensaios deste tipo pretende-se medir duas forças ao longo do ciclo. Na Figura 2. 23 está apresentado um exemplo.

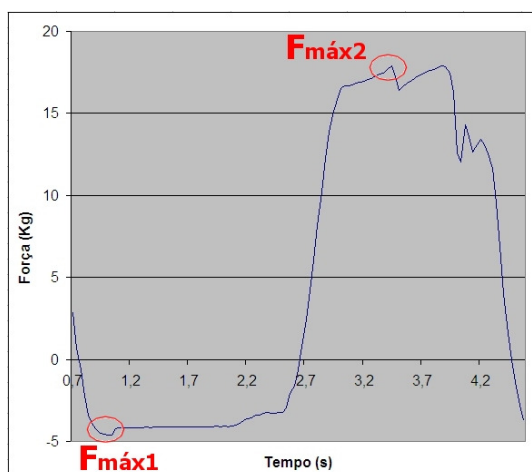


Figura 2. 23 Forças pretendidas no ensaio com cabos “Push-Pull”

Neste ensaio pretende-se conhecer o valor da força máxima na compressão ($F_{máx1}$) e a força máxima na tracção ($F_{máx2}$).

2.2.4 Ensaio de cabos de assentos

Este ensaio pretende testar os cabos de desencravamento dos assentos dos automóveis. Como se pode ver na Figura 2. 24, nestes testes são utilizados assentos reais disponibilizados pelos clientes da Ficocables, Lda., para que as condições do ensaio simulem, o melhor possível, as condições reais de utilização dos cabos.

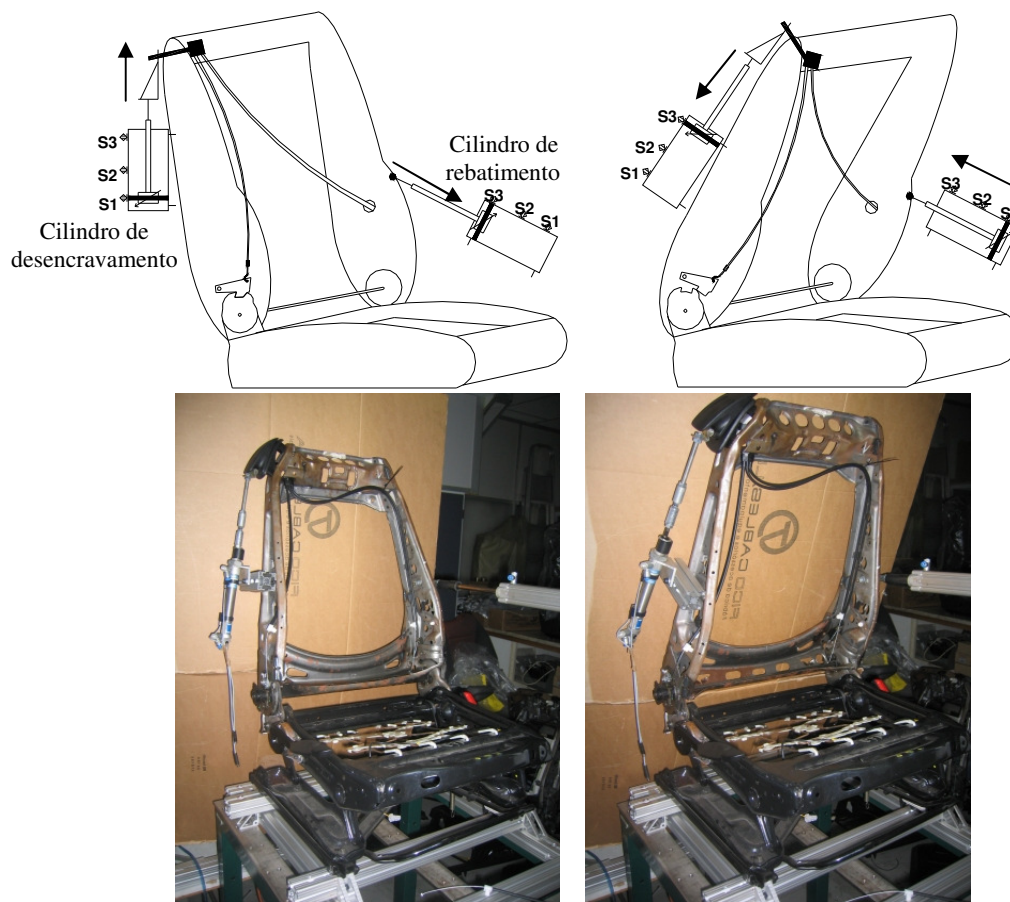


Figura 2. 24 Esquema de Teste de durabilidade de cabos de assento

Este ensaio tem um comportamento força vs tempo semelhante ao apresentado na Figura 2. 25.

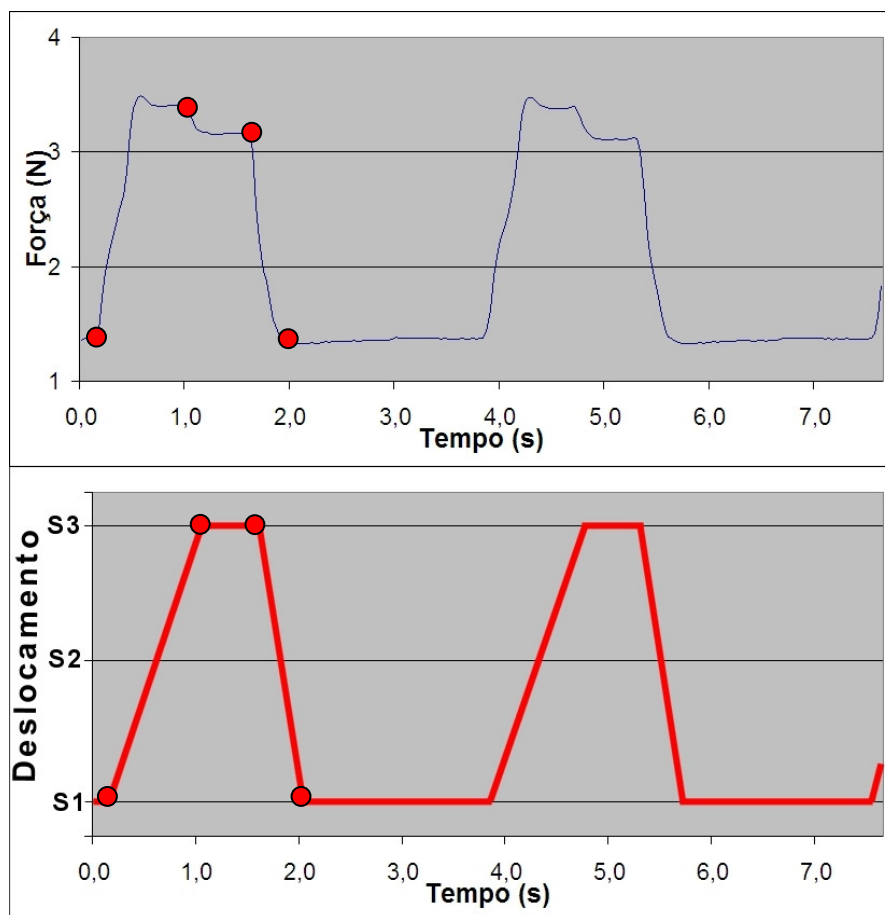


Figura 2. 25 Gráfico Força vs Tempo e Deslocamento do cilindro vs Tempo-cabo assento

Na Figura 2. 26 pode ver-se quais as forças pretendidas, em cada ciclo, para este tipo de cabos.

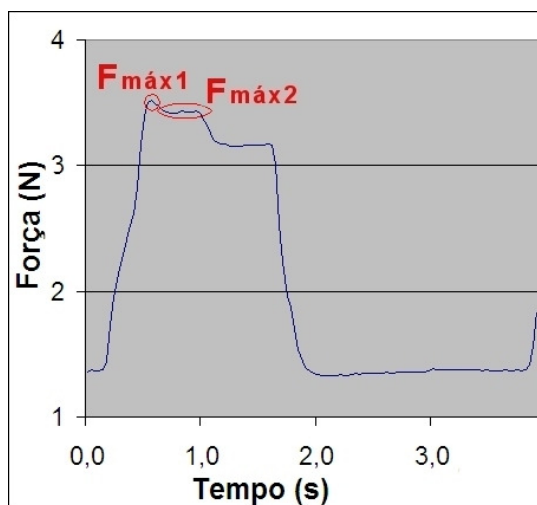


Figura 2. 26 Forças pretendidas no ensaio de cabos de assento

Estas forças são importantes, porque cada uma delas fornece informações diferentes. A $F_{máx1}$ descreve a força máxima do atrito estático e a $F_{máx2}$ descreve a força máxima do atrito dinâmico.

2.2.5 Ensaio com carga por molas

À semelhança das estruturas dos outros ensaios, a estrutura da Figura 2. 27, foi concebida para testar a durabilidade de cabos de elevador de janela. Neste caso, como a força resistente é relativamente elevada e varia com o deslocamento, os técnicos do laboratório tiveram de colocar molas com uma característica (K) conhecida para simularem a carga resistente.

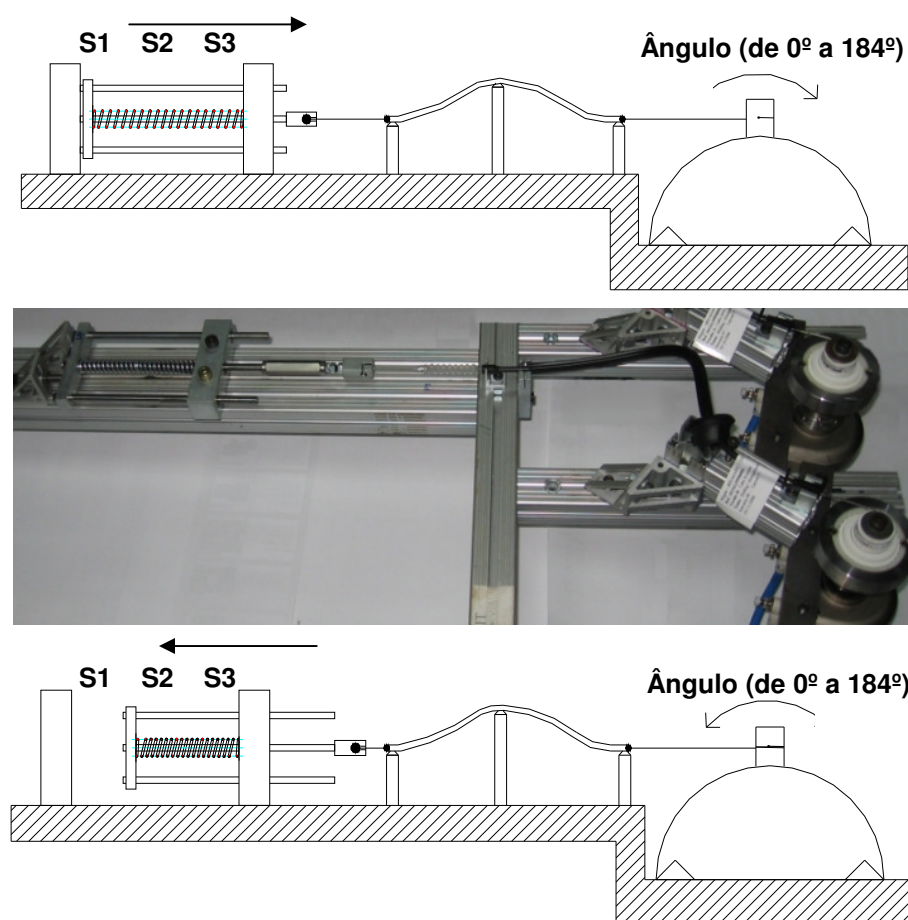


Figura 2. 27 Esquema de Teste de durabilidade do cabo com mola

Esta estrutura utiliza um cilindro rotativo pneumático para actuar o cabo. Isto acontece porque, no veículo, este cabo é actuado por um motor eléctrico rotativo onde, por sua vez, está acoplada uma roldana onde o cabo enrola e desenrola para abrir ou fechar a janela, respectivamente.

Utilizam-se cilindros rotativos para que os testes simulem, o melhor possível, as condições de utilização dos cabos.

Na Figura 2. 28 pode ver-se o comportamento força vs tempo deste tipo de cabos.

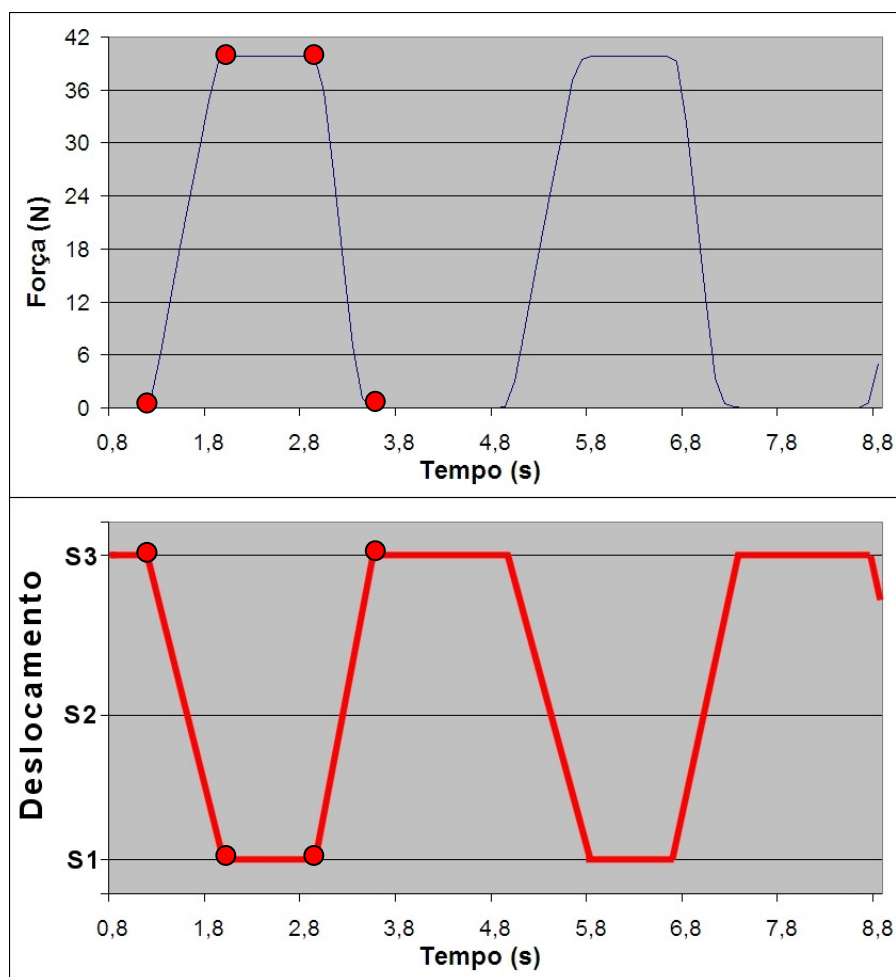


Figura 2. 28 Gráfico Força vs Tempo de um ensaio com molas

Neste tipo de testes pretende-se guardar o valor da força máxima em cada ciclo do teste.

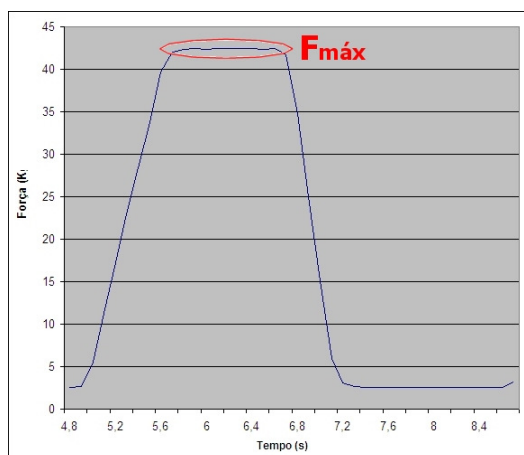


Figura 2. 29 Ensaio Durabilidade com Carga Resistente simulada por Molas

Como é a mola que introduz a força resistente no sistema, à medida que a mola vai sendo comprimida a força vai aumentando de forma proporcional. Analisando o gráfico é possível ver-se que a força máxima é atingida quando o cilindro pára de se mover, fazendo com que o sistema pare de comprimir a mola o que faz com que a força pare de aumentar.

Temos então, unicamente, uma força máxima ($F_{máx}$) quando o sistema pára de comprimir a mola (cilindro rotativo pneumático pára de rodar).

Feita a apresentação dos tipos de ensaios realizados no laboratório da Ficocables, Lda., resume-se na Tabela 2. 1 as exigências de cada um.

Tabela 2. 1 Resumo das exigências dos ensaios

Tipo de Ensaio	Forças registadas manualmente, no início e no fim do ensaio	Forças a registar em todos os ciclos com o SAD
Carga Permanente	$F_{máx1}$	$F_{máx1}$ e $F_{máx2}$
Carga Variável	$F_{máx}$	$F_{máx}$
Cabos “Push-Pull”	$F_{máx1}$ e $F_{máx2}$	$F_{máx1}$ e $F_{máx2}$
Cabos dos Assentos	$F_{máx1}$	$F_{máx1}$ e $F_{máx2}$
Carga Simulada por Molas	$F_{máx}$	$F_{máx}$

Convém referir que os operadores do laboratório e os responsáveis do departamento técnico da Ficocables, Lda. tinham uma ideia do comportamento, das forças, dos diferentes ensaios, mas só quando lhes foi apresentado este estudo, com este detalhe, foi possível perceber o real comportamento dos diferentes ensaios. Depois de analisados os gráficos dos ensaios foram sugeridas aquisições de outras forças (importantes) que eles não conseguiam registar sem o SAD (Tabela 2. 1).

2.3 Objectivos do sistema a desenvolver

Analisados os diferentes ensaios tipo, compreendidas as diferenças entre eles e levando em consideração as diferentes exigências da Ficocables, Lda., é possível nesta fase definir os requisitos a atender no desenvolvimento do sistema automatizado de controlo de ensaios do laboratório.

Alguns dos objectivos visavam “simplesmente” a automatização dos processos experimentais mais típicos e correcções das lacunas existentes no laboratório. Outros tinham objectivos mais amplos e nobres: pretendiam preparar o laboratório para dar resposta a testes mais numerosos e exigentes, ao mesmo tempo que se tentava otimizar (e dignificar) os recursos humanos atribuindo-lhes tarefas de engenharia em detrimento de tarefas rotineiras.

Muito concretamente, pretendia-se que o sistema a desenvolver exibisse:

- i) custo reduzido;
- ii) normalização na escolha dos equipamentos e estruturas que compõe o sistema de controlo dos ensaios;
- iii) implementação simples e faseada que não implicasse a paragem prolongada do laboratório para a sua instalação;
- iv) desenvolvimento de uma interface de fácil utilização onde os operadores do laboratório possam controlar os ensaios e aceder à informação armazenada dos ensaios, criando relatórios automáticos;
- v) interface “*userfriendly*” e intuitiva não sendo necessário nenhuma formação específica para trabalhar com o sistema desenvolvido;
- vi) tornar as medições, das forças, mais sistemáticas e rigorosas.

Em suma, pretende-se adquirir informação que permita um maior e melhor conhecimento dos ensaios.

Por outro lado, o sistema a automatizar tem de permitir o seguinte:

- i) Realizar testes em locais distintos no laboratório, podendo existir uma distância máxima de 25 metros entre bancadas (ex: uma das câmaras climáticas encontra-se no andar inferior do Laboratório);
- ii) Testar uma gama muito alargada de testes aos seus produtos;
- iii) Preparar e configurar os ensaios de uma forma tão simples quanto possível e assistida por computador;
- iv) Controlar automaticamente dez bancadas (controlar os sensores e actuadores envolvidos em cada ensaio);
- v) Adquirir os sinais provenientes dos transdutores e dos sensores instalados em cada bancada experimental – i.e., aquisição automática e em tempo-real das forças envolvidas em cada ensaio;
- vi) Detectar situações anómalas no decurso do ensaio e respectiva geração de sinais de alarme para os operadores e lançamento automático de procedimentos de excepção;
- vii) Controlar a bancada no local do ensaio;
- viii) Medir a temperatura e humidade de três locais, do ambiente do laboratório e de duas câmaras climáticas onde são testados os cabos;
- ix) Desenvolver o Sistema numa plataforma aberta;
- x) Ser flexível e facilmente readaptável (tem de ser possível qualquer um dos tipos de cabos em qualquer uma das bancadas);
- xi) Configurar as novas sequências dos ensaios;
- xii) Consultar os dados do ensaio em curso remotamente através de “front-ends” gráficos;
- xiii) Centralizar o armazenamento dos dados recolhidos numa BdD;
- xiv) Gerar os relatórios dos ensaios de forma automática;
- xv) Ser facilmente expansível no futuro.

Também foi ponderada a possibilidade de vídeo vigilância dos ensaios através da Web e a existência de um sistema de envio de mensagens SMS para avisar os operadores quando são detectadas situações anómalas nos ensaios. Como não se tratavam de funcionalidades prioritárias acabaram por ser preteridas para uma segunda fase. Contudo, o sistema ficou tecnologicamente preparado para as receber com naturalidade num futuro próximo.

2.4 Possíveis pontos de partida

A necessidade de controlar ensaios que se estendem por uma área geográfica considerável – ou seja, por diferentes locais no laboratório e em diferentes pisos – torna pouco razoável a opção por um sistema de controlo totalmente centralizado (ver Figura 2. 30), onde todos os sinais de instrumentação (com origem em transdutores e sensores) teriam de chegar e de onde todas as ordens de comando dos equipamentos de teste teriam de partir. Contudo, é uma solução relativamente atraente quando se pensa que todos os dados estão concentrados num único local [2].

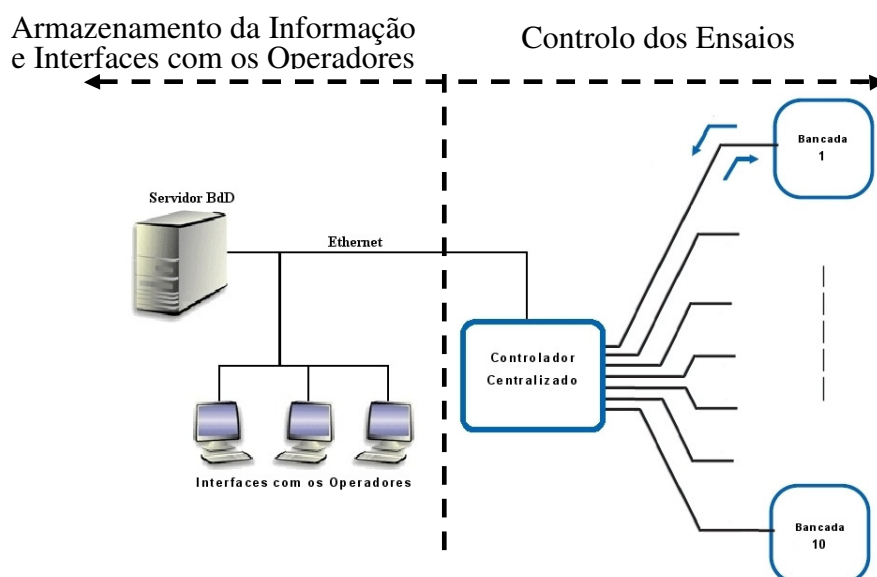


Figura 2. 30 Arquitectura de um sistema totalmente centralizado [2]

Em alternativa, foi considerada a possibilidade de ter um sistema com processamento distribuído onde cada bancada tem o seu controlador. Esta arquitectura podia-se basear em PC's (Figura 2. 31) ou em PLC's (Figura 2. 32). Porém, as funções que os controladores teriam de desempenhar seriam, quando vistas individualmente, relativamente simples. Ter-se-ia assim um sistema caro e muito subaproveitado.

Por outro lado, estes pequenos sistemas de controlo e aquisição de dados teriam de comunicar com um outro, hierarquicamente superior, de forma a centralizar aí os dados que ficariam disponíveis para os operadores

consultarem através dos seus PC's de trabalho. Esta situação impõe a necessidade de outro tipo de software que iria aumentar, ainda mais, o custo do sistema.

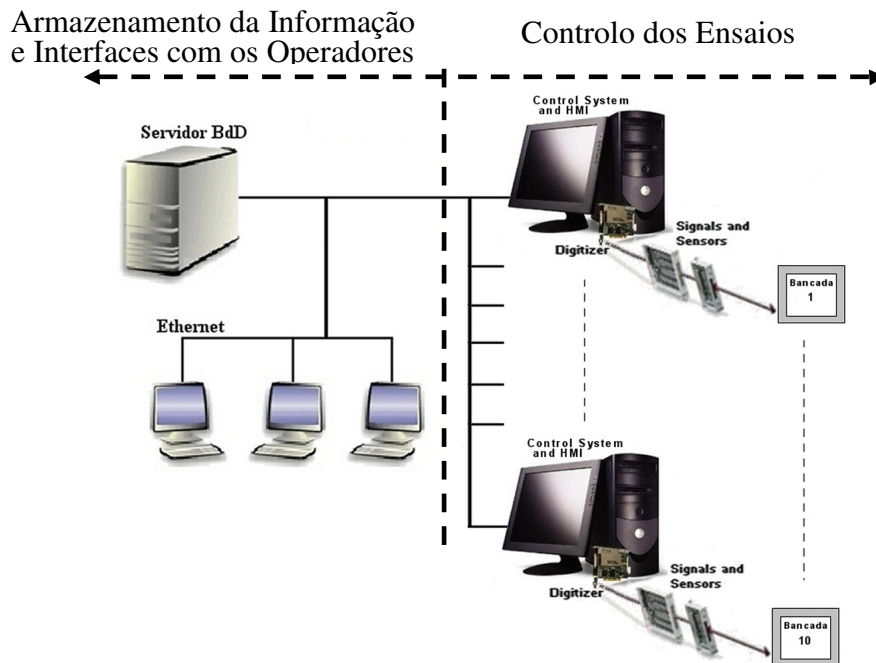


Figura 2. 31 Arquitectura com processamento distribuído, baseado em PC's [5]

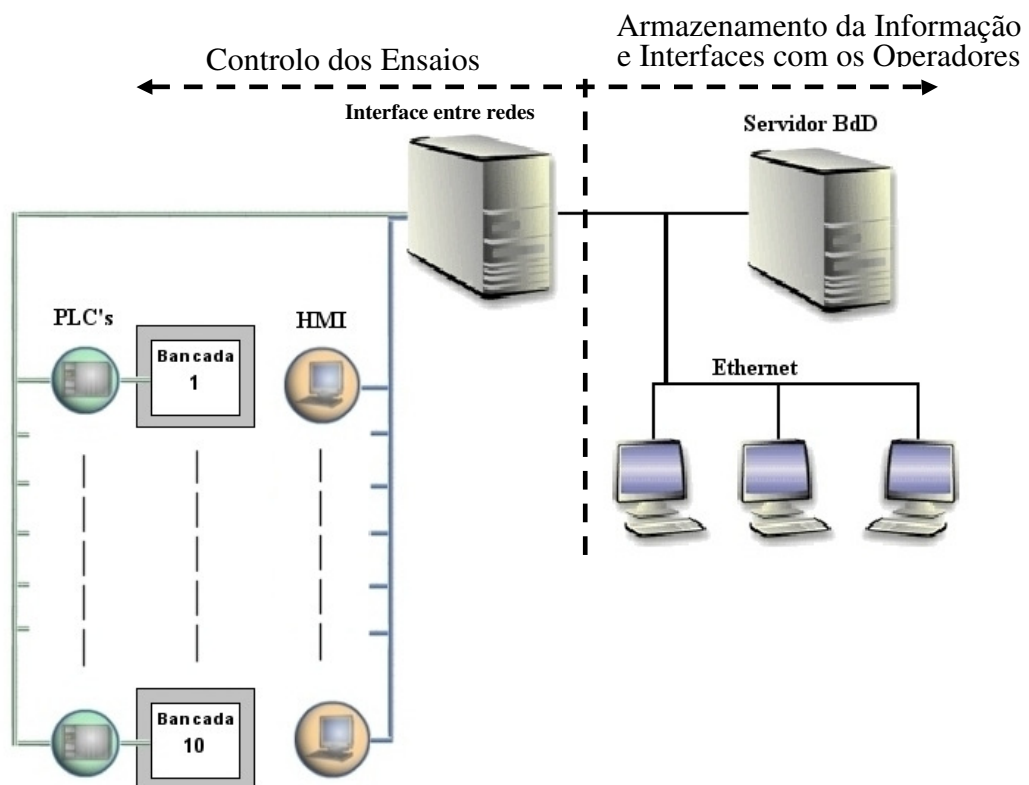


Figura 2. 32 Arquitectura com processamento distribuído, baseado em PLC's [6]

Na arquitectura baseada em PLC's, ponderou-se a utilização de uma rede de comunicação que permitisse que estes se interligassem a um sistema de supervisão onde seria centralizada toda a informação relevante sobre os ensaios. Contudo, a ligação em rede obriga a utilizar PLC's de custo significativo, sobretudo se se optasse por uma rede não proprietária - i.e., aberta.

As soluções apresentadas têm ainda outro inconveniente, como tem de ser possível a criação de novas sequências para testar os cabos, obrigava os operadores a terem uma formação específica. Só assim teriam capacidades de fazer alterações no programa de controlo dos ensaios.

Ponderou-se então a possibilidade de utilizar um PC a controlar I/Os remotos através de uma rede de comunicação normalizada i.e., com um protocolo de comunicação aberto (Figura 2. 33). Naturalmente que esta solução exige mais desenvolvimento de software, mas dispensa a utilização de um sistema de supervisão comercial (sistema fechado) e facilita a troca de informação com outros recursos informáticos da empresa (BdD e interfaces com os operadores). Note-se que, neste caso, o sistema de controlo permite desenvolver um sistema à medida do cliente. Podem ser utilizadas diferentes linguagens de programação para desenvolver as interfaces gráficas. O desenvolvimento das interfaces pode ajudar os operadores a compreender como o sistema funciona e ao mesmo tempo não obriga que os operadores tenham uma formação específica sobre as linguagens de programação - utilizadas para desenvolver as interfaces - nem sobre o modo de funcionamento do protocolo de comunicação utilizado no sistema.

O sistema pode ser facilmente utilizado bastando para isso fazer algumas configurações e parametrizações.

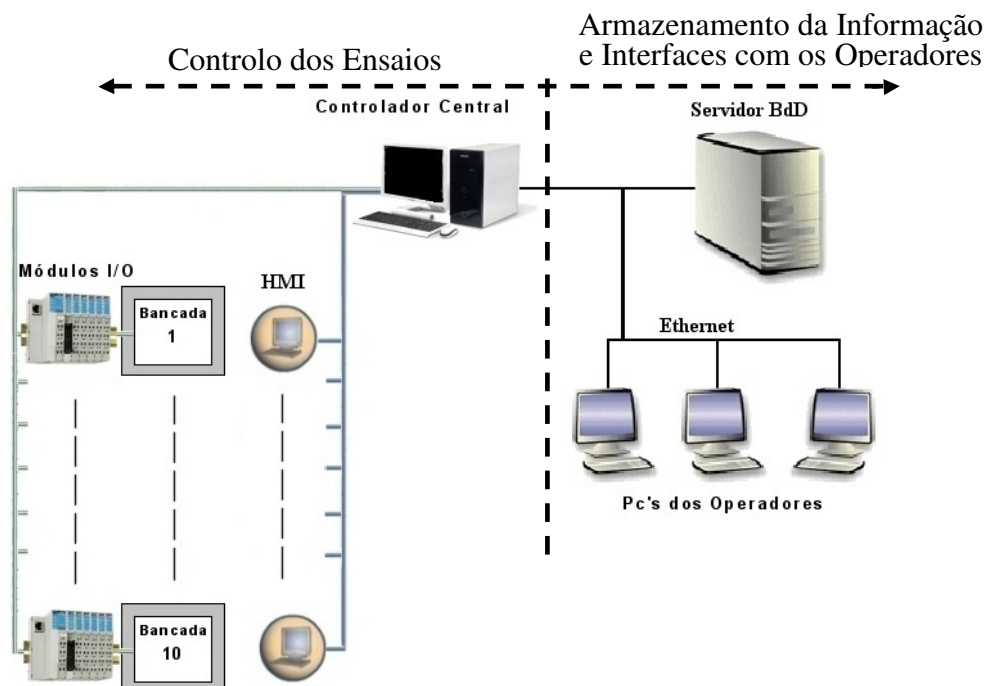


Figura 2. 33 Exemplo de Sistema com processamento centralizado

Esta arquitectura tem vindo a ser utilizada com sucesso por outras empresas da Indústria Automóvel (por ex: PREH Portugal, Lda.) permitindo satisfazer as exigências e as necessidades dos respectivos processos automatizados. Quando se comparou os processos automatizados desenvolvidos nestas empresas e o processo que se pretende automatizar no laboratório da Ficocables, Lda. é possível verificar que existem bastantes semelhanças: o processo a controlar não é muito complexo; há a necessidade de um SAD flexível e adaptável a diferentes situações e pretende-se uma fácil integração e troca de informação com BdD e interfaces dos operadores.

2.5 Eleição da solução

Depois de analisadas as arquitecturas apresentadas no ponto anterior foi possível chegar-se à conclusão que uma solução económica que satisfaz todos os pré-requisitos definidos pela Ficocables, Lda. foi uma arquitectura baseada na Figura 2. 34. Trata-se de um sistema com um controlador central que utiliza uma rede CAN para comunicar com as bancadas distribuídas na rede, o qual se interliga a outros sistemas informáticos através de uma rede TCP/IP. Cada bancada de ensaios representa tipicamente dois nós na rede CAN: um Módulo I/O com dez entradas digitais, três entradas analógicas e quatro saídas digitais, e uma consola táctil (HMI).

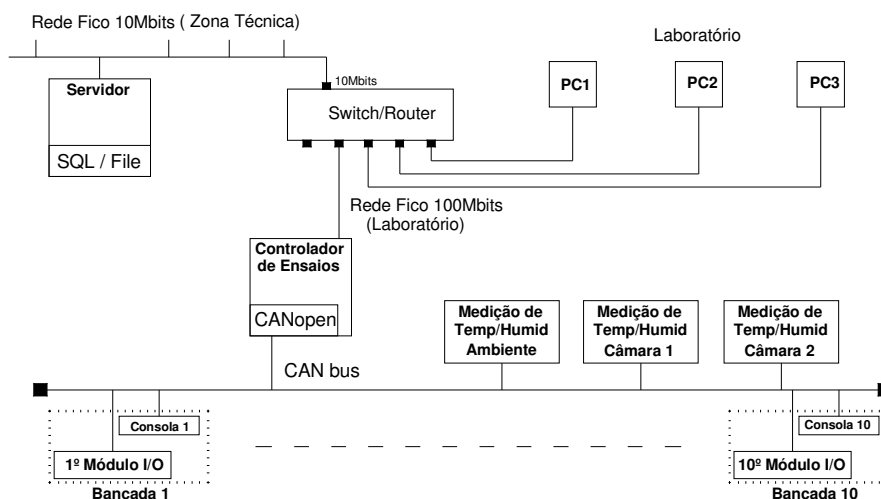


Figura 2. 34 Esquema da arquitectura geral proposta para o sistema de controlo ensaios

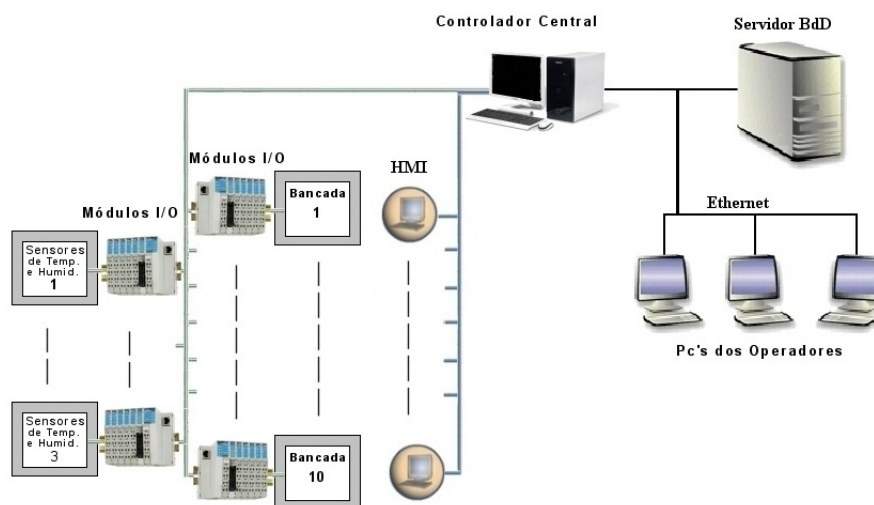


Figura 2. 35 Arquitectura geral proposta para o sistema de controlo de ensaios

O sistema tem de ser dimensionado para controlar, através da rede CAN, dez bancadas (módulos I/O e consolas – 20 nós) e três sistemas de medição de temperatura e humidade (3 nós), onde o Controlador representa outro nó na rede (1 nó), perfazendo um total de 24 nós ligados à rede CAN.

As razões que levaram à escolha desta arquitectura (Figura 2. 34) foram:

O baixo custo dos módulos I/O quando comparados com os controladores dedicados, apresentados em arquitecturas anteriores; A rede CAN ser normalizada internacionalmente; O protocolo de comunicação utilizado (CANopen) ser aberto; A linguagem de programação utilizada (Visual Basic - VB) ser familiar ao autor, e permitir desenvolver facilmente as interfaces e as ligações à BdD; Por fim, conhecer casos noutras empresas, da indústria automóvel, que já utilizam com bastante sucesso esta arquitectura.

Como o protocolo de comunicação utilizado é aberto (CANopen) é possível utilizar periféricos de diferentes marcas obtendo-se os mesmos resultados, utilizando a mesma programação no controlador. As duas principais fabricantes de equipamentos pneumáticos (Festo e SMC) já utilizam interfaces CANopen há algum tempo.

Um factor muito importante para a escolha final foi também o conhecimento de outras empresas da indústria automóvel que já utilizam esta tecnologia com bastante sucesso na automatização das suas linhas de produção e teste de equipamentos automóveis.

Depois de eleita a arquitectura, foi necessário estudar as características da rede CAN para que se pudesse afirmar, com toda a certeza, que esta arquitectura ia conseguir suportar todas exigências do sistema que se pretendia desenvolver. Foi calculada a taxa de ocupação da rede que teoricamente se situa nos 11,11% de ocupação (ver Anexo B).

Obteve-se uma declaração do Sr. Michael Maidhof, que é responsável pelo apoio técnico da PEAK Systems – empresa que forneceu o conversor USB/rede CAN (vai ser abordado num ponto mais à frente) – que diz que a rede permite o transporte de 2500 msg/seg [7]. Foi então possível concluir-se com alguma segurança que a quantidade de mensagens que vai circular na rede é bastante inferior ao permitido pelos parâmetros nominais da rede (Anexo B).

Desta forma foi possível concluir que esta arquitectura vai permitir, no futuro, expansões ao sistema ou mesmo integrar outros sistemas na mesma rede dada a sua baixa taxa de ocupação.

Foi ponderada a hipótese de utilização de softwares proprietários da Beckhoff (marca dos módulos I/O) mas, como já foi referido anteriormente noutras arquitecturas, a necessidade de exportar os dados do sistema de controlo ia obrigar à aquisição de softwares adicionais. Por outro lado, os operadores teriam de adquirir uma formação específica para utilizar esses softwares e como se estava a falar de uma rede proprietária caso o revendedor decida deixar de vender esta marca em Portugal deixava de existir assistência para os equipamentos do sistema o que tornaria um sistema moribundo.

2.6 Síntese

O presente capítulo teve como temas principais a apresentação do laboratório da Ficocables, Lda. bem como o levantamento das lacunas existentes, descrição dos requisitos do sistema de controlo, apresentação de possíveis soluções e justificação da arquitectura escolhida.

Neste contexto, foi feita uma descrição detalhada da análise efectuada aos diferentes tipos de ensaios, realizados no laboratório. No final foram resumidas as diferenças entre os ensaios apresentados.

A concluir o capítulo foram expostas algumas arquitecturas que foram consideradas bem como a arquitectura escolhida que permite satisfazer os requisitos apresentados pela Ficocables, Lda.

Como resultado, foi proposta e justificada uma arquitectura computacional com base num Controlador central que comunica com módulos I/O distribuídos e consolas tácteis através de uma rede CAN. Este sistema de controlo está ainda interligado, através de uma rede Ethernet, à BdD e aos PC's dos Operadores (HMI).

A especificação estruturada da solução final é apresentada no capítulo seguinte.

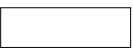

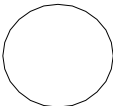
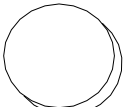



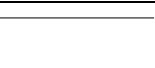
3. Especificação estruturada da solução

3.1 Modelação lógica segundo P.Ward & S.Mellor

Neste capítulo vai ser apresentada a modulação do sistema de controlo com base nos objectivos apresentados no capítulo anterior. Para modelar o sistema vai ser utilizada a metodologia proposta por “Paul Ward e Stephen Mellor” [8].

Para modelar os sistema, Ward & Mellor propõem uma simbologia semelhante à apresentada na Tabela 3. 1

Tabela 3. 1 Simbologia de modelação de sistemas

	Periféricos que estão ligados ao sistema (Sensores, transdutores, actuadores).
	O quadrado duplo representa instâncias dos periféricos.
	Representa processamento de informação. (ex: o controlador central utiliza os sinais da bancada para a controlar e ao mesmo tempo vai armazenando informação importante do ensaio no Servidor da BdD).
	O círculo duplo representa instâncias dos Processamentos de Informação.
	Fluxo de informação entre os diferentes sistemas informáticos (tem um carácter temporário e bidireccional).
	Sinal contínuo que o sistema fornece/recebe dos actuadores/transdutores (tem um carácter contínuo no tempo e unidireccional).
	Fluxo sem transporte informação (tem um carácter temporário e unidireccional). Exemplo: o trigger de um relógio, a acção de ligar ou desligar, etc.
	Buffers onde é armazenada informação.

A modelação apresentada neste capítulo vai servir de base (plano) para o desenvolvimento do Sistema de Controlo Automático de Ensaios que vai ser apresentado no capítulo seguinte.

3.2 Aplicação da metodologia ao presente caso

A Figura 3. 1 pode ajudar a compreender melhor os esquemas da modelação do Sistema Automático de Controlo de Ensaios que vão ser apresentados mais à frente (Figura 3. 2 e seguintes).

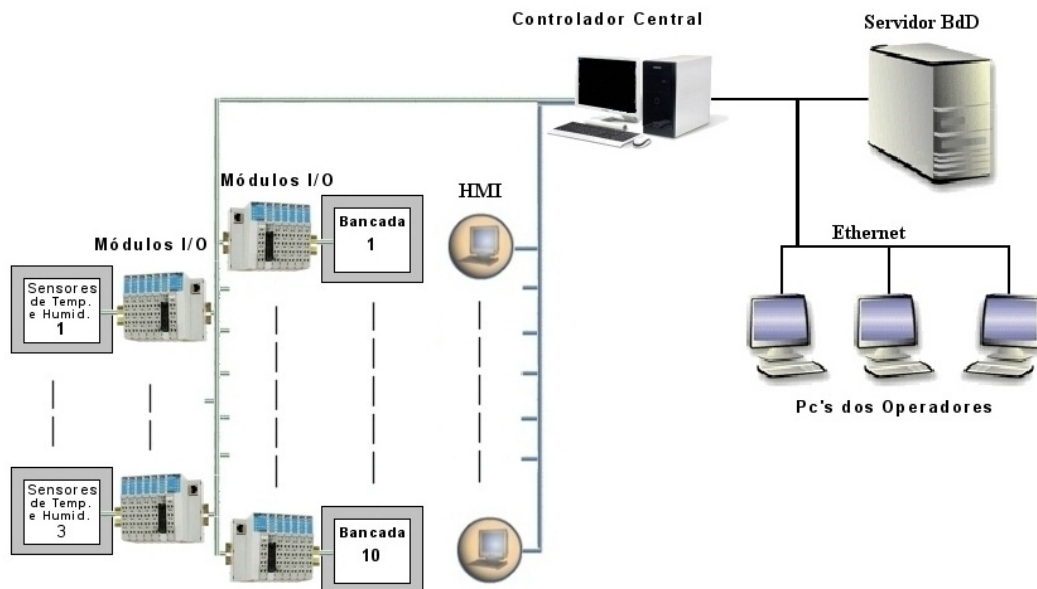


Figura 3. 1 Arquitectura Física do Sistema Proposto

Analisando a figura anterior é possível identificar no sistema os seguinte periféricos: as estruturas de ensaios; os actuadores; os sensores; os transdutores; PCs dos Operadores para que estes possam interagir com o sistema.

A representação destes periféricos pode ser visualizada na Figura 3. 2.

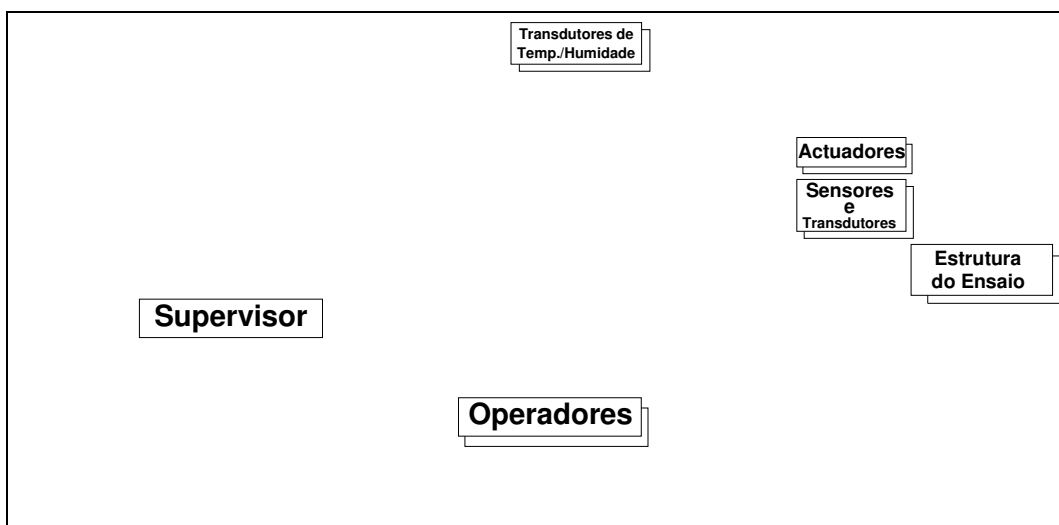


Figura 3. 2 Periféricos do Sistema

A Figura 3. 3 permite adicionar mais algum detalhe ao esquema, é possível ver os elementos de Transformação (Processamento) de Informação.

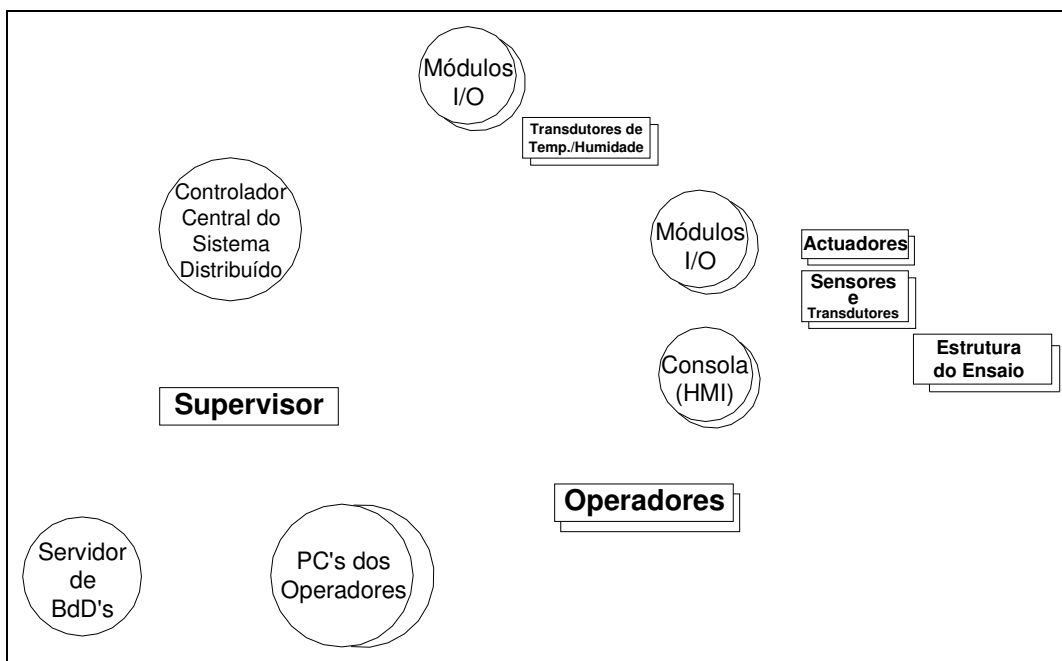


Figura 3. 3 Periféricos e Transformações do Sistema

Para o sistema funcionar é necessário interligar os Periféricos com as Transformações de Informação. As representações dessas interacções (Fluxos de Informação) podem ser visualizadas na Figura 3. 4.

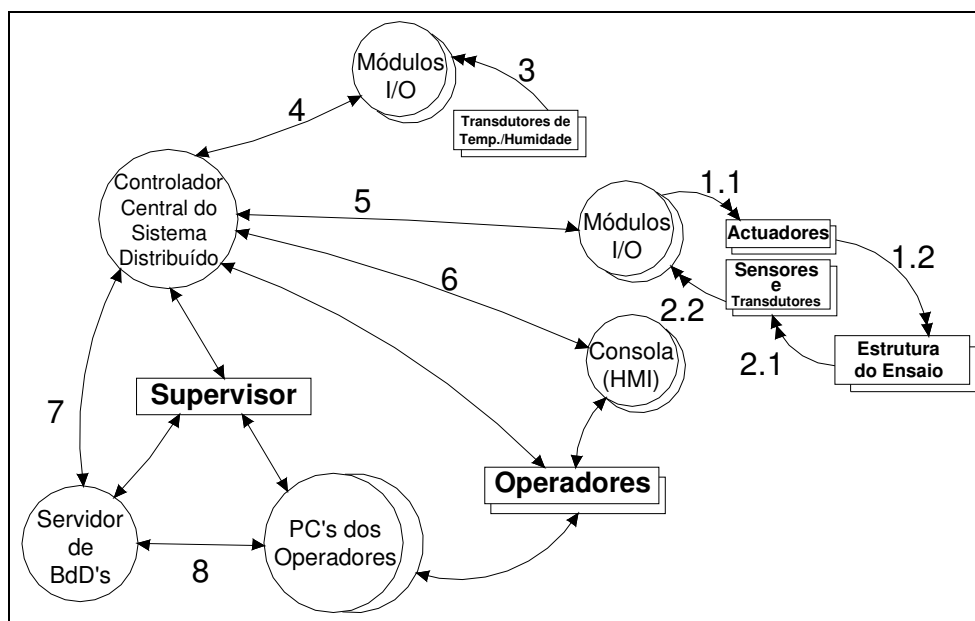


Figura 3. 4 Periféricos, Transformações e Fluxos do Sistema

Nesta figura é possível visualizar dois tipos de Fluxos de Informação, os contínuos e os esporádicos. Os fluxos contínuos representam: os sinais dos Módulos I/O para os Actuadores (1.1); as correspondentes acções nas Estruturas dos Ensaio (1.2); os Sensores/Transdutores recebem informações das Estruturas de Ensaio (2.1); os sinais correspondentes que são transmitidos aos Módulos I/O (2.2); os sinais que os Transdutores de Temperatura/Humidade vão transmitir para os Módulos I/O. Como o próprio nome indica, os fluxos esporádicos vão aparecer intercalados no tempo e podem representar: mensagens (fluxos) que o Controlador Central vai enviar/receber dos Módulos I/O (4,5) ou das Consolas (6); trocas de informação entre o Controlador Central e o Servidor de BdD's (7); as trocas de informação entre os PC's dos Operadores e o Servidor de BdD's (8).

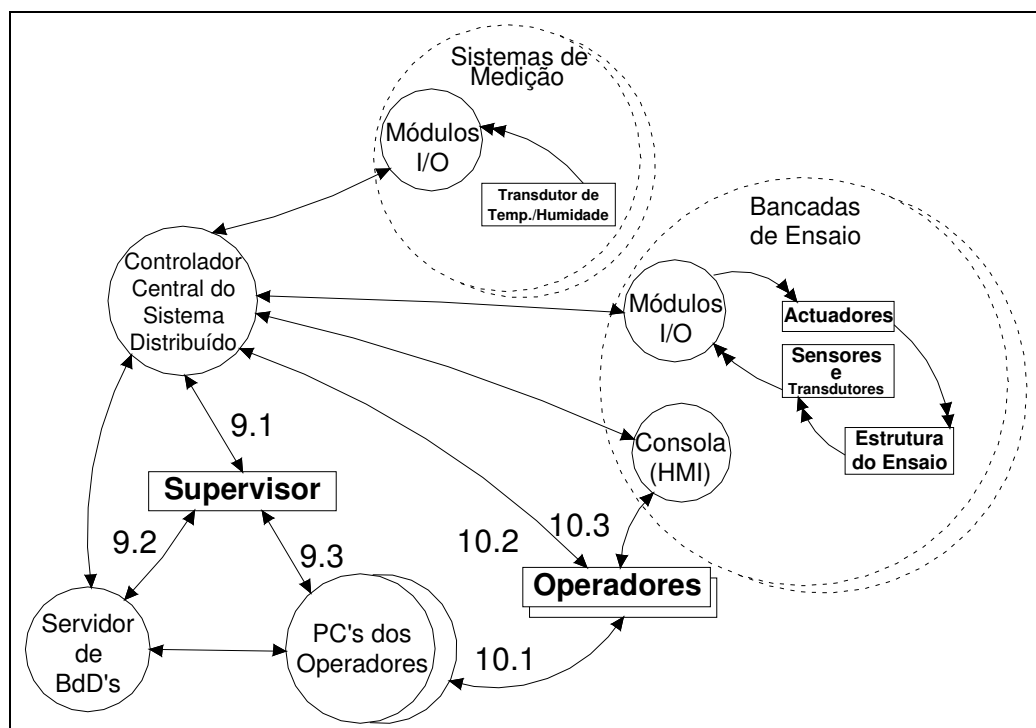


Figura 3. 5 Sistema geral modelado

Analisando a Figura 3. 5 é possível verificar a existência de dois intervenientes que vão interagir com o sistema, o Supervisor e os Operadores.

O Supervisor tem um conhecimento mais profundo sobre o sistema, por isso só ele consegue:

- i) inicializar o Sistema de Controlo Distribuído (9.1);
- ii) fazer alterações na BdD (9.2).
- iii) verificar as ligações e a correcta interacção entre os diferentes elementos (9.3);
- iv) efectuar as acções de manutenção necessárias;

O Operador vai utilizar o sistema no dia-a-dia. É o Operador que vai poder:

- i) configurar os diferentes ensaios (10.1);
- ii) inicializar e Parametrizar os ensaios no Controlador Central (10.2);
- iii) validar as sequências dos ensaios, através das Consolas (10.3);
- iv) consultar a informação existente dos ensaios em curso, nos "PC's dos Operadores" (10.1);
- v) realizar Relatórios automáticos dos ensaios concluídos (10.1).

A Figura 3. 6 permite uma observação mais cuidada das Transformações e Fluxos existentes no “Controlador Central do Sistema Distribuído” (da Figura 3. 5).

O Supervisor tem a responsabilidade/conhecimentos de inicializar as diferentes aplicações do sistema (“Gerador de SYNC” e “Inicialização/Configuração” de cada bancada) e tem de verificar se tudo funciona como é esperado. Depois de tudo verificado o Supervisor termina a aplicação “Inicialização/Configuração” e arranca outra parte da aplicação (“Prog. Controlo dos Ensaios”) que vai ser responsável pelo controlo dos ensaios.

O Operador só tem acesso à interface “Prog. Controlo dos Ensaios” podendo: descarregar (da BdD) as configurações dos ensaios; depois pode fazer algumas parametrizações (tempo ciclo, momentos de medição das forças, etc.); pode validar a sequência do ensaio; por fim, pode iniciar o ensaio. Depois de iniciado o ensaio a interface é responsável por toda a gestão do ensaio. Todas as informações importantes relacionadas com o ensaio são armazenadas automaticamente na BdD. Quando a aplicação detecta situações anómalas sinaliza-as para que os Operadores possam actuar de acordo com a situação.

Olhando para a Figura 3. 6 também é possível chegar à conclusão que vai existir um “Programa de Configuração e Controlo das Bancadas” por cada bancada que estiver em funcionamento no sistema.

Tabela 3. 2 Suportes Físicos

Periféricos e Transformações	Suporte Físico
Transdutores de Temp./Humidade	Sondas de Temperatura e Humidade com saídas analógicas.
Actuadores	Cilindros lineares e rotativos
Sensores e Transdutores	Sensores magnéticos para os cilindros Sensor de Pressão Células de Carga
Controlador Central do Sistema Distribuído	Computador Convencional
PC's dos Operadores	Computadores Convencionais
Servidor BdD's	SQL Server (existente na Ficocables)

Como já foi referido anteriormente, os ensaios vão estar distribuídos pelo laboratório, por isso, o Controlador Central necessita de uma rede de comunicação para poder controlar os nós que estiverem ligados à rede.

Os Suportes Lógicos estão apresentados na Tabela 3. 3.

Tabela 3. 3 Suportes Lógicos

Transformações	Suporte Lógico
Controlador Central do Sistema Distribuído	Aplicação de Configuração e Controlo das bancadas (faz a gestão dos módulos I/O e das Consolas) Gerador de mensagens SYNC
PC's dos Operadores	Aplicação de Configuração dos Ensaios Criação de Sequências de Ensaio Monitorização dos Ensaios em Curso Realização de Relatórios dos Ensaios
Servidor BdD's	SQL Server (existente na Ficocables)
Módulos I/O	(gestão é feita pelo Controlador Central)
Consolas	(gestão é feita pelo Controlador Central)

Observando a tabela anterior é possível identificar facilmente quais vão ser as aplicações informáticas existentes no sistema. Também é visível que os Módulos I/O e as Consolas não têm um suporte lógico a funcionar dentro de si, estes elementos servem meramente de conversores. Todas as informações são enviadas para o Controlador Central e é este que decide o que fazer com a informação que vai recebendo através da rede.

3.4 Síntese

Neste capítulo foi apresentada a modelação do sistema utilizando a metodologia proposta por “Paul Ward e Stephen Mellor” [8].

Foram descritos os recursos, físicos e lógicos, necessários para que o sistema funcione correctamente e alcance os objectivos propostos.

No capítulo seguinte são apresentados os aspectos principais do desenvolvimento ao nível do hardware e do software do Sistema de Controlo Distribuído.

4. Desenvolvimento

4.1 Recursos de Hardware

Com base na modelação do sistema, foi possível iniciar o processo de escolha dos recursos de hardware que vão integrar o Sistema de Controlo de Ensaios.

Como a arquitectura escolhida tem um Controlador Central a controlar uma série de elementos através de uma rede, é conseguida uma total gestão dos nós pendurados na rede. O meio físico de comunicação escolhido (rede CAN) é bastante económico e relativamente insensível a interferências electromagnéticas [9].

A probabilidade de não detectar mensagens corrompidas é de: [10]

$$(\text{Ritmo Mensagens Erro}) * 4,7 * 10^{-11}$$

A definição de todos os parâmetros da rede foi executada recorrendo à norma Dr303-1 [9] que estabelece como devem ser feitas as ligações físicas e apresenta as designações a utilizar e em que pinos da rede devem ser utilizados.

O meio físico para construir a rede CAN é bastante conhecida. Trata-se de estrutura semelhante à rede Ethernet onde os nós se ligam à rede através de fichas RJ45 [9]. Foi ainda definido que, para evitar equívocos com a rede informática da empresa, as ligações da rede CAN seriam de cor verde.

6.4 RJ45 connector



Pin	Signal	Description
1	CAN_H	CAN_H bus line (dominant high)
2	CAN_L	CAN_L bus line (dominant low)
3	CAN_GND	Ground / 0 V / V-
4	-	Reserved
5	-	Reserved
6	(CAN_SHLD)	Optional CAN Shield
7	CAN_GND	Ground / 0 V / V-
8	(CAN_V+)	Optional CAN external positive supply (dedicated for supply of transceiver and opto-couplers, if galvanic isolation of the bus node applies)

The bus node provides the female pins of the connector. Often used with 4 and 8 twisted pair cabling. By using this cables pin 3-6 and 1-2 are twisted pairs.

Figura 4. 1 Definição e descrição dos pinos da ficha RJ45, duna rede CAN
Fonte: Dr303-1 – CiA [9]

As normas DS102v2.0 e DS301v4.02 definem as taxas de transmissão de dados versus distância máxima da rede.

Tabela 4. 1 Relação do Bit rate com o Comprimento da rede
Fonte: DS301v4.02 – CiA [9]

Bit rate	Comprimento da rede (m)
1 Mbps	25
500 Kbps	100
250 Kbps	250
125 Kbps	500
50 Kbps	1000

Considerando a distância máxima da rede, 25 metros (secção 2.3), estabeleceu-se que a taxa de transmissão da rede seria de 500 Kbps. Desta forma, se for necessário, é possível aumentar o comprimento da rede sem qualquer impedimento e sem haver necessidade de se fazer modificações no sistema.

Para visualizar a rede CAN de uma forma simplificada, basta olhar para a Figura 4. 2:

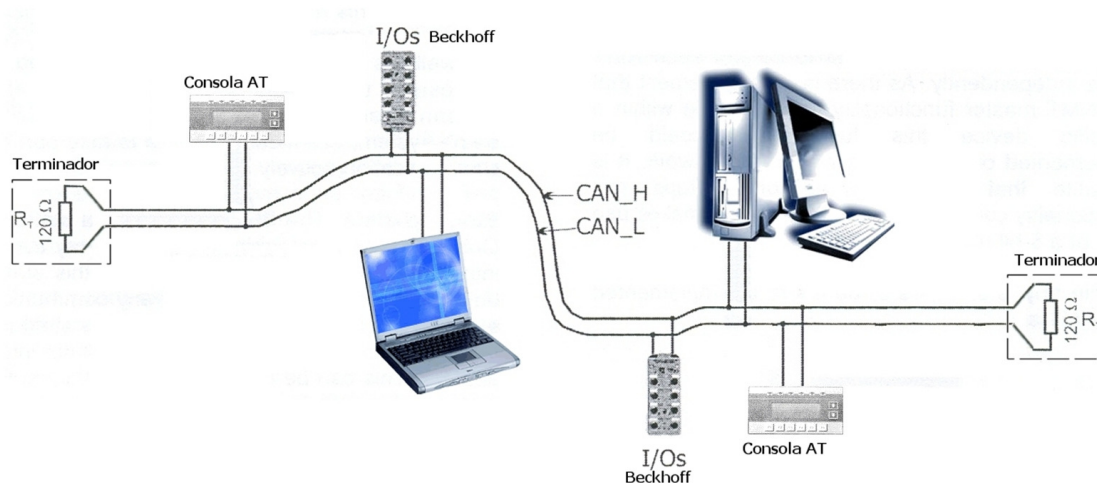


Figura 4. 2 Ligações dos equipamentos à Rede CAN

Trata-se de uma rede a dois fios (CAN-High e CAN-Low) com duas resistências *terminadoras* nas extremidades ($R=120\Omega$). Trata-se de uma rede *multimaster*, que pode, inclusivamente, ter mais de um Controlador na rede.

O Controlador do sistema necessita de um conversor para conseguir escrever e ler na rede. Para permitir este acesso à rede foi adquirido um módulo USB (Figura 4. 3) da PEAK Systems.



Figura 4. 3 Interface de PC USB para CAN [11]

A escolha dos módulos CANopen foi condicionada essencialmente pela existência de um fornecedor em Portugal (Bresimar [12]) dos módulos de comunicação CANopen (marca Beckhoff [13]). Mais uma vez se realça o facto de ser possível utilizar material de diferentes marcas e obter sempre o mesmo comportamento quando os equipamentos funcionam com o protocolo CANopen. Desta forma não há necessidade de fazer modificações no Controlador. Este continua a executar os mesmos comandos e os elementos continuam a comportar-se da mesma forma.

Se um dos módulos de comunicação avariar e se a Bresimar não comercializar mais destes equipamentos em Portugal, basta arranjar um outro fornecedor ou no limite arranjar outra marca no mercado para substituir o módulo avariado. Quando se ligar o novo módulo ao sistema, este funcionará como se nada tivesse acontecido. Os módulos não necessitam de configurações especiais nem é necessário fazer alterações às aplicações do Sistema de Controlo de Ensaio.

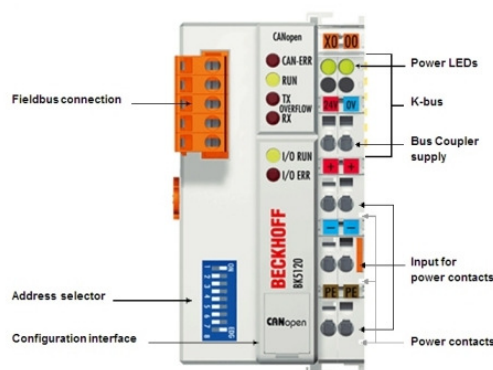


Figura 4. 4 Módulo de comunicação CANopen – Beckhoff [13]

A Figura 4. 4 apresenta o módulo I/O escolhido, de comunicação CANopen, que normalmente é designado por *Coupler*. Este módulo vai estar ligado à rede CAN a receber comandos do Controlador Central ou a enviar o estado dos sensores/transdutores que estão ligados ao ensaio.

Na sequência desta selecção, foi também necessário calcular o número total de entradas, digitais e analógicas, e definir o número de saídas digitais que a bancada iria necessitar.

Cada bancada necessita ter ligado ao módulo I/O (ANEXO C):

- dez entradas digitais, nove para ligar os sensores dos três cilindros e mais uma para o sinal do transdutor de pressão que indica a existência de uma pressão correcta no sistema;

- três entradas analógicas, para ligar os três sinais das células de carga com uma resolução de 12 bits;

- quatro saídas digitais, três para comandar as três válvulas direccionais dos cilindros, e outra para ligar a válvula de alimentação de ar comprimido (arranque progressivo).

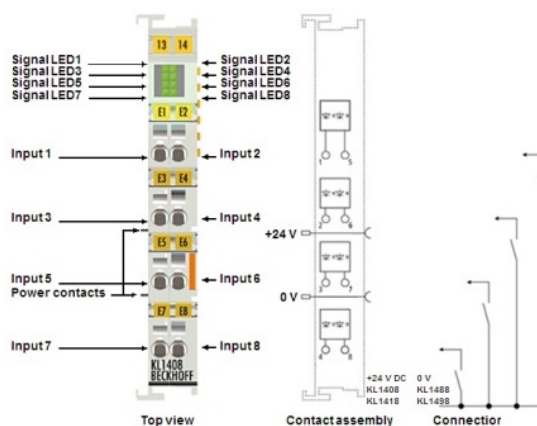


Figura 4. 5 Carta de entradas digitais

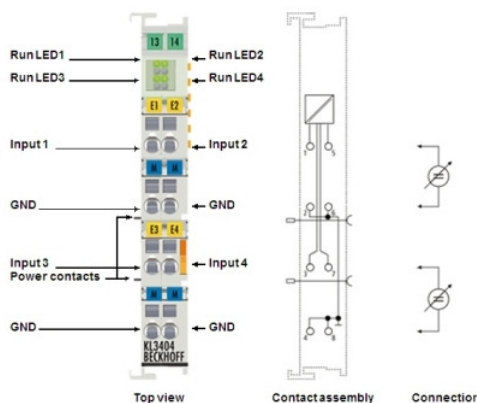


Figura 4. 6 Carta de entradas analógicas

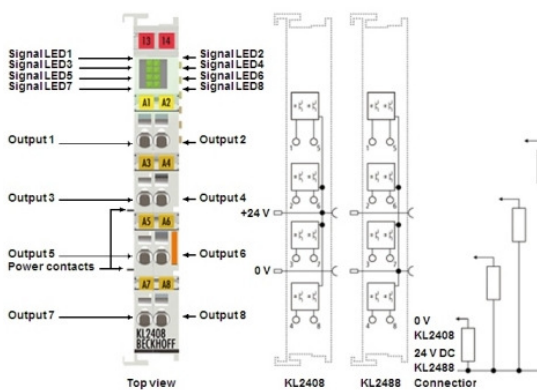


Figura 4. 7 Carta de saídas digitais

No caso das entradas analógicas, surgiu a necessidade de definir um conjunto de elementos para não haver problemas de compatibilidade de sinal, sendo o conjunto composto pela carta analógica, o amplificador analógico e a célula de carga. Se assim não fosse, era altamente provável que o sistema não apresentasse a força correctamente devido ao mau dimensionamento ou incompatibilidade nas gamas de funcionamento.

Primeiro, verificaram-se as características da célula de carga: a marca é SCAIME, o modelo ZF e a sensibilidade é de 3mV/V [14].



Figura 4. 8 Imagem de uma célula de carga

Em seguida, compatibilizou-se o sinal de saída da célula de carga com a entrada do amplificador analógico: da AEP Transducers, modelo TA4/2, amplificando o sinal da célula de carga para a gama de -10V a +10V [15].



Figura 4. 9 Amplificador analógico escolhido

Por fim, foi necessário escolher a carta que fosse compatível com o sinal de saída do amplificador. A escolha recaiu sobre a KL3404 (ver Figura 4. 6) com a mesma gama de funcionamento (lê de -10V a +10V).

A Figura 4. 11 apresenta o quadro eléctrico onde estão concentrados todos os elementos electrónicos para o controlo da bancada.



Figura 4. 11 Quadro eléctrico da bancada de ensaios

Depois de estudadas as possibilidades de funcionamento foi possível optar-se pelo método que utiliza uma mensagem de SYNC (sincronização) para “pedir” o valor das entradas analógicas. Desta forma é possível ter todos os módulos a responder “ao mesmo tempo” enviando um único pedido para a rede. Evita a necessidade de se fazer pedidos específicos para cada um dos nós da rede e permite um melhor controlo sobre a ocupação da rede (ANEXO B).

Para utilizar este método é necessário saber qual o ensaio que necessita de mais amostras/segundo. Se o sistema conseguir garantir a aquisição de dados desse ensaio (mais exigente) então a aquisição de dados dos outros (menos exigentes) também está garantido.

Depois de analisados os cinco ensaios tipo verificou-se que estes têm necessidades muito idênticas.

Para determinar a frequência de amostragem de cada ensaio, utilizou-se uma placa de aquisição de dados para fazer vários testes. Começou-se com frequências de amostragem elevadas e depois foi-se diminuindo até os gráficos dos ensaios começarem a perder definição do sinal medido [17].

A Tabela 4. 2 apresenta a frequência de amostragem dos ensaios tipos:

Tabela 4. 2 Resumo das exigências dos ensaios

Tipo de Ensaio	Amostras/Segundo
Carga Permanente	30
Carga Variável	30
Cabos “Push-Pull”	30
Cabos dos Assentos	30
Carga Simulada por Molas	10

Com estas amostragens é possível dizer que estão garantidas as frequências óptimas para a aquisição das forças dos diferentes ensaios (para visualizar com mais algum detalhe o método de verificação das amostragens dos ensaio consulte o ANEXO E).

Para fornecer os componentes electropneumáticos à Ficocables, Lda. foi escolhida a SMC [18] por já ser um dos fornecedores habituais da empresa. Este ajudou no dimensionamento dos cilindros e na escolha de todos os componentes electropneumáticos (ANEXO C).



Figura 4. 12 Elementos Electropneumáticos da bancada

4.2 Recursos de Software

Escolhidos todos os equipamentos que vão incorporar o sistema de controlo e aquisição de dados, deu-se início à fase de desenvolvimento das aplicações informáticas.

Utilizando como base a especificação estruturada apresentada no Capítulo 3, iniciou-se o desenvolvimento das interfaces.

A linguagem de programação utilizada foi o Visual Basic (VB) [19] por já ser familiar e por permitir uma interacção fácil com as BdD, onde é armazenada toda a informação do sistema. Para que isso fosse possível houve necessidade de estudar a forma de o conseguir [20].

Outra razão para a escolha do VB como linguagem de programação foi o facto de permitir uma programação aberta, largamente difundida e ainda por existirem recursos humanos na empresa com capacidade, se necessário, para desenvolver novas aplicações ou mesmo fazer alterações ao Sistema que está a ser desenvolvido.

Inicialmente foram desenvolvidas duas aplicações em simultâneo: a aplicação que os operadores utilizam para introduzir as configurações dos ensaios (da Figura 4. 13 à Figura 4. 17) e a aplicação que o Supervisor vai utilizar para Inicializar e Configurar dos nós da rede (módulos I/O e Consolas - Figura 4. 18).

Também foi construída uma BdD (Figura 4. 19), em Access, que permitiu adquirir novos conceitos sobre BdD e a forma como fazer as consultas através de uma rede LAN. Foi uma boa base para posteriormente criar a BdD final no Servidor SQL [21] – como se pode ver no fim desta secção.

Ensaio Ficcables

Operador: Pedro

Novo Ensaio Monitorizar Ensaio Relatório

Bancada: [dropdown]

Nº Ciclos: [text box]

Cod. Projecto: [text box]

Nome DVP_R: [text box]

Cliente: [text box]

Referência Fico: [text box]

etc etc etc

Exit

Figura 4. 13 Primeira aplicação que permite a introdução dos dados dos ensaios – ecrã 1

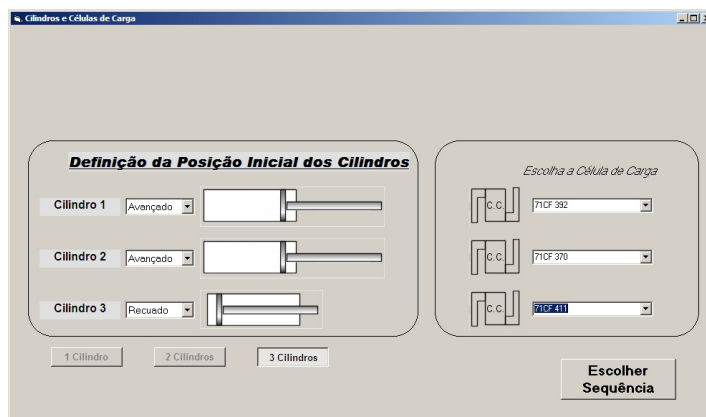


Figura 4. 14 Primeira aplicação que permite a introdução dos dados dos ensaios – ecrã 2

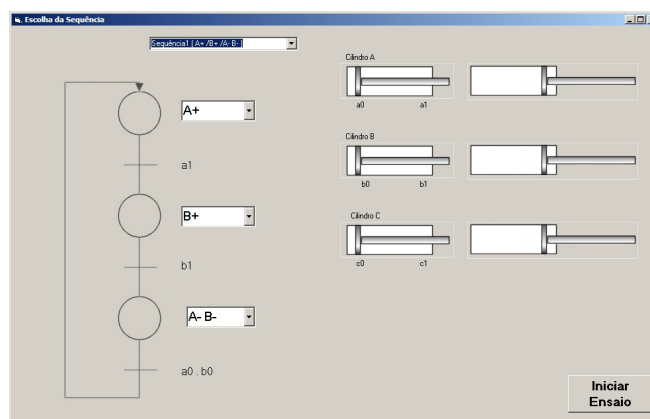


Figura 4. 15 Primeira aplicação que permite a introdução dos dados dos ensaios – ecrã 3

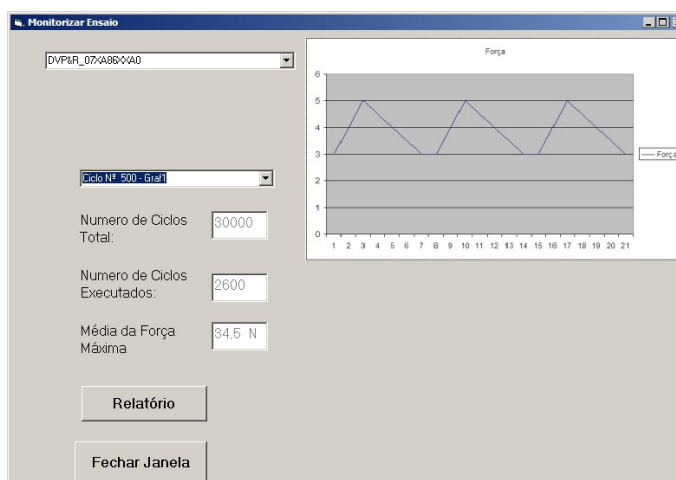


Figura 4. 16 Primeira aplicação que permite a monitorizar os dados dos ensaios – ecrã 4

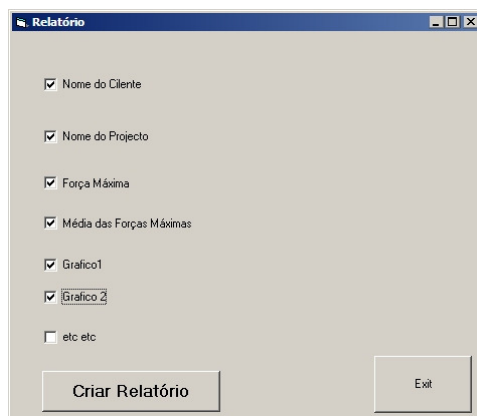


Figura 4. 17 Primeira aplicação que permite executar o relatório dos ensaios – ecrã 5

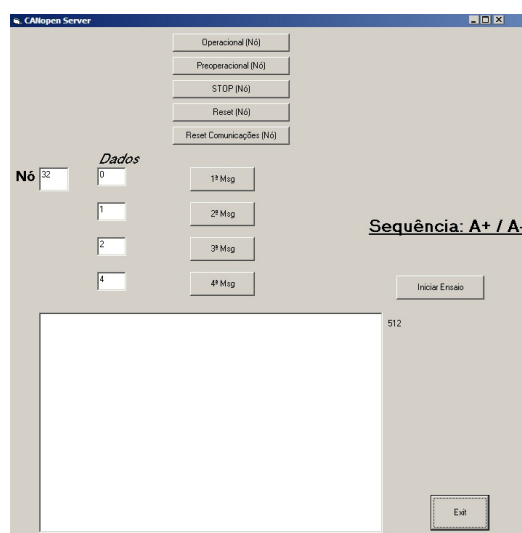


Figura 4. 18 Primeira aplicação de controlo dos Módulos I/O e Consolas

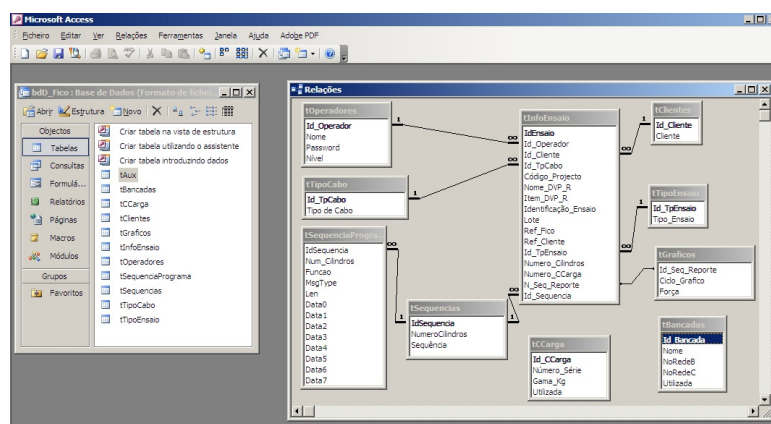


Figura 4. 19 Primeira base de dados em Access

Esta foi a fase de desenvolvimento mais importante do projecto, primeiro porque foi necessário aprender como funcionava a BdD [20] [21], e depois porque foi durante este período que todo o protocolo de comunicação CANopen [16] [22] foi estudado e compreendido de modo a tirar partido de todas as funcionalidades do protocolo.

Nesta altura ficaram esclarecidas as seguintes questões:

- como funciona a rede CAN e como funciona o protocolo CANopen?
- como funcionam os Módulo I/O e as Consolas Tácteis?
- como configurar os nós através da rede, pondo-os a funcionar da forma desejada?
- como permitir que os operadores criem as sequências dos ensaios sem terem de fazer qualquer tipo de programação no sistema?
- como permitir que os Operadores controlem, com alguma flexibilidade, o sistema sem terem de fazer qualquer tipo de programação?
- como funciona a BdD e como se interliga com as aplicações informáticas?

O facto do CANopen ser um protocolo orientado a eventos ajuda o desenvolvimento das aplicações informáticas. Depois de desenvolvidas as primeiras aplicações iniciou-se uma nova fase: o desenvolvimento das interfaces que iam funcionar no Sistema de Controlo de Ensaios a ser implementado na Ficocables, Lda.

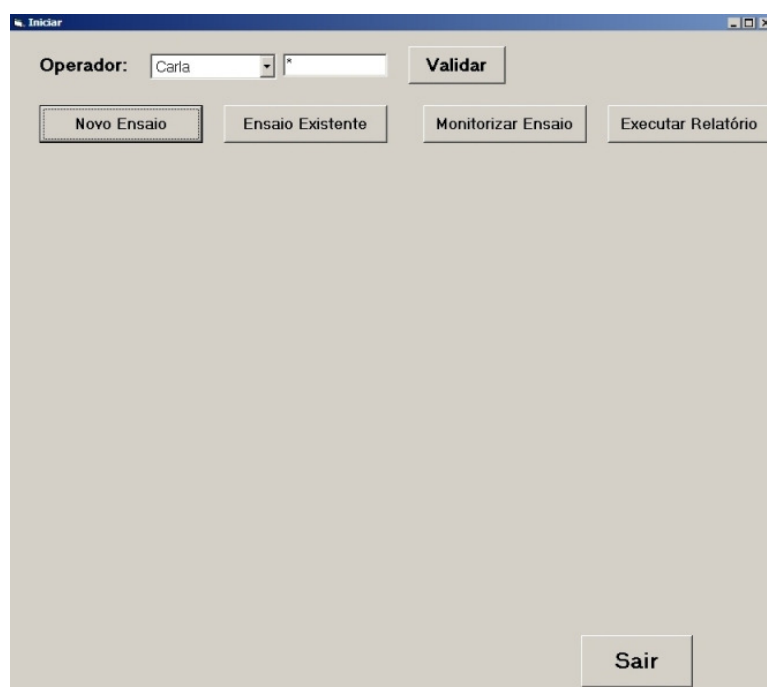


Figura 4. 20 Interface dos Operadores - ecrã 1

Como se pode ver na figura anterior, depois de ser validado o Operador, é possível optar por: criar um “Novo Ensaio”, consultar “Ensaio Existente”, “Monitorizar Ensaio” ou “Executar Relatório” de um ensaio concluído.

Inicialmente foi desenvolvida a interface que os Operadores vão utilizar para configurar todos os parâmetros do teste, como por exemplo o número de ciclos, a posição inicial de cada cilindro, o tipo de ensaio, nome cliente, nome do executante do ensaio, entre outros (ver da Figura 4. 21 à Figura 4. 26).

Os passos apresentados nas figuras seguintes mostram os diferentes ecrãs que aparecem quando é seleccionada a opção para criar um “Novo Ensaio”.

Iniciar

Operador: Carla * Validar

Novo Ensaio Ensaio Existente Monitorizar Ensaio Executar Relatório

Cliente: Brose
 Tipo de Cabo: Porta
 Código do projecto: X21
 Requisiteante: José
 Nome do DVP_R: ARCI
 Item do DVP_R: 2
 Identificação do Ensaio: cabos de assento
 Lote: 1234
 Referência Ficocables: 4343
 Referência do Cliente: Ref.4568
 Selecciona Bancada: Bancada1 Corrigir Bancada
 Número de Ciclos do Ensaio: 10000
 Tipo de ensaio: Push-Pull
 Nº Sequência Relatório: Lab2007_00002
 Definir Cilindros e Célula de Carga Sair

Figura 4. 21 Interface dos Operadores - ecrã 2.1

Cilindros e Células de Carga

Número de Cilindros: 3 OK Corrigir Numero Cilindros/C.Carga

Número de Células de Carga: 3

Definição da Posição Inicial do Cilindros

Cilindro A: Avançado Recuado
 Cilindro B: Avançado Recuado
 Cilindro C: Avançado Recuado

Número de Cabos por Célula de Carga?
 C.C. 71CF142 OK 5
 C.C. 71CF318 OK 5
 C.C. 71CF017 OK 5

Validar Sair

Figura 4. 22 Interface dos Operadores - ecrã 2.2

Cilindros e Células de Carga

Número de Cilindros: 3
 Número de Células de Carga: 3

Selecionar Ciclos para Guardar os Gráficos das Forças

1000 10
 1000
 2000
 3000
 4000
 5000
 6000
 7000
 8000
 9000
 9990

Escolher Sequência Sair

Figura 4. 23 Interface dos Operadores - ecrã 2.3

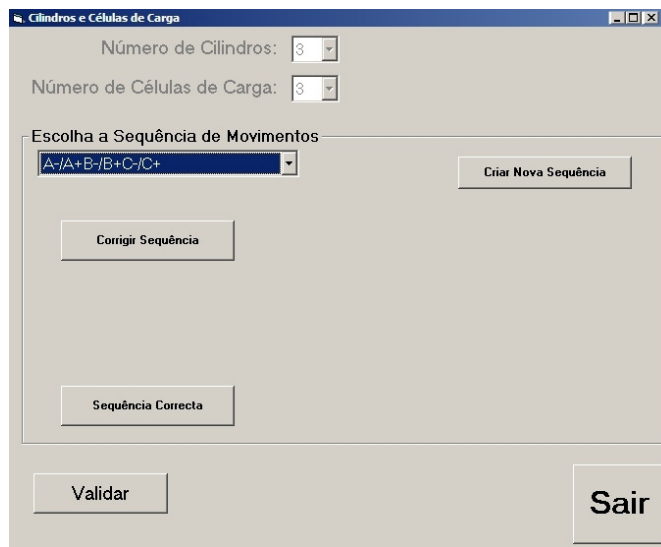


Figura 4. 24 Interface dos Operadores - ecrã 2.5

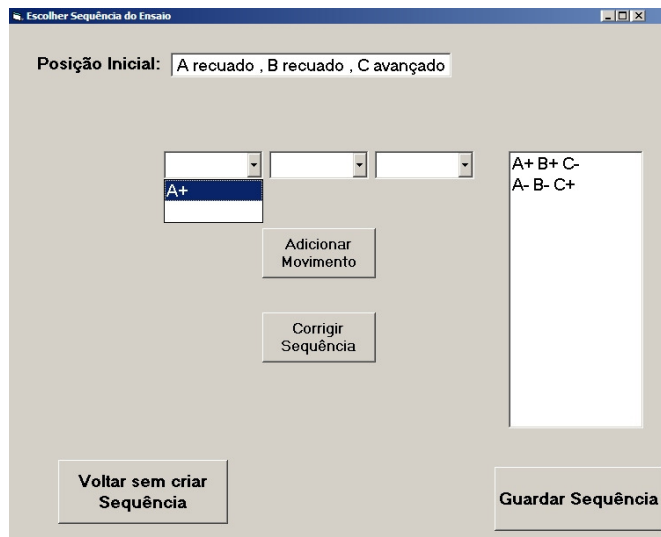


Figura 4. 25 Interface dos Operadores - ecrã 2.6

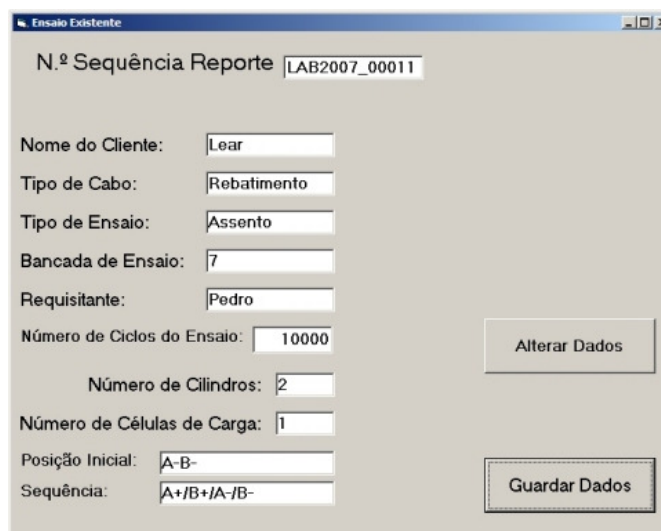


Figura 4. 26 Interface dos Operadores - ecrã 2.7

Convém referir que estas interfaces podem ser utilizadas pelo Supervisor quando este está a inicializar o sistema. Permitindo verificar se as aplicações estão a funcionar correctamente e se as ligações à BdD estão correctas, mas os principais utilizadores desta interface são os Operadores.

É necessário ainda realçar que os Operadores podem seleccionar a sequência do teste, dum conjunto de sequências existentes na BdD (Figura 4. 24) ou, se não existir uma que sirva para o teste, o Operador pode criar a sua sequência (Figura 4. 25). Quando o Operador está a criar uma sequência nova, existem várias verificações que são feitas antes da sequência ser gravada. Se foram seleccionados 3 cilindros, no passo anterior, quando a sequência está a ser criada não podem faltar movimentos de nenhum dos cilindros, são verificadas as posições Iniciais dos cilindros para garantir que o Operador escreve todos os passos da sequência.

No fim de todas as Configurações é possível alterar alguns dados que tenham sido mal introduzidos ou o Operador pode, simplesmente, guardar os dados na BdD, para serem utilizados posteriormente.

A segunda aplicação desenvolvida foi o “ Programa de Configuração e Controlo das Bancadas” que se encontra dividido em duas partes.

A primeira parte, “Inicialização/Configuração da Bancada”, foi desenvolvida permitindo que o Supervisor pudesse Inicializar/Configurar o funcionamento do Módulo I/O e da Consola Táctil, de uma determinada bancada. (da Figura 4. 27 à Figura 4. 29).

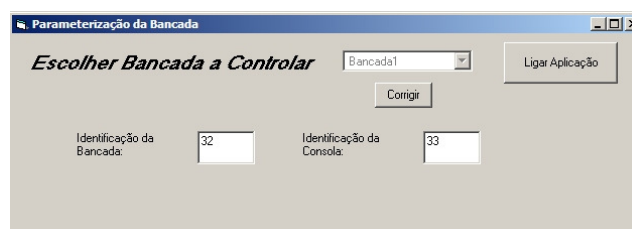


Figura 4. 27 Controlo da Bancada – escolha da bancada a controlar

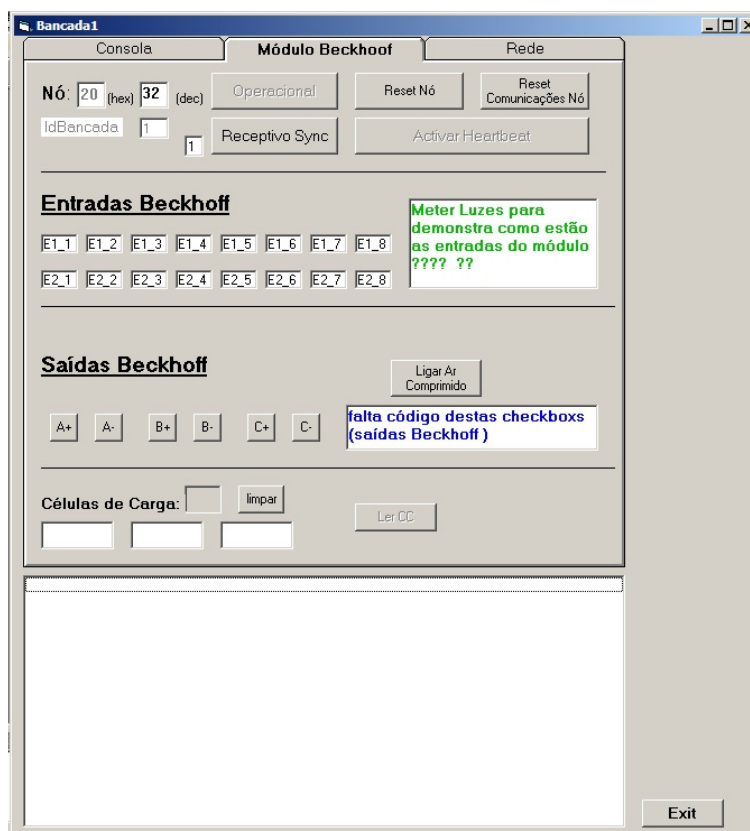


Figura 4. 28 Controlo da Bancada – painel das configurações do módulo I/O

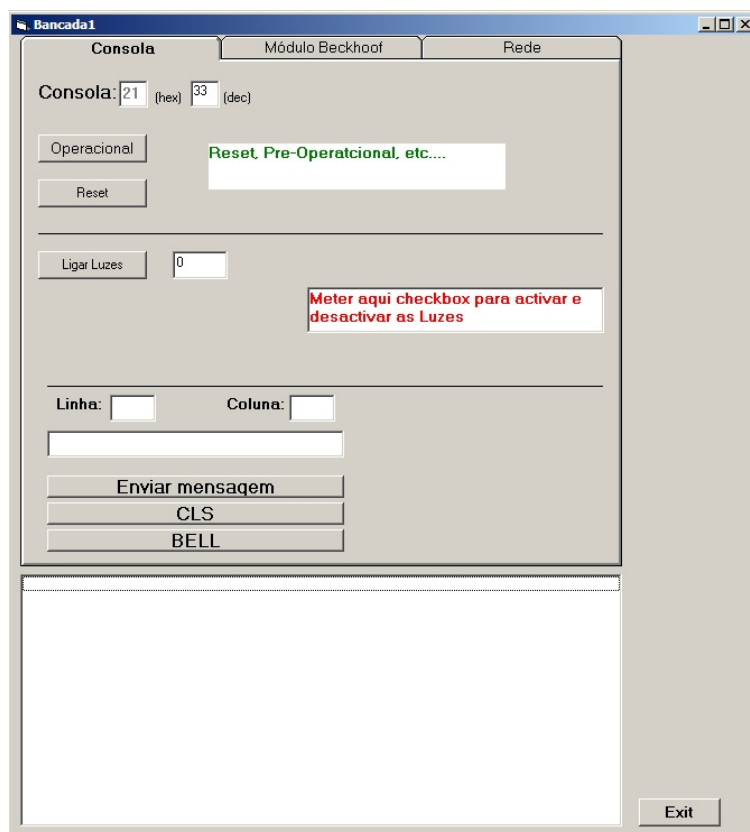


Figura 4. 29 Controlo da Bancada – painel das configurações da consola

A segunda parte desta interface, “Programa de Controlo dos Ensaio”, é utilizada pelo Operador para carregar as configurações dos testes existentes no Servidor SQL. É esta aplicação que vai controlar todo o teste, verifica o seu bom funcionamento e armazena a informação desejada na BdD’s. (Figura 4. 30). O Supervisor pode utilizar esta aplicação para verificar se tudo funciona correctamente.

Figura 4. 30 Controlo de Ensaio

É possível ver, na figura anterior, algumas das informações do ensaio que foram carregadas da BdD. É importante realçar o modo como os Operadores podem escolher os momentos em que vão ser lidas as Células de Carga havendo hipótese do Operador escolher ler num sentido e não ler no outro (como o exemplo apresentado na Figura 4. 30)

Nesta aplicação está ainda integrada toda a parte de gestão das Consola Táctil da bancada em questão. A consola vai ter maior relevância no momento de teste da sequência do teste. Nesse momento o Operador desloca-se à bancada e através de comandos na Consola vai controlando Passo-a-Passo a evolução da sequência do teste.

A aplicação apresentada na Figura 4. 30 tem incorporadas algumas rotinas de segurança que permitem verificar:

- se o fusível do módulo está a funcionar correctamente;
- a pressão mínima no sistema de modo a verificar se está dentro do valor mínimo pretendido;
- o tempo de cada ciclo, permitindo detectar encravamentos no sistema;
- o momento de quebra de um cabo, no caso de um cilindro ter acoplada uma célula de carga que está a traccionar cinco cabos em simultâneo. Quando um deles rebentar a força máxima vai decrescer cerca de 20% relativamente ao ciclo anterior.
- o consumo de energia do sistema. No fim do ensaio e após 15 minutos de inactividade, serão desligadas todas as saídas do Módulo I/O.

A aplicação que foi desenvolvida em seguida é bastante simples, a sua única função é escrever na rede a mensagem de SYNC (sincronização). É da responsabilidade do Supervisor a inicialização desta aplicação.

Como foi referido anteriormente, é a aplicação que configura os módulos I/O que vai escolher quando ele vai, ou não, responder ao SYNC, respondendo com os valores das entradas analógicas (valores das células de carga).

Esta aplicação funciona no Controlador CANopen. (Figura 4. 31).

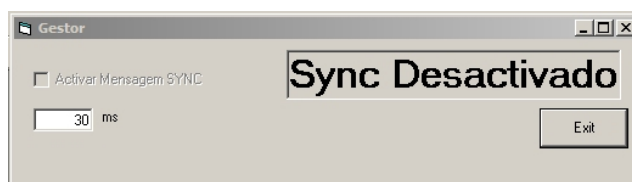


Figura 4. 31 Gerador de mensagens SYNC

A aplicação “Realização do Relatório Final” (Figura 4. 32) que funciona nos “PC’s dos Operadores”, permite que o Operador faça a recolha dos dados do ensaio que pretende introduzir no relatório de forma automática (Figura 4. 33).

Esta ferramenta permite otimizar o tempo que os Operadores perdiam na introdução dos dados para o PC, permitindo que eles se foquem no mais importante: “análise dos resultados obtidos no ensaio”

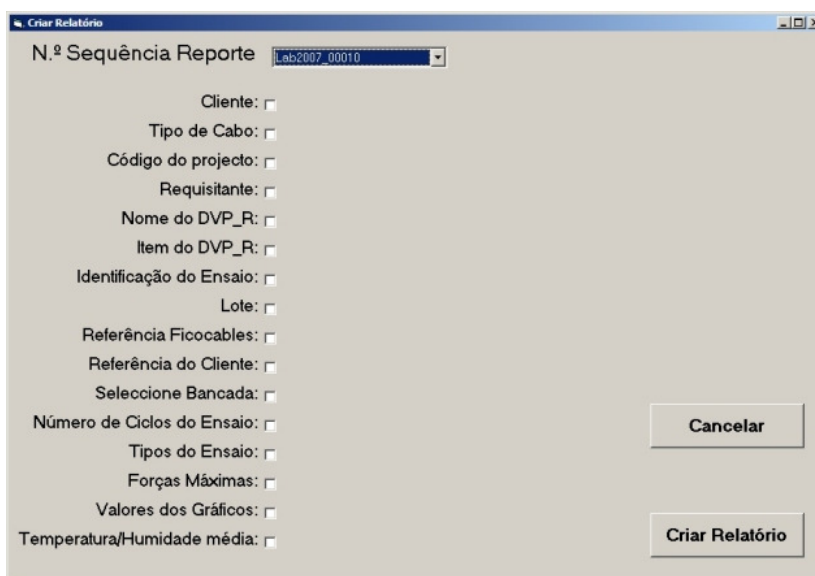


Figura 4. 32 Interface que permite realizar do Relatório final do ensaio



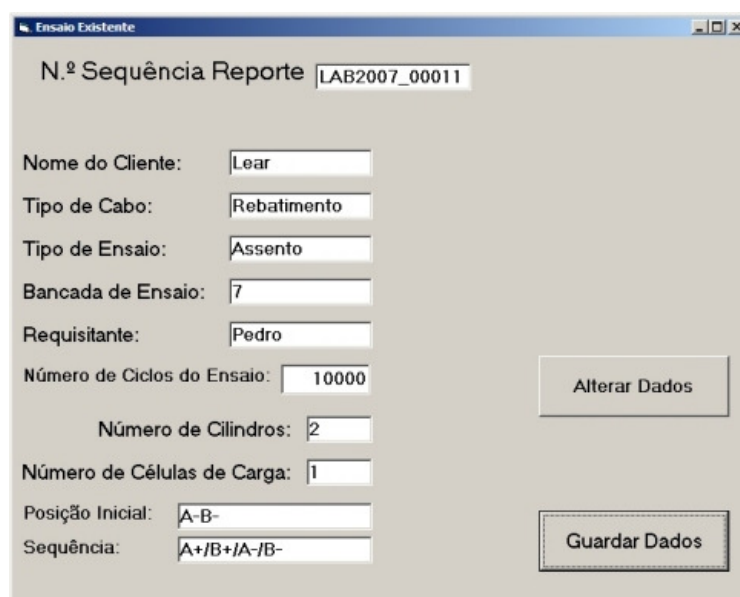
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K																																								
1	 FICOCABLES, LDA Fábrika de acessórios e equipamentos industriais LABORATÓRIO DE ENSAIOS		Relatório de Registo de Ensaios (Report Laboratory Test)			N° Sequência / Sequence Nr.: A5550 Data / Date : 05-07-2007 Página / Page : 2 of 5																																												
2	1. Identificação do Produto / Identification of product :																																																	
3	Código de Projecto / Project Code: NEPSA000K																																																	
4	Designação / Designation : Door Cable Item: 3																																																	
5	Referência (Cliente) / Reference (Client): 4725 7095/ 4745 7095/ 4725 7105/ 4745 7117/ 4755 7117/																																																	
6	4765 7117/ 4760 7138/ 4780 7138/ 4725 7143 Ind: 000																																																	
7	Referência (Fico Cables) / Our Reference: 121 44 13 999 011A/ 12A/13A/14A/15A/16A/17A/18A/ 19A																																																	
8	Lote / Batch : Serial Production																																																	
9	Cliente / Costumer:  Amostra / Specimen : 5 each																																																	
10	5. Resultados Obtidos / Results obtained :																																																	
11	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="4">4725 7095/ 121 44 13 999 011A</th> </tr> <tr> <th></th> <th>F=0</th> <th>F=1 N</th> <th>F=5N</th> <th>F=50N</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>#1</td> <td>0,39</td> <td>1,35</td> <td>6,06</td> <td>60,95</td> </tr> <tr> <td>#2</td> <td>0,39</td> <td>1,35</td> <td>5,86</td> <td>59,48</td> </tr> <tr> <td>#3</td> <td>0,49</td> <td>1,35</td> <td>5,86</td> <td>60,46</td> </tr> <tr> <td>#4</td> <td>0,49</td> <td>1,45</td> <td>6,25</td> <td>62,42</td> </tr> <tr> <td>#5</td> <td>0,49</td> <td>1,45</td> <td>6,04</td> <td>63,50</td> </tr> <tr> <td>Average</td> <td>0,45</td> <td>1,39</td> <td>6,01</td> <td>61,36</td> </tr> </tbody> </table>											4725 7095/ 121 44 13 999 011A					F=0	F=1 N	F=5N	F=50N	#1	0,39	1,35	6,06	60,95	#2	0,39	1,35	5,86	59,48	#3	0,49	1,35	5,86	60,46	#4	0,49	1,45	6,25	62,42	#5	0,49	1,45	6,04	63,50	Average	0,45	1,39	6,01	61,36
	4725 7095/ 121 44 13 999 011A																																																	
	F=0	F=1 N	F=5N	F=50N																																														
#1	0,39	1,35	6,06	60,95																																														
#2	0,39	1,35	5,86	59,48																																														
#3	0,49	1,35	5,86	60,46																																														
#4	0,49	1,45	6,25	62,42																																														
#5	0,49	1,45	6,04	63,50																																														
Average	0,45	1,39	6,01	61,36																																														
12	F=0 - R&D F=1N - NOK F=5N - OK F=50 - OK																																																	
13	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="4">4745 7095/ 121 44 13 999 012A</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="5">Página 1</td> </tr> </tbody> </table>											4745 7095/ 121 44 13 999 012A				Página 1																																		
	4745 7095/ 121 44 13 999 012A																																																	
Página 1																																																		
14	Force efficiency_Item<3> / Force effic_Item<3>(2) / Force effic_Item<3>(3) / Force effic_Item<3>(4) / Force effic_Item<3>(5)																																																	

Figura 4. 33 Exemplo de um Relatório final do ensaio

A aplicação que permite fazer “Alterações às Configuração de Ensaios” vai funcionar nos “PC’s dos Operadores” e tem como objectivo permitir a correcção de algumas das configurações dos ensaios guardados na BdD. Surgiu a necessidade desta aplicação, porque os dados podem ser introduzidos e armazenados mas o ensaio pode não arrancar nesse dia. No dia em se pretende iniciar o ensaio podem surgir pequenas alterações no ensaio.

Se não existisse esta (Figura 4. 34) aplicação teria de se descartar a configuração anterior e criar uma nova que se adequasse ao ensaio.



The screenshot shows a window titled "Ensaio Existente" with the following fields and buttons:

- N.º Sequência Reporte: LAB2007_00011
- Nome do Cliente: Lear
- Tipo de Cabo: Rebatimento
- Tipo de Ensaio: Assento
- Bancada de Ensaio: 7
- Requisitante: Pedro
- Número de Ciclos do Ensaio: 10000
- Número de Cilindros: 2
- Número de Células de Carga: 1
- Posição Inicial: A-B-
- Sequência: A+/B+/A-/B-
- Buttons: "Alterar Dados" and "Guardar Dados"

Figura 4. 34 Interface que permite visualizar todas as informações de um determinado ensaio

A aplicação que permite a “Monitorização dos ensaios” vai apresentar aos Operadores uma interface onde é apresentada toda a informação existente sobre um determinado ensaio (Figura 4. 35).

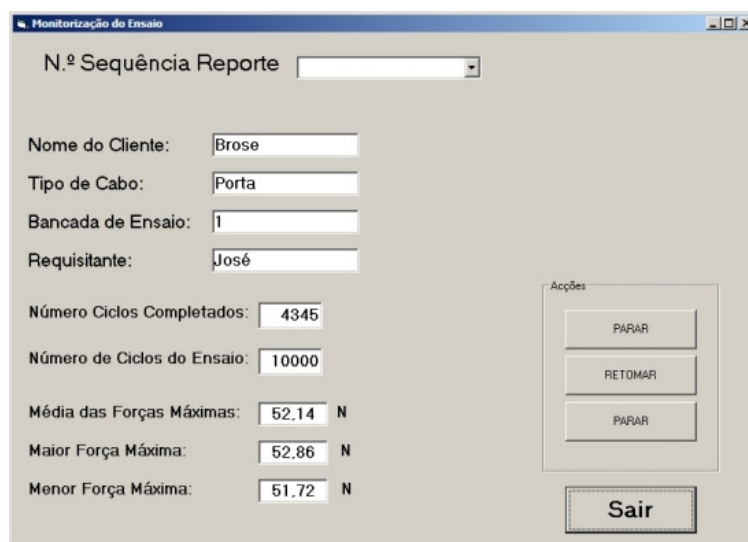


Figura 4. 35 Interface que permite Monitorizar o ensaio pretendido

A BdD do sistema foi inicialmente idealizada e criada no servidor SQL e à medida que se foram desenvolvendo as aplicações foi necessário fazer algumas alterações à BdD para que o sistema funcionasse sem problemas. Na Figura 4. 36 é possível ver o acesso à BdD através do VB e na Figura 4. 37 é possível ter uma pequena noção do aspecto da BdD vista através do Servidor SQL. Na eventualidade de algo não estar a funcionar correctamente o Supervisor vai poder aceder à BdD e corrigir o problema.

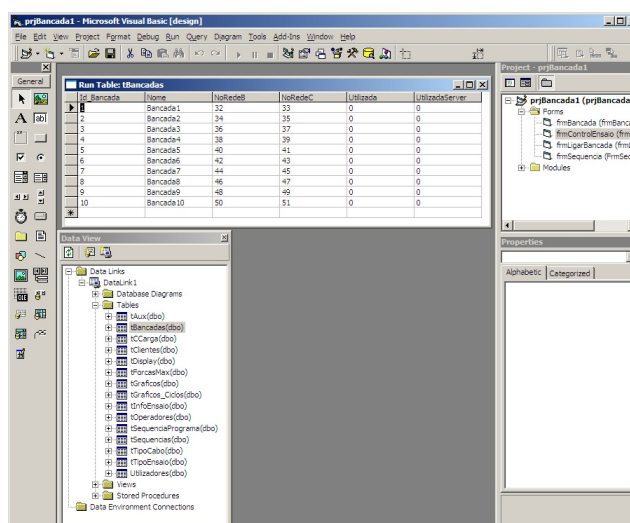


Figura 4. 36 Aspecto geral da BdD através do VB

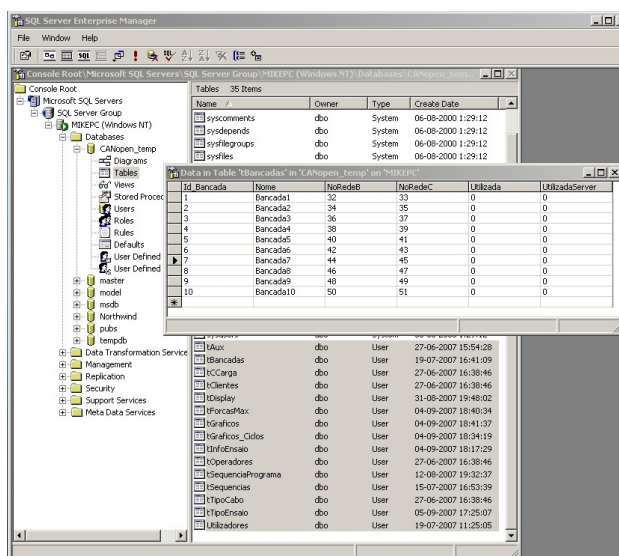


Figura 4. 37 Aspecto geral da BdD directamente no SQL Server

Para que se perceba melhor o funcionamento da aplicação que vai funcionar no “PC’s dos Operadores” foi introduzida a Figura 4. 38 onde é possível verificar como as diferentes partes do programa estão interligadas.

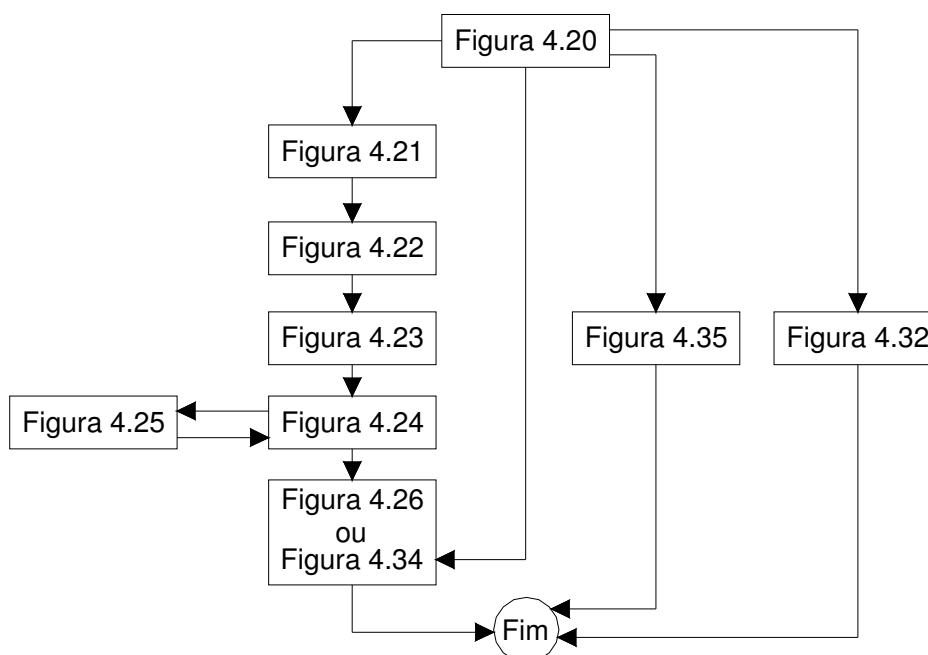


Figura 4. 38 Esquema de Interações da aplicação informática dos PC’s dos Operadores

Para que se perceba melhor o funcionamento da aplicação que vai funcionar no “PC’s dos Operadores” foi introduzida a Figura 4. 39 onde é possível verificar como as diferentes partes do programa estão interligadas.

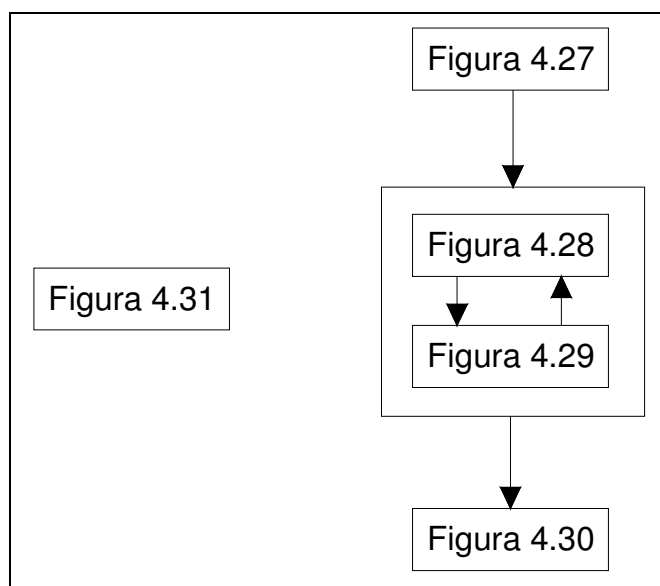


Figura 4. 39 Esquema de Interações das aplicações informáticas do Controlador Central

4.3 Síntese

Neste capítulo vai ser apresentado o trabalho desenvolvido na escolha de todos os elementos que fazem parte do controlo e aquisição de dados do sistema desenvolvido. A apresentação está dividida em duas partes, a descrição dos recursos de hardware e de software.

No âmbito dos recursos de hardware foram descritos todos os componentes e a sua função no sistema de controlo de ensaios.

Relativamente ao software, foram apresentadas as diferentes fases de desenvolvimento do sistema bem como as aplicações informáticas e BdD que compõem o sistema.

No capítulo seguinte são explicados os testes feitos ao sistema desenvolvido e os resultados do inquérito feito aos Operadores do Laboratório.

5. Teste e Validação

5.1 Construção do protótipo

Depois de desenvolvidas as interfaces que compõem o Sistema de Controlo dos Ensaios chegou a momento de testar o desempenho de todo o sistema. Para simular as bancadas dos ensaios foram utilizadas duas bancadas electropneumáticas (Figura 5. 1) no Laboratório de Automação do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).

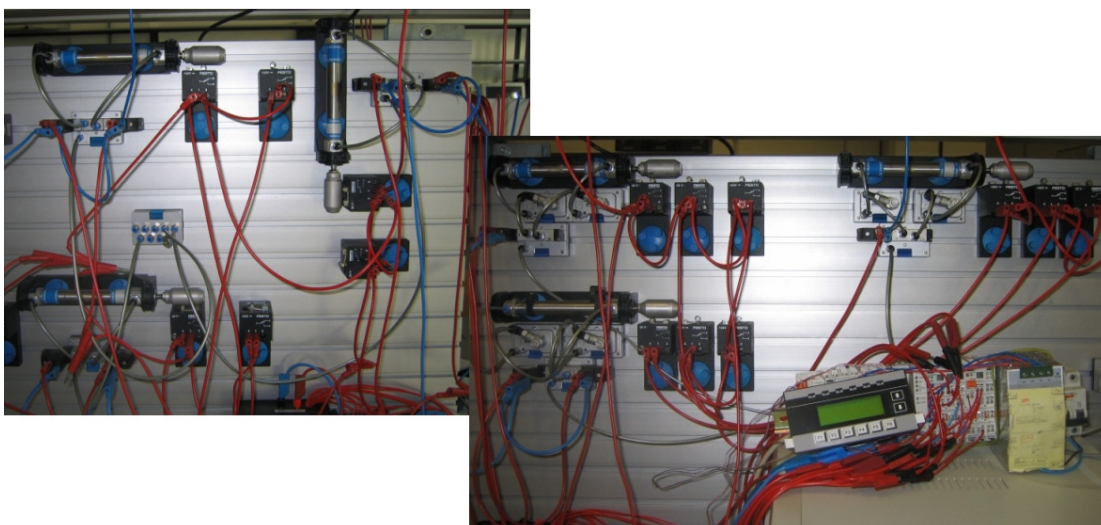


Figura 5. 1 Bancadas electropneumáticas

Foi necessário implementar este protótipo no ISEP porque a Ficocables não conseguiu construir duas bancadas totalmente funcionais, em tempo útil, permitindo fazer os todos testes de validação e escrever os resultados na dissertação antes do prazo de entrega.

Utilizaram-se estas bancadas por ser o local onde o autor trabalha e por já estarem montadas, tendo sido utilizadas na fase de desenvolvimento do sistema.

Foram montados três cilindros pneumáticos, cada um com três sensores, em cada uma das bancadas. Nas entradas analógicas foram colocados potenciômetros permitindo fazer variar o sinal analógico e assim era possível simular a variação da força de um ensaio. É certo que os valores medidos não eram reais, mas o objectivo era testar todas as funcionalidades das aplicações do Sistema de Controlo de Ensaios, o mais real possível.

5.2 Teste do sistema

Utilizando o protótipo (Figura 5. 1), foram “simulados” diferentes ensaios – executadas diferentes sequências – aos diferentes tipos de cabos.

Para testar o sistema foram utilizadas as duas bancadas totalmente funcionais (Figura 5. 2) numa tentativa de simular, tanto quanto possível, as condições de funcionamento dos ensaios no Laboratório. As duas bancadas foram testadas em simultâneo durante os testes todos. Como o teste foi feito com duas bancadas prevê-se que ao introduzir as restantes bancadas o sistema continuará a funcionar sem qualquer problema.

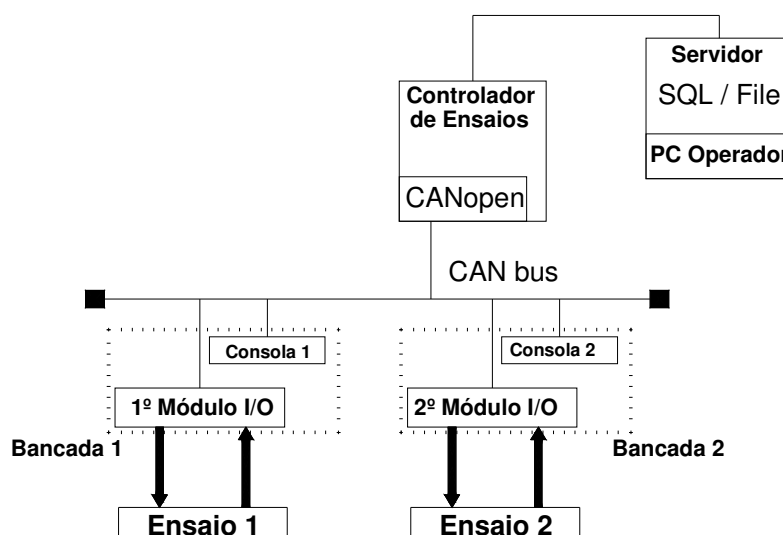


Figura 5. 2 Esquema da arquitectura do Protótipo

Inicialmente foram feitos testes às principais funcionalidades do Sistema:

Verificar se as sequências escolhidas eram controladas correctamente;

Verificar se a aquisição de forças estava a ser bem feita e se o Sistema armazenava as forças no local correcto;

Verificar se o sistema executava o número de ciclos desejados;

Verificar se o sistema adquiria as forças desejadas, mediante o tipo de cabo que estava a ser ensaiado.

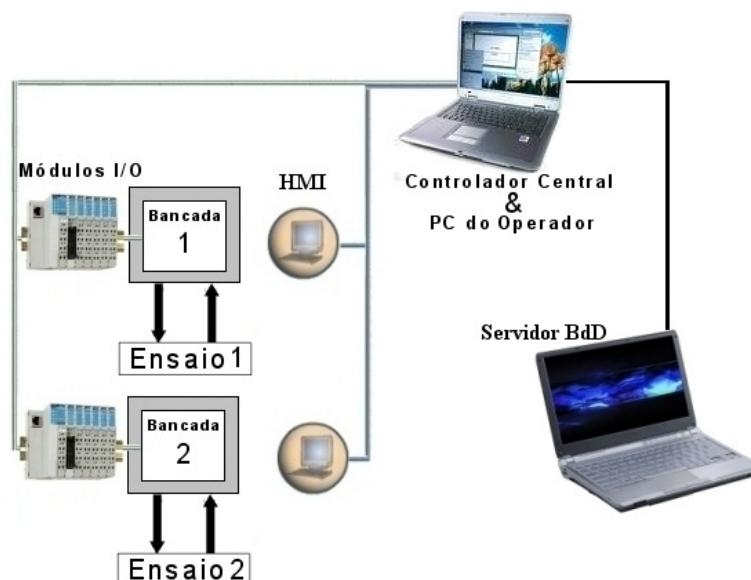


Figura 5. 3 Arquitectura Física do Protótipo

Depois simularam-se diferentes anomalias ou avarias para verificar se o sistema detectava e reagia correctamente (como era previsto) a todas elas:

Impedir um cilindro de avançar para simular o encravamento de um ensaio;

Desligar o módulo I/O da rede simula-se o mau funcionamento do módulo I/O;

Diminuir a velocidade dos cilindros fazendo ultrapassar o Tempo Máximo do Ciclo;

Mexer no potenciómetro, reduzir em 20% o valor da tensão, permitiu simular o rebentamento de um cabo;

Retirar o fusível do módulo para simular a avaria do fusível;

Desligar a entrada digital onde o transdutor de pressão do sistema vai estar ligado, simulando uma diminuição muito grande na pressão do sistema.

Analisando a Figura 5. 3 é possível ver que as funções dos “PC’s do Operadores” foram colocadas no Controlador Central, uma vez que a sua principal função é a introdução e consulta de dados da BdD através. Desta

forma foi possível testar todas as funcionalidades das interfaces e as ligações com a BdD.

Todo o processo de execução de um ensaio foi testado:

Foram introduzidas as configurações de um novo ensaio;

Os dados foram correctamente armazenadas na BdD;

O controlador central recolheu esses dados;

A sequência foi testada e validada;

O ensaio decorreu durante o número de ciclos previsto enquanto isso o Controlador ia armazenando os dados na BdD;

Por fim, foram criados os relatórios automáticos dos ensaios realizados.

A aplicação de controlo de Temperatura e Humidade ainda não estava implementada devido a atrasos na escolha e aquisição dos equipamentos por isso não foi possível verificar o seu funcionamento. No entanto, as aplicações informáticas já estão desenvolvidas e serão validadas assim que os equipamentos cheguem.

Durante estas experiências detectaram-se pequenas anomalias no funcionamento do sistema que não impediram a conclusão dos testes nem comprometeram o sucesso dos mesmos.

Neste momento ainda não foi possível validar o sistema na Ficocables, Lda. por ainda não ter conseguido construir as duas bancadas que vão fazer parte do protótipo. Espera-se que à data da defesa da Dissertação já seja possível apresentar os resultados da implementação do sistema.

Com base nos testes efectuados com este protótipo é possível afirmar com alguma segurança que, quando a Ficocables, Lda. instalar as 10 bancadas, o sistema vai funcionar sem qualquer problema.

5.2.1 Inquérito sobre desempenho do sistema

Para que os utilizadores, do sistema de controlo implementado no laboratório das Ficocables, Lda., pudessem expressar a sua opinião quanto às funcionalidades do programa e melhorias verificadas com a sua utilização foi criado um inquérito que pode ser visualizado no ANEXO D.

O objectivo deste inquérito era obter respostas rápidas e simples, por isso o inquérito é composto por apenas seis questões.

A primeira questão, permite avaliar a utilidade do sistema (se é uma vantagem utilizá-lo) numa escala de 1 a 5, sendo que, 1 revela que o sistema não se integra de todo nos processos do laboratório e 5 está totalmente integrado e é agora indispensável. A média das respostas obtidas é de 4,6 pontos, pelo que se conclui que o sistema está totalmente integrado nos processos do laboratório.

Na segunda pergunta, o objectivo prende-se com a aplicabilidade do sistema, isto é, na gama de produtos testados, é relevante a quantidade de produtos que podem ser ensaiados com o auxílio deste sistema de ensaios.

A resposta obtida prevê que cerca de 80% dos projectos desenvolvidos pela Ficocables, Lda. sejam testados com este sistema. No entanto será bom referir que pode ser muito mais do que isso. A capacidade de controlo centralizado, a forma simples como se pode programar sequências de teste, a obtenção dos parâmetros de temperatura e humidade, etc., podem transformar este sistema numa ferramenta de trabalho onde se podem testar “todos” os equipamentos mesmo que não seja necessário a aquisição de dados. Embora nesta última situação não se esteja a usar todas as potencialidades da ferramenta, os ganhos são grandes relativamente à situação actual (a preparação de um teste novo é cerca de 25% da duração total do mesmo – tudo o que se conseguir otimizar durante o ensaio são ganhos para a empresa).

A terceira questão é muito clara e objectiva, e apenas pretende esclarecer se a forma de definição/ selecção de parâmetros é intuitiva.

Todas as respostas são unânimes em dizer que a interface é muito intuitiva e acessível.

No caso da quarta pergunta, pretende-se averiguar até que ponto os objectivos foram conseguidos e se algum parâmetro importante não está a ser contemplado.

Não foi sugerida a inclusão de mais nenhum parâmetro para medição, pelo que se conclui que o objectivo inicialmente proposto foi de encontro às necessidades dos colaboradores e do departamento.

A quinta questão permite avaliar até que ponto o sistema desenvolvido se enquadra na filosofia da empresa e se eventualmente a sua utilização poderá ser alastrada para outros sectores da fábrica.

Embora o sistema seja um pouco mais ambicioso do que a generalidade das aplicações utilizadas um pouco por toda a fábrica, está segundo a opinião dos inquiridos, enquadrado na realidade da empresa e na necessidade de constante optimização dos recursos não apenas humanos mas também técnicos.

Finalmente, a sexta pergunta quantifica a capacidade de optimização do tempo dispensado em assistência aos testes (neste caso medições de forças) por colaborador. Todos os colaboradores que utilizaram o Sistema, afirmam ser um mecanismo de controlo extremamente útil e que lhes permite a curto prazo, melhorar os seus tempos de resposta ao cliente com mais e melhor qualidade da informação sobre os ensaios.

Podemos desta forma fazer uma avaliação geral da satisfação do “cliente” para quem foi desenvolvido o sistema em CANopen.

No geral, das respostas obtidas, conclui-se que o sistema criado vai sem dúvida de encontro às expectativas, ultrapassado por vezes a performance prevista nomeadamente no que diz respeito à capacidade de aquisição, registo e armazenamento dos valores obtidos. O projecto enquadra-se perfeitamente na realidade da empresa e do departamento técnico, tendo em conta a perspectiva constante de melhoria contínua e a redução dos tempos de resposta aos clientes, cada vez com mais qualidade.

5.3 Síntese

Neste capítulo foi apresentado o protótipo que permitiu testar o desempenho do Sistema de Controlo de Ensaios desenvolvido para a Ficocables, Lda.

Foi descrito o método de teste e a forma como foram verificadas todas as funcionalidades do sistema.

Também foi apresentado o inquérito que foi feito aos Operadores do laboratório, que pretendia avaliar quais foram as primeiras impressões sobre o sistema. Os resultados obtidos foram muito positivos confirmando uma vez mais o sucesso deste projecto.

O capítulo seguinte apresenta as conclusões finais do trabalho desenvolvido e propõe alguns trabalhos a serem desenvolvidos no futuro.

6. Conclusões

6.1 Trabalho desenvolvido

Relativamente ao trabalho desenvolvido é possível dizer, com segurança, que os objectivos propostos foram atingidos e em certos pontos as expectativas chegaram mesmo a ser ultrapassadas.

Este projecto arrancou com uma ideia “muito simples” – automatizar todo o processo dos ensaios do laboratório da Ficocables, Lda. – mas foi perceptível que este projecto iria trazer muitas outras vantagens. Um exemplo foi o facto dos dados retirados com o estudo dos ensaios demonstrar alguns aspectos até agora desconhecidos para os Operadores do laboratório, levantando novos desafios para o sistema que ia ser desenvolvido.

As primeiras impressões dos futuros utilizadores deste SAD foram muito positivas. Os responsáveis da Ficocables, Lda. têm grandes esperanças nestes SAD, esperam ganhar uma vantagem técnico-económica e esperam melhorar a imagem do Laboratório. O desejo da Ficocables é mostrar este sistema, a funcionar totalmente automatizado, quando os seus clientes fazem visitas às instalações da fábrica e do laboratório.

O trabalho apresentado já provou a sua utilidade, permitindo um maior e melhor conhecimento das características dos diferentes ensaios realizados no laboratório bem como a demonstração da versatilidade da arquitectura utilizada.

Para além da utilidade, verificada até ao momento, um projecto como este tem como objectivo a formação do aluno que o desenvolve bem como a necessidade de ser útil para quem o vai utilizar *à posteriori*.

Os testes preliminares efectuados ao sistema foram um sucesso, prevendo-se também ser um sucesso quando for implementado no Laboratório da Ficocables, Lda., tornando-se uma ferramenta imprescindível no teste e avaliação da qualidade dos seus produtos. De uma forma geral, a empresa está muito satisfeita com a performance dos testes efectuados com o protótipo. A Ficocables, Lda. demonstrou todo o interesse em instalar duas bancadas totalmente funcionais, sendo então possível validar o sistema *in loco*. Posteriormente serão construídas e integradas as restantes bancadas,

esperando-se uma melhoria nos tempos de resposta do laboratório e consequentemente na melhoria dos seus indicadores de performance.

Até à data de conclusão desta dissertação, a aplicação de controlo de Temperatura e Humidade ainda não estava implementada devido a atrasos na escolha e aquisição dos equipamentos. No entanto, as aplicações informáticas já estão desenvolvidas e serão validadas assim que os equipamentos cheguem.

6.2 Expectativas com o sistema, a curto/médio prazo

A curto e médio prazo espera-se:

- i) Aumentar a disponibilidade do Laboratório em 40% (aproveitar para testar aos fins-de-semana, feriados e alguma coisa durante a noite);
- ii) Disponibilizar os resultados dos testes com muito melhor qualidade e visão de comportamentos do produto segundo parâmetros, até agora não possíveis de ser medidos;
- iii) Diminuir em 20% o tempo de preparação de testes;
- iv) Dentro do processo de standardização do Grupo FICOSA, exportar esta solução para os outros Laboratórios, dando a este laboratório uma imagem de centro de competência, não só nos produtos desenvolvidos pelo Centro Técnico mas também nos processos laboratoriais;
- v) A longo prazo espera-se, integrar completamente o laboratório no processo de I&D à imagem, por exemplo, de um software de FEA (Finite Element Analysis), converter o laboratório numa ferramenta e não num departamento prestador de serviços. Em muitos casos o laboratório não necessitaria de executar testes, mas sim prever de forma muito correcta, o comportamento de um produto, recorrendo a uma BdD de conhecimento, só possível com o aumento da qualidade

das verificações e medições das grandezas - até agora não possíveis de serem mensuradas, construídas e mantidas com os dados de testes que se vão efectuando - tipo de produto e sua completa caracterização e o comportamento do mesmo (segundo grandezas que caracterizam a sua performance).

O último ponto é considerado um sonho, mas concretizável, desde de que se consiga guardar os dados correctos, correspondentes ao conhecimento integral do produto, e que possam ser visualizados a qualquer momento de forma simples e rápida (ferramenta "*user friendly*") - para que todos queiram usar as lições apreendidas. Isto também passa por tornar o Laboratório numa ferramenta de confiança para os técnicos que desenvolvem os produtos e para os clientes, onde a implementação do Sistema de Controlo de Ensaio terá um papel fundamental.

6.3 Possibilidades futuras

Uma das possibilidades futuras é a integração desta arquitectura noutros departamentos da Ficocables, Lda. Por exemplo, introduzir esta arquitectura para desenvolver um sistema automático de controlo das linhas de produção da Ficocables, Lda., permitindo um controlo em tempo real do que se está a produzir e como (acesso a informações importantíssimas para a produção).

O sistema foi desenvolvido de forma a integrar, num futuro próximo, um sistema de controlo de avisos/alarmes através de SMS's, permitindo enviar um SMS, aos operadores do laboratório, com a descrição do aviso/alarme.

Desenvolver uma interface *Web* que permita um controlo/monitorização dos ensaios à distância. Desta forma, será possível disponibilizar um acesso aos seus clientes para que estes possam, de qualquer parte do mundo, aceder à informação do(s) seu(s) ensaio(s).

Este projecto não esgotou todas as possibilidades de desenvolvimento. É possível criar-se aplicações que façam a gestão do uso das células de carga para que sejam calibradas dentro de intervalos de tempo ou devido à sua utilização. Outra possibilidade seria uma aplicação de gestão da utilização dos cilindros. Isto é, podiam ser criadas ferramentas de gestão que controlasse o uso dos diferentes equipamentos que compõem o sistema, permitindo gerar avisos ou alarmes (ex: aviso que a data de calibração está próxima, alarme a sinalizar que a data de calibração foi ultrapassada).

Como a arquitectura utilizada permite uma fácil integração de novos nós na rede e como a taxa de ocupação da rede é bastante baixa, há sempre a possibilidade de integrar outro(s) Controlador(es) a gerir outros sistemas.

Todas estas possibilidades seriam sem dúvida acções positivas para a empresa que provavelmente se iriam reflectir nos seus resultados a médio prazo.

É possível concluir que existem algumas aplicações que podem ser integradas ao sistema já desenvolvido. Estas aplicações virão melhorar o funcionamento desta “ferramenta” tornando-a mais versátil e dinâmica.

6.4 Conclusões pessoais

Da minha parte, posso assegurar que foi com muito prazer que me envolvi neste projecto, que me interessou muito deste início e ao qual dediquei muito do meu tempo. Realço a importância e a motivação que foi, poder fazer a ponte entre a Universidade e a Indústria, especialmente uma Indústria tão exigente como a do ramo automóvel.

A minha formação ficou fortemente enriquecida nas áreas dos sistemas de aquisição de dados, no conhecimento da rede CAN e protocolo CANopen bem como no conhecimento das linguagens de programação e BdD's.

Para além da formação técnica e científica que adquiri ao desenvolver este projecto, aquilo que eu considero de maior valor foi a oportunidade de desenvolver um sistema que se tornará numa ferramenta muito importante para o crescimento de uma empresa ligada à Indústria Automóvel.

Seguramente, e neste caso, a aposta em interligar a Universidade com a Indústria foi ganha. Penso que é necessário continuar a apostar e a intensificar esta interacção, para tal o esforço terá de ser feito dos dois lados.

A versatilidade desta tecnologia foi aqui demonstrada por várias vezes e é, sem dúvida, uma das grandes vantagens deste sistema. Tenho pena que por vezes existam projectos que não considerem a utilização de tecnologias menos convencionais por causa do velho ditado que diz:

“Se funciona bem assim porquê mudar?”.

Finalmente expressei o meu entusiasmo, pelo facto de poder colaborar para despertar o interesse e investimento numa tecnologia promissora.

Referências Bibliográficas

-
- [1] Data_Translation_Inc, "Choosing Data Acquisition Boards and Software," 2007, pp. 12.
 - [2] A.P.Magalhães_a), "Tecnologias da Computação Industrial," 2003.
 - [3] José_Mendes_a), "Recursos da I&D na Ficocales," 2006.
 - [4] José_Mendes_b), "Projectos desenvolvidos no centro técnico da Ficocables,Lda.," 2007.
 - [5] National_Instruments_a), "Overview of hardware architecture," 2006.
 - [6] Siemens_a), 2001.
 - [7] Michael_Maidof, "PEAK Systems - Maximum messages on the CAN bus," 2006.
 - [8] P.Ward-S.Mellor, *Structured Development for Real-Time Systems*, vol. 1 & 2: Yourdon Press, 1986.
 - [9] CiA_CAN, "Controller Area Network (CAN) Specification," CAN in Automation (CiA), 2005.
 - [10] BOSCH_GmbH, "CAN Specification," BOSCH, Stuttgart 1991.
 - [11] PEAK-SystemsTechnik, 2005.
 - [12] L. Bresimar - Sociedade de Equipamentos Eléctricos, "Catálogo Geral," 2005.
 - [13] Beckhoff_Automation_GmbH, "Fieldbus components," 2005.
 - [14] Scaime, *Células de Carga*, 2004.
 - [15] AEP_Transducers, *Amplificador TA4/2*. Modena, Itália.
 - [16] CiA_CANopen, "CANopen overview and specifications," CAN in Automation (CiA), 2005.
 - [17] National_Instruments_b), "Measurements," in *Measurement Hardware - Tutorial*: NI, 2007, pp. 244-251.
 - [18] SMC_Corporation, 2005.
 - [19] L.Campos-C.Vilar-L.Lúcio, *Programação em Visual Basic 6*: FCA.
 - [20] F.Marques-A.Mendes-M.Henriques-R.Sena, *Programação de Bases de Dados com VB6*: FCA, 2001.
 - [21] A.P.Magalhães_b), "Informatização Industrial," 2004.
 - [22] M.Farsi-M.Barbosa, *CANopen Implementation - applications to industrial networks*: SRP Ltd, Exeter, 2000.

Anexos

A- Caderno de Encargos

Este anexo apresenta um caderno de encargos que a Ficocables, Lda. recebeu de um dos seus clientes, onde são descritos todos os requisitos dos testes.

Tem como objectivo principal demonstrar a complexidade e a quantidade de informação que um caderno de encargos pode ter.

Chama-se especial atenção ao ponto 2.1, secção C (TEST SETUP), onde são apresentadas as características específicas do ensaio como o curso de teste, a força máxima e os pontos de fixação.

Convém ainda referir que a informação que foi retirada deste caderno de encargos era sigilosa ou não tinha nenhum interesse especial.

Automotive Closures TEST SPECIFICATION

“OEM” High Line Bowden

Table of Contents

1 INTRODUCTION	4
1.1 APPARATUS REQUIREMENTS	7
1.2 GENERAL TESTING PARAMETERS	8
1.3 "OEM" HIGH LINE BOWDEN FLOW CHART	9
2 FUNCTIONAL TESTS	10
2.0 DIMENSIONAL MEASUREMENT	11
2.1 EFFICIENCY OF CABLE.....	12
2.2 CABLE ENDURANCE RESISTANCE	14
2.3 SLIDING LOAD BETWEEN CABLE & CONDUIT	16
2.4 CORROSION	17
2.5 BELLOW EXTRACTION LOAD	18
2.6 SULPHUR DIOXIDE CORROSION RESISTANCE (DIN 50018)	19
2.7 THERMAL SHOCK	20
2.8 FREEZE TEST	21
2.9 CABLE END EXTRACTION LOAD	23
2.10 CONDUIT END EXTRACTION LOAD	24
2.11 HINZ TEST	25
2.12 CLIMATE TEST	27
2.13 LUBRIFICATION ASSESSMENT	28

“Tier 1” Automotive Test Specification
“OEM” High Line Bowden

Specification Document No:

1 INTRODUCTION

A. GENERAL.

This Engineering Specification (ES) must always be read with the Fixture Drawing, and all other requirements of the assembly drawing. A revision control sheet bearing authorization from the indicated department managers must precede this ES. This ES is void if the revision control sheet or signatures are not present.

This test specification is intended to evaluate specific performance characteristics as a supplement to normal material inspection, dimensional checking, and in-process controls, and should in no way adversely influence other inspection operations.

Preparation and submission (...)

B. SYSTEM DESCRIPTION

The intent of this document is to set engineering and testing procedures for the Cable of power soft close. A Cable (...)

C. PART VERIFICATION.

Before any testing is to begin the following data proving part integrity must be provided to the responsible

PDD :

- Material Certifications for 100% of the component assemblies.

- Dimensional Verification (...)

D. PART TRACKING.

Each cable must be individually tagged for identification purposes. Each cable (...)

E. REVISION CONTROL

Revisions to this controlled document will be issued as per the QS9000,(...)

1.1 APPARATUS REQUIREMENTS

(...)

1.2 GENERAL TESTING PARAMETERS

(...)

“Cable Drawing”

2 FUNCTIONAL TESTS

2.0 DIMENSIONAL MEASUREMENT

(...)

2.1 EFFICIENCY OF CABLE

Environment: Ambient

A. PURPOSE:

- i. To verify the efficiency of the cable in vehicle position .

B. APPARATUS:

- i. Efficiency test fixture.
- ii. Equipment for measuring load parameters

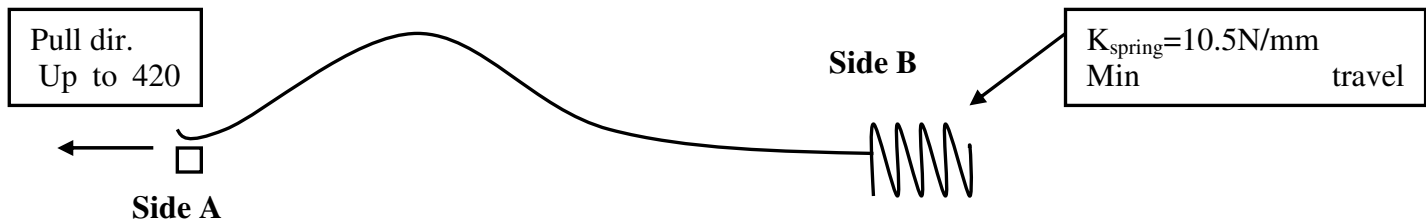
“cable drawing in layout position”

“Tier 1” Automotive Test Specification
“OEM” High Line Bowden

Specification Document No:

C. TEST SETUP:

- i. Install the Cable into Efficiency test fixture in vehicle position (see drw)
- ii. Apply an increase pulling load on side “A” from 0 to 420 N (estimated travel is about 40mm)



- iii. Examine all components for any cracks or deformations
- iv. Measure the value of output load on side “B”

D. TEST METHOD:

- i. Assembly the cable into the fixture.
- ii. Run in 5 times the cable without load
- iii. Apply the load of 15 N/s until 420 N on side “A”
- iv. Measure the value of output load on side “B”
- v. Track the graph: Load “A” – Load “B”

E. ACCEPTANCE CRITERIA:

- i. When Load “A” = 420 N, the ratio Load “B” / Load “A” must be equal or greater than 0,8.
- ii. There must be no missing components.
- iii. There must be no binding or deformation of any mechanisms.
- iv. There must be no broken or cracked plastic components.

F. STATISTICAL CRITERIA:

- i. All must pass

2.2 CABLE ENDURANCE RESISTANCE

(...)

2.3 SLIDING LOAD BETWEEN CABLE & CONDUIT

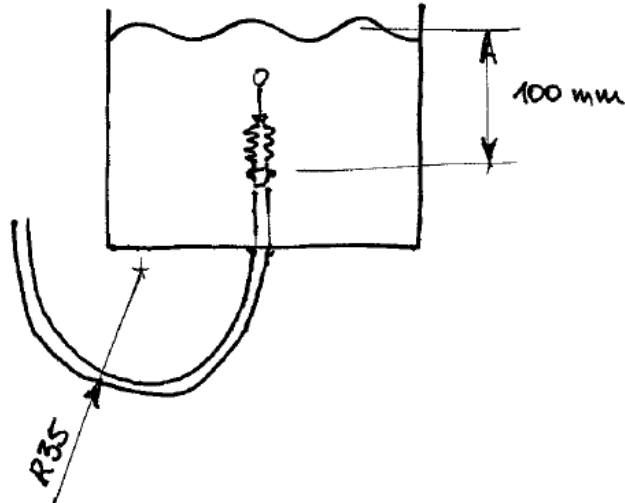
(...)

2.4 CORROSION

(...)

2.8 FREEZE TEST

(...)



B- Cálculo da ocupação da rede CAN

A rede CAN tem um comprimento máximo de 25 metros por isso a velocidade da rede estipulada é de 500kbps (Tabela 4. 1 na pág. 51), isto significa que cada bit terá a duração de 2 μ s.

As mensagens CAN têm vários campos com diferentes números de bits. Uma mensagem CAN pode ir dos 64 aos 128 bits (Tabela B. 1) dependendo do tipo de mensagem e da quantidade de informação que a mensagem transporta.

Tabela B. 1 Tempos de transmissão das mensagens CANopen

Tipo de Mensagem	N.º de Bits	Tempo Mensagem (μ s)
Mensagem Sincronização (Sync)	64	128
PDO tipo1	72	144
PDO tipo2	80	160
PDO tipo3	88	176
PDO tipo4	96	192
PDO tipo5	104	208
PDO tipo6	112	224
PDO tipo7	120	240
PDO tipo8	128	256
SDO	128	256

Para fazer uma análise de carga máxima da rede da Ficocables é necessário considerar a pior situação de carga da rede, para isso consideraram-se todas as bancadas a funcionar à máxima carga. Temos dez bancadas, três cilindros por bancada, cada cilindro tem três sensores e uma célula de carga por cilindro. Considerando que todas as bancadas funcionam ao mesmo tempo (pior caso) teríamos a rede teoricamente a comportar-se como se vê no seguinte cálculo:

$$(0,128*35) + (2,56*35) + (1,44) + (5,28*4) = 116,64\text{ms}$$

Isto quer dizer que durante 1050ms a rede só vai estar ocupada 116,64ms.

Ao analisar os intervalos de 30ms pode-se ver (Figura B. 1) que vão existir alguns intervalos cuja ocupação máxima é de 7,968ms (26,6%).

Teoricamente a carga média da rede é de 11,11%, mesmo estando a utilizar a velocidade de 500kbps. Na eventualidade da rede começar a ficar sobrecarregada, antes de fazer qualquer tipo de alterações no Controlador é possível mudar a velocidade para 1Mbps, sendo necessário reduzir, por precaução, o comprimento máximo da rede.

- I - Mensagem de Sincronização (128 μ s)
- 1 - 10 SDO's Respostas dos A/D ao SYNC (2,56 ms)
- 2 - 10 PDO's ordenar Avanço dos 30 Cilindros (1,44 ms)
- 3 - 30 PDO's informar que 30 Cilindros iniciaram avanço (S1 off) (5,28 ms)
- 4 - 30 PDO's informar que 30 Cilindros chegaram ao Sensor Central (S2 on) (5,28 ms)
- 5 - 30 PDO's informar que 30 Cilindros saíram do Sensor Central (S2 off) (5,28 ms)
- 6 - 30 PDO's informar que 30 Cilindros chegaram fim do Avanço (S3 on) (5,28 ms)

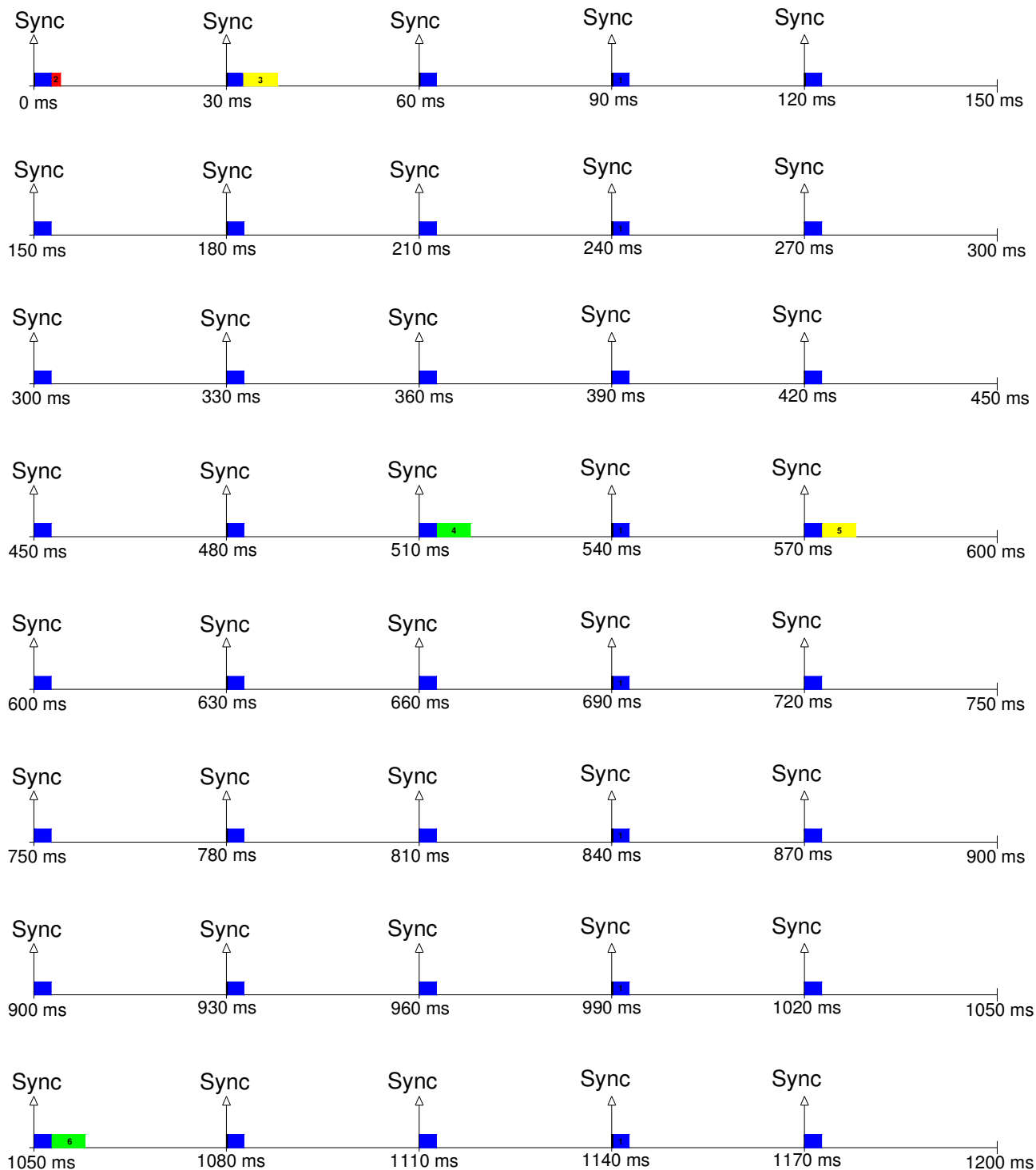


Figura B. 1 Comportamento da rede CAN na pior situação, movimento de avanço.

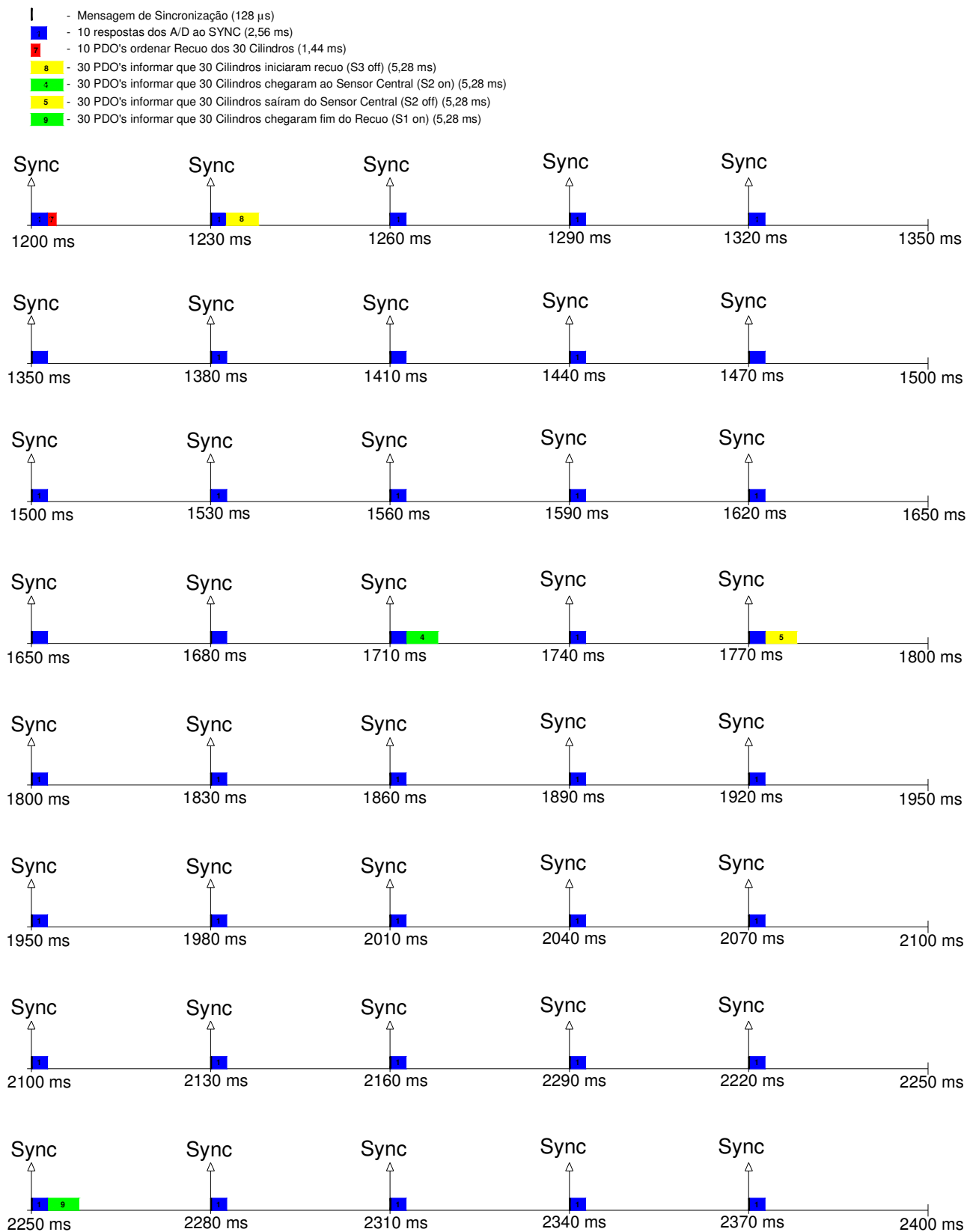


Figura B. 2 Comportamento da rede CAN na pior situação, movimento de recuo.

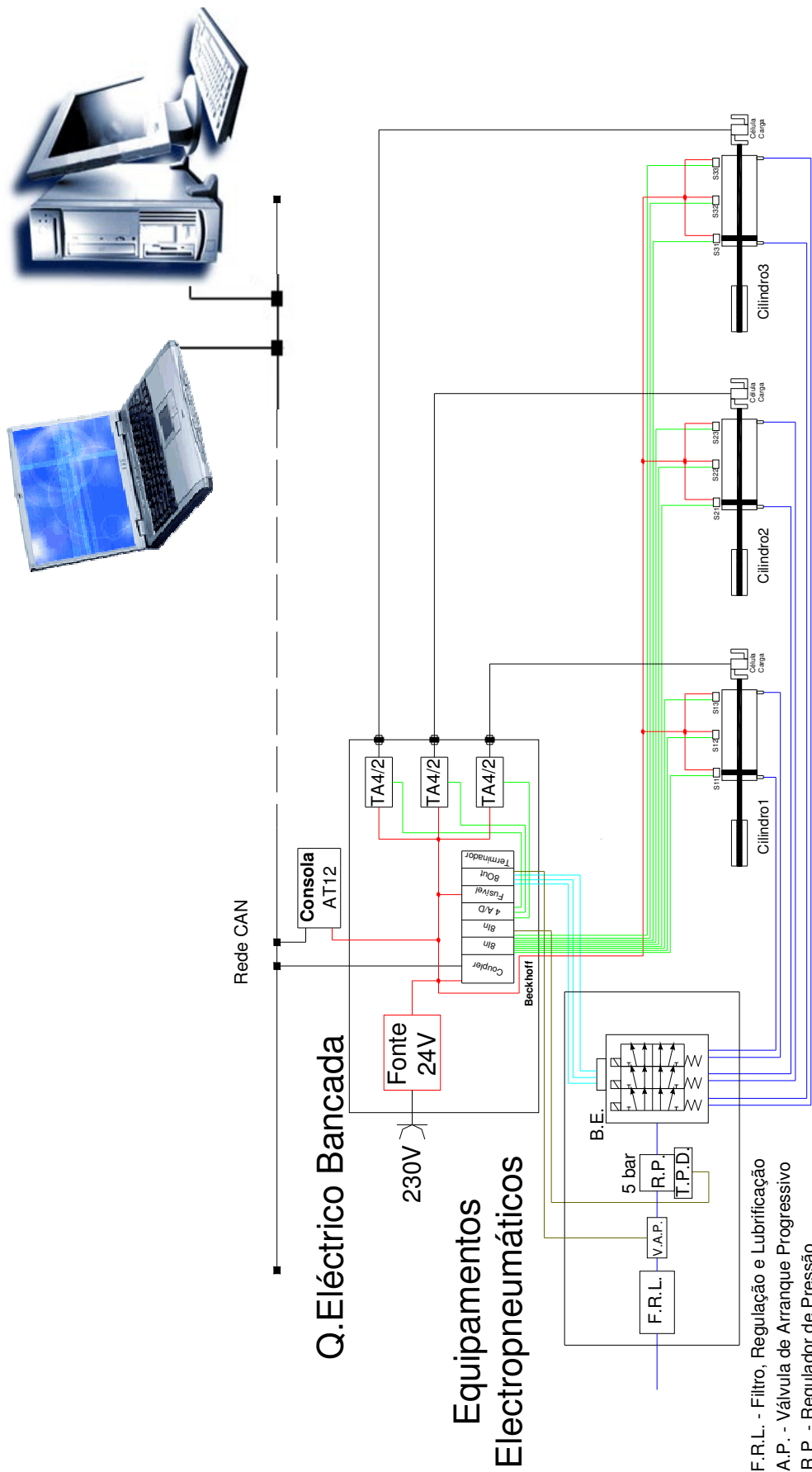
C- Esquema electropneumático

O esquema apresentado na página seguinte representa as ligações electropneumáticas de uma bancada.

Estão representados todos os equipamentos que compõem uma bancada. É possível ver o quadro eléctrico onde está o módulo I/O da Beckhoff (com as cartas de entrada e saída) e os amplificadores analógicos (TA4/2).

É possível ver como são as ligações do quadro aos equipamentos pneumáticos.

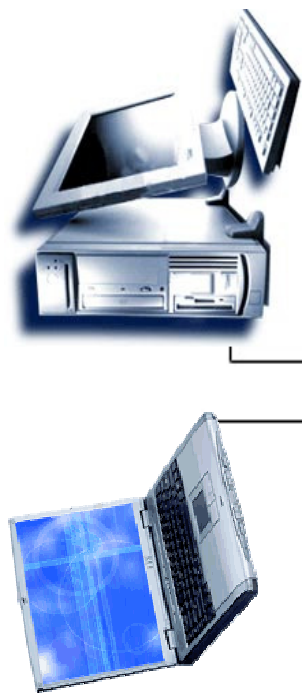
Também se podem ver as ligações do módulo Beckhoff e da Consola táctil à rede CAN.



Q. Eléctrico Bancada

Equipamentos Electropneumáticos

- F.R.L. - Filtro, Regulação e Lubrificação
- A.P. - Válvula de Arranque Progressivo
- R.P. - Regulador de Pressão
- T.P.D. - Transdutor de Pressão Digital
- B.E. - Bloco de Electroválvulas



D- Inquérito de Satisfação – Sistema CANopen

Nome:

Função:

De 1 a 5 qual a utilidade do sistema CANopen no contexto das actividades do laboratório? (1= nenhuma; 5= indispensável)

No universo de testes realizados no laboratório, qual a aplicabilidade deste sistema?

Considera o programa “user friendly”?

Existe alguma informação relevante que não esteja contemplada no programa?
Qual?

Recomendava esta tecnologia para controlar alguma outra actividade na empresa? Qual?

De 0 a 100% quanto do seu tempo de trabalho pensa poder “poupar” com a utilização deste sistema?

E- Estudo das amostragens mínimas dos ensaios

Para estudar a questão da frequência de amostragem escolhida dos ensaios tipo, apresentados no Capítulo 2, utilizou-se um computador com uma placa de aquisição de dados, foi-se variando a frequência de amostragem e os valores foram sendo armazenados em folhas de Excel.

Utilizando como referência o ensaio de carga permanente observou-se o seguinte: Inicialmente a amostragem era suficientemente elevada para garantir um detalhe muito bom no gráfico (Figura E. 1 a)), servindo de padrão de comparação para os gráficos seguintes; Depois foi-se diminuindo a frequência de amostragem até o gráfico perder detalhes importantes (Figura E. 1 c)).

Para determinar a frequência de amostragem que permite analisar os pontos de interesse deste ensaio, foi necessário aumentar a frequência para as 30 amostras/segundo (Figura E. 1 b)). A frequência escolhida para este tipo de cabos é de 30 amostras/segundo, porque a definição é idêntica à referida como padrão (Figura E. 1 a)) e, por outro lado, se a frequência de amostragem aumentar não existe nenhum ganho de informação.

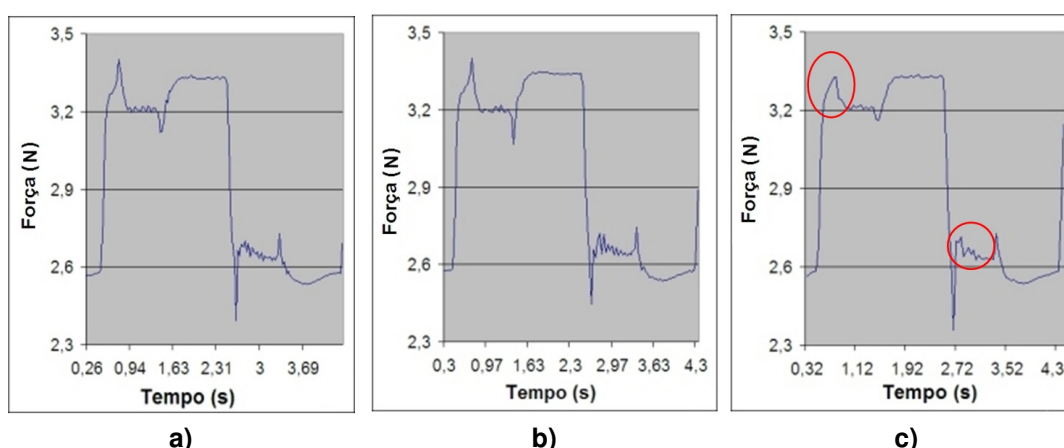


Figura E. 1 Gráfico com 35 (a), 30 (b) e 25 (c) amostras por segundo

O método descrito anteriormente foi utilizado em todos os tipos de cabos estudados no capítulo 2. A Tabela E. 1 resume as frequências de amostragem ótimas dos diferentes ensaios tipo.

Tabela E. 1 Resumo das amostragens ótimas dos ensaios

Tipo de Ensaio	Amostras/Segundo
Carga Permanente	30
Carga Variável	30
Cabos "Push-Pull"	30
Cabos dos Assentos	30
Carga Simulada por Molas	10