

UNIVERSIDADE DO MINHO

ESCOLA DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA TÊXTIL



MESTRADO EM ENGENHARIA TÊXTIL

**“MEDIÇÃO E ANÁLISE DE PARÂMETROS EM MÁQUINA DE
COSTURA INDUSTRIAL”**

Mestrando: Helder Manuel Teixeira Carvalho

Orientadores: Doutor Fernando Nunes Ferreira
Doutor João Monteiro

Guimarães
Janeiro 1997

Agradecimentos

Finalmente está concluído o trabalho a que me propus há algum tempo. Quero agradecer a muitas pessoas a alegria que me trouxe até aqui, a nível profissional como também a nível pessoal.

Sem o conhecimento, experiência e boa disposição dos meus orientadores, Professores Fernando Ferreira e João Monteiro, dificilmente teria concretizado o trabalho de forma tão compensadora.

O meu colega/orientando, (futuro) Engenheiro Daniel Andrade esteve sempre à altura das necessidades do projecto, tendo também contribuído com inúmeras sugestões e boas soluções a nível de “hardware” para uma boa conclusão deste trabalho.

A Professora Teresa Amorim e o Professor Mário de Araújo, actual e antigo Director do Departamento, bem como a Directora do Mestrado, Doutora Rosa Vasconcelos, prestaram sempre o apoio necessário para que fosse possível fazer o projecto evoluir.

Foi graças ao Professor Lubos Hes que se conseguiram os excelentes sensores de tensão de linha de que o equipamento agora dispõe.

A Doutora Ana Maria Rocha, o Engenheiro Miguel Carvalho e o Engenheiro Luís Ferreira da Silva contribuíram com inúmeras sugestões e soluções para os pequenos problemas e dúvidas que iam surgindo. A manifestação das suas necessidades como utilizadores do sistema permitiram desenvolver um sistema que, espero, servirá aqueles que trabalharão com ele.

Ao Professor Adriano de Carvalho agradeço a sua disponibilidade para participar no júri para a defesa da minha dissertação. É com grande prazer que revejo uma das pessoas que me fizeram Engenheiro Electrotécnico e de Computadores na FEUP, instituição que me ficará no coração para sempre.

Não me posso esquecer de todos os meus colegas do Departamento, docentes e funcionários, que de uma forma ou outra me ajudaram a sentir motivado para trabalhar, e com quem passei os intervalos do trabalho. Apesar de me arriscar de esquecer alguém, quero referir alguns nomes em especial: Os meus colegas Maria José Marques, Bernardo Providência, André Catarino, Joana Cunha, Jorge Santos, Raúl Fanguero, Cristina Broega, Pedro Souto, Pereira Mendes, Ramos Cuambe, Fava dos Santos, Professores António Cabeço Silva e Elisabete Cabeço Silva, Doutor Hu Hong, as nossas magníficas secretárias Carla e Maria José, Joaquim Jorge e os Senhores Freitas. Um agradecimento especial também ao Sr. Joel dos Laboratórios de Electrónica e ao Engenheiro Romero por nunca nos ter faltado um fio ou um “chipzinho” para as nossas invenções. Perdoe-me *por favor* alguém que tenha sido esquecido.

À minha família, em especial aos meus pais e ao meu irmão, agradeço, entre muitas coisas, a paciência que sempre tiveram comigo e o apoio que me prestaram, eu que nunca fui fácil de aturar, principalmente se o trabalho

originar “stress”, como tantas vezes aconteceu. Tenho a certeza de que este marco na minha vida será também um motivo de alegria para eles.

Ao meu pai agradeço também os conhecimentos e apoio técnico ao nível da Tecnologia da Costura, transmitidos por ele e também através dos técnicos da firma Carvalho, Mendes e Garcia.

Finalmente não posso de maneira nenhuma esquecer a minha namorada Carla, que com o seu carinho e alegria me proporcionou a paz suficiente para concluir este trabalho.

Índice

I. Introdução e Objectivos.....	8
I.1. Enquadramento	8
I.2. Máquinas de costura e seus parâmetros de funcionamento	9
I.2.1. Tipos de pontos. Tensões e consumos de linha.....	10
I.2.2. Agulhas em máquinas de costura	11
I.2.3. O sistema de alimentação do tecido	12
I.3. Melhoramento do sistema já existente	13
I.3.1. Hardware.....	14
I.3.1.1. Sensores	14
I.3.1.2. Electrónica de condicionamento.....	15
I.3.2. Software	16
I.3.2.1. Funcionalidades	16
I.3.2.2. A introdução de técnicas de análise de sinal	16
I.4. Aplicações práticas do sistema	17
I.5. A preparação para o controlo automático.....	17
II. Hardware.....	19
II.1. O sensor para as tensões de linha.....	19
II.1.1. Tipo de sensor utilizado.....	19
II.1.2. Configuração mecânica	21
II.1.3. Condicionamento	22
II.1.4. Caracterização.....	22
II.2. O sensor para a força do calcador e de penetração da agulha	22
II.2.1. Tipo de sensor utilizado.....	22
II.2.2. Configuração mecânica	23
II.2.2.1. Sensor para força sobre barra de agulha.....	23
II.2.2.2. Sensor para força sobre calcador	25
II.2.3. Condicionamento	25
II.2.4. Caracterização.....	26
II.3. Estrutura do hardware	26
II.3.1. Objectivos	26
II.3.2. Descrição geral	27
II.3.2.1. Placas.....	27

II.3.2.2. Definição do barramento – Ligação de placas externas à placa de aquisição	28
II.3.3. Interface digital no barramento - endereçamento e comunicação com placas externas	29
II.3.4. Interface às entradas analógicas e de controlo da placa de aquisição	31
II.3.5. Possibilidades de expansão	31
II.4. A placa tipo extensómetros	32
II.4.1. Diagrama de blocos	32
II.4.2. Entrada.....	34
II.4.3. Controlo de ganho por software.....	34
II.4.4. Ajuste manual de ganho e offset através de potenciómetros	34
II.4.5. Filtros passa-alto.....	35
II.4.6. Formatos para a comutação dos filtros passa-alto	35
II.4.7. Filtragem anti-aliasing.....	36
II.4.8. Calibração	37
II.4.9. Montagem física	38
II.5. A placa tipo piezoeléctricos.....	38
II.5.1. Diagrama de blocos	38
II.5.2. Entrada.....	40
II.5.3. Isolamento e condicionamento de sinal de sincronismo.....	41
II.5.4. Controlo de ganho por software.....	41
II.5.5. Ajuste manual de ganho e offset através de potenciómetros	41
II.5.6. Filtros passa-alto.....	41
II.5.7. Detectores de pico e calibração.....	42
II.5.8. Formatos para o controlo dos multiplexers	43
II.5.9. Filtragem anti-aliasing.....	44
II.5.10. Montagem física.....	44
II.6. A placa de aquisição do PC	45
III. Software - Utilização	46
III.1. Introdução.....	46
III.1.1. Funcionalidades a serem cumpridas	46
III.1.2. O pacote LABVIEW e os módulos utilizados	46
III.2. Algumas definições.....	47
III.3. O botão de ajuda	49
III.4. Os “pop-up menus”.....	50
III.5. Estrutura do programa.....	51

III.6. Dados de configuração - Painel de configuração.....	54
III.6.1. Configuração do hardware interno do PC (placa de aquisição)	55
III.6.2. Configuração da aquisição	55
III.6.3. Configuração da pasta de trabalho.....	56
III.6.4. Configuração dos canais e ligações externas	57
III.6.5. Parâmetros ajustáveis no painel de osciloscópio	57
III.7. O painel principal.....	58
III.7.1. Descrição geral	58
III.7.2. O indicador de velocidade	59
III.7.3. Menu principal.....	59
III.7.3.1. Opção “Adquirir”	59
III.7.3.2. Opção “Abrir ficheiro”	60
III.7.3.3. Opção “Gravar ficheiro”	64
III.7.3.4. Opção “Painel de Análise”	65
III.7.3.5. Opção “Osciloscópio”	65
III.7.3.6. Opção “Configurar”	65
III.7.3.7. Opção “Calibrar”	65
III.7.3.8. Opção “Fim”.....	65
III.7.4. Os bancos de registos de sinais	65
III.7.4.1. Função e Propriedades	65
III.7.4.2. Manipulação de registos	66
III.7.4.3. Informação sobre sinais	67
III.7.5. A manipulação do gráfico.....	69
III.7.5.1. Escalas para o eixo x	70
III.7.5.2. Os controlos do gráfico: Escalas, cursores, zooms.....	71
III.7.5.3. O pop-up menu do gráfico.....	73
III.7.5.4. O menu da legenda do gráfico	74
III.7.6. Menu gráfico	75
III.7.6.1. Opção “Redesenhar”	75
III.7.6.2. Opção “Apagar cursor”	75
III.7.6.3. Opção “Grelha”	75
III.7.6.4. Opção “Cor de fundo”	76
III.7.6.5. Opção “Imprimir”	76
III.7.6.6. Opção “Janela”	76
III.7.6.7. Opção “Converter p/digital”	77

III.8. O painel de osciloscópio	77
III.9. O painel de calibração de sensores	79
III.9.1. Descrição geral do painel e do método de calibração	79
III.9.2. Factores de calibração e fórmulas de conversão	79
III.9.3. Caso particular de sensores piezoeléctricos	82
III.9.4. Descrição do painel. Método de calibração	83
III.9.5. Calibração parcial – Correção de zero.....	87
III.10. O painel de análise.....	88
III.10.1. Descrição geral do painel	88
III.10.2. Detecção e cálculo de picos	89
III.10.3. Análise espectral.....	98
III.10.4. Filtragem digital.....	100
III.10.5. Miscelâneos – Cálculo de energia de um sinal.....	102
III.11. Formatos de ficheiros	102
III.11.1. O ficheiro de configuração	102
III.11.2. Ficheiros de calibração	103
III.11.3. Ficheiros de sinais simples	104
III.11.4. Ficheiros de sinais completos.....	105
III.11.5. Ficheiros de picos	107
IV. As diversas técnicas de cálculo utilizadas.....	109
IV.1. Cálculo de escalas	109
IV.2. Cálculo da velocidade de costura	111
IV.3. Detecção de picos.....	113
IV.4. Análise espectral.....	115
IV.4.1. Alguns fundamentos da transformada de Fourier.....	116
IV.4.1.1. A transformada e o significado do seu resultado. Espectro bilateral e unilateral.....	116
IV.4.1.2. Resolução frequencial e largura de banda de análise nas DFT's ou FFT's	118
IV.4.1.3. Um exemplo simples	120
IV.4.2. Aliasing	122
IV.4.3. Efeito das janelas temporais – Fuga espectral.....	123
IV.4.4. Análise espectral período a período.....	129
IV.4.5. Um exemplo prático da aplicação da análise espectral.....	130
IV.4.6. Análise espectral e outras técnicas	134
IV.5. Filtragem digital.....	135

IV.5.1. Tipos de filtragem	136
IV.5.2. Tipos de filtros	136
IV.5.2.1. Filtros tipo Butterworth	138
IV.5.2.2. Filtros tipo Chebyshev	139
IV.5.2.3. Filtro tipo Chebyshev II (Chebyshev inverso)	139
IV.5.2.4. Filtro tipo Elíptico	140
IV.5.2.5. Filtros tipo Bessel.....	141
IV.5.3. Simulação da resposta de filtros.....	143
IV.6. Cálculo de energia de um sinal.....	144
V. Sumário e Conclusões.....	145
V.1. Sumário.....	145
V.2. Resultados e conclusões	145
V.2.1. Sensores.....	146
V.2.2. Hardware de condicionamento	147
V.2.3. Software.....	147
V.2.3.1. Aquisição e controlo do hardware de aquisição e externo de condicionamento	148
V.2.3.2. Calibração do sistema de medida.....	148
V.2.3.3. Visualização de sinais.....	148
V.2.3.4. Análise de sinais	149
V.2.3.5. Armazenamento de sinais em ficheiros	150
V.3. Futuros desenvolvimentos	150
VI. Bibliografia	152
VII. Índices de figuras e tabelas	155
VII.1. Índice de figuras.....	155
VII.2. Índice de tabelas	157

I. Introdução e Objectivos

I.1. Enquadramento

A indústria de confecção é uma indústria de processos tradicionalmente artesanais em que tem havido um constante esforço para a incorporação de tecnologias de ponta que permitam melhorar a eficiência, flexibilidade e rapidez de resposta do sistema produtivo bem como a qualidade final dos produtos.

Um dos processos centrais da confecção é a costura, na qual se tem assistido a um constante aumento do grau de automatização dos equipamentos. No entanto, pouca investigação é feita a nível do processo da costura em si, isto é, o conhecimento existente sobre o referido processo advém principalmente da experiência prática acumulada ao longo de décadas pelos confeccionadores e fabricantes de máquinas e acessórios.

Esta experiência prática tem permitido aos fabricantes de máquinas de costura, linhas e agulhas introduzirem nos equipamentos e acessórios constantes melhorias que resultam em equipamentos extremamente rápidos e eficientes, produzindo com alta qualidade.

Mas o fabrico de produtos têxteis confeccionados exige um alto grau de experiência por parte dos afinadores de máquinas e demais responsáveis pela qualidade dos produtos. Os processos de afinação de máquinas e de escolha de agulhas e de linhas são empíricos, existindo pouco conhecimento quantitativo do processo.

Actualmente, e numa perspectiva da indústria de confecção europeia, novas exigências surgem ao confeccionador, que se depara com uma forte concorrência de produtos de baixo preço, provenientes principalmente de países subdesenvolvidos, pelo que é necessário apostar:

- No fabrico de produtos de qualidade acrescida;
- No aumento da eficiência dos sistemas produtivos;
- Na diminuição dos tempos de resposta dos sistemas produtivos, possibilitando uma rápida reacção às tendências do mercado e a produção de encomendas mais variadas e de menores dimensões.

Nesta perspectiva, e tendo em conta a cada vez maior variedade de tecidos a serem costurados, o confeccionador tem todas as vantagens em dispor de equipamentos produtivos que sejam rapidamente reconfiguráveis ou, idealmente, se possam auto-reconfigurar. Também a existência de sistemas de apoio que lhe permitam testar os tecidos a serem confeccionados de modo a determinar a configuração ideal para as máquinas é sem dúvida benéfica.

Do ponto de vista académico, o desenvolvimento de sistemas de medida e ferramentas de análise adequadas permitirá aos investigadores a colecção de informação necessária a um conhecimento mais profundo do processo, conhecimento esse que beneficiará todos aqueles que estão directamente envolvidos com processos de costura, e que poderá também permitir a definição de estratégias de controlo automático.

São diversos os trabalhos que almejam estes objectivos ([1][2][3][4][5][6][7][8][11][12][13][22][25][26][29][31]) sendo de salientar que alguns têm vindo a ser desenvolvidos no Departamento de Engenharia Têxtil da Universidade do Minho, onde existia já um sistema de medida concebido para o efeito.

O projecto que se descreve nesta dissertação pretende melhorar esse sistema, que foi desenvolvido como protótipo por alunos da licenciatura de Engenharia Electrónica Industrial ([9][24]) e que na condição de protótipo não satisfaz as necessidades dos investigadores (ver I.3). A melhoria das características do sistema e a sua transformação num equipamento definitivo foi complementada com a introdução de um conjunto de funcionalidades que permitirão aos utilizadores um trabalho de análise mais prático, rápido e extensivo.

I.2. Máquinas de costura e seus parâmetros de funcionamento

Como breve enquadramento, e tomando como base a máquina sobre a qual o presente trabalho de desenvolvimento se efectuou, far-se-á agora uma pequena incursão ao processo de costura, já que é este o processo que se pretende caracterizar com a ajuda do sistema de medida que se desenvolveu neste trabalho. Os seguintes aspectos serão referidos:

- Tipos de ponto produzidos pelas máquinas, onde se tornará evidente a necessidade da caracterização dos parâmetros **tensões de linha** e também **consumos de linha**;
- Agulhas para máquinas de costura, de onde facilmente se depreenderá a importância da medida da **força sobre a barra da agulha**;
- Sistemas de alimentação de tecido, onde surge a caracterização da **força sobre o calcador** e seu **deslocamento**,

Na figura 1 está representada uma máquina corta-e-cose semelhante à que foi utilizada para este projecto. Este tipo de máquinas tem a particularidade de efectuar uma costura que contorna o bordo do(s) tecido(s) costurado(s), efectuando simultaneamente o seu corte. É utilizada em praticamente todos os ramos da indústria de vestuário e afins, servindo não só para costuras de união, mas também para costuras de acabamento, pois o “ponto de orlar”, que contorna o bordo do tecido, melhora o seu aspecto e protege-o.

Na mesma figura assinalam-se alguns componentes-chave deste tipo de máquina, a que mais adiante se fará referência.

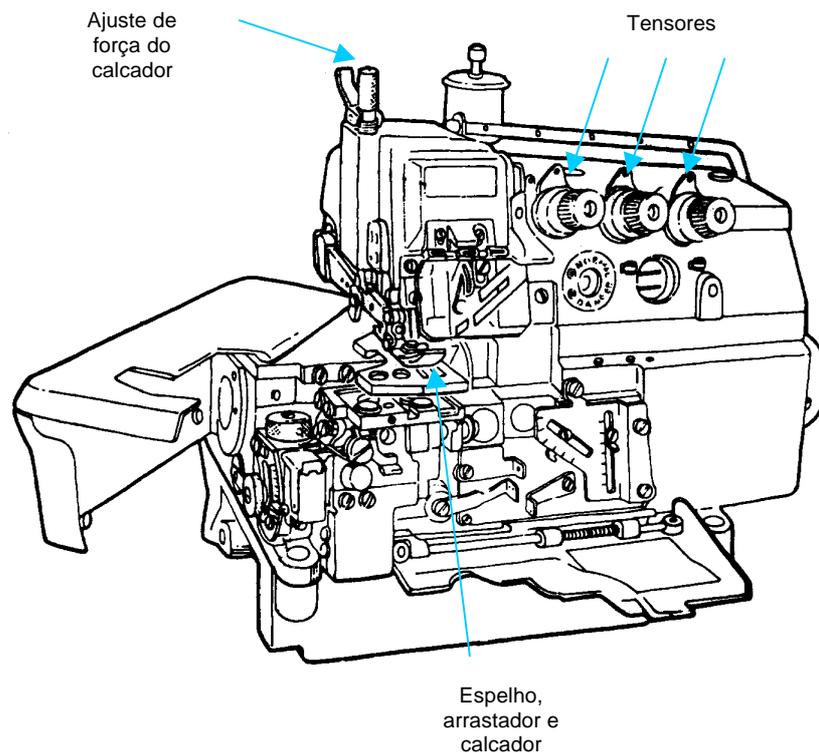


Figura 1: Máquina corta-e-cose

I.2.1. Tipos de pontos. Tensões e consumos de linha

Na costura industrial, encontramos uma grande diversidade de pontos de costura, que se podem subdividir nas seguintes classes:

- **Classe 100** - Pontos de costura de cadeia simples
- **Classe 200** - Originalmente pontos de costura manuais
- **Classe 300** - Pontos de costura presos
- **Classe 400** - Pontos de costura de cadeia múltiplos
- **Classe 500** - Pontos de costura de orlar (ponto cerzido)
- **Classe 600** - Pontos de costura de recobrimento (costura plana)
- **Classe 800** - Pontos de costura combinados

Como já foi referido, a máquina corta-e-cose produz normalmente pontos da classe 500, designados por pontos de orlar ou pontos cerzidos (inglês: overlock ou overedge).

Nas figuras 2 e 3 podem ser observados dois tipos de ponto produzidos pela máquina corta-e-cose numa configuração em que utiliza três linhas, sendo uma levada pela agulha e as duas restantes introduzidas no ponto por *laçadeiras*, constituindo a agulha e as laçadeiras os elementos de formação do ponto.

O ponto 504 (figura 2), mais apropriado para costuras de união, e o ponto 505 (figura 3), normalmente utilizado para costuras de acabamento (“chuleio”), distinguem-se por serem produzidos com diferentes ajustes de tensões de linha.

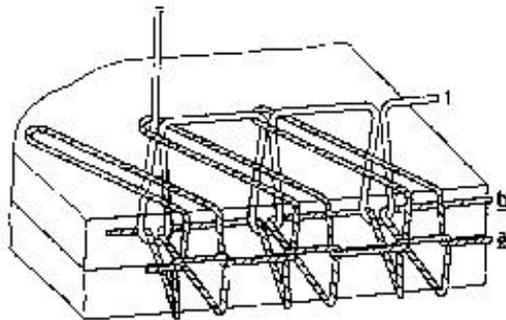


Figura 2: Ponto tipo 504

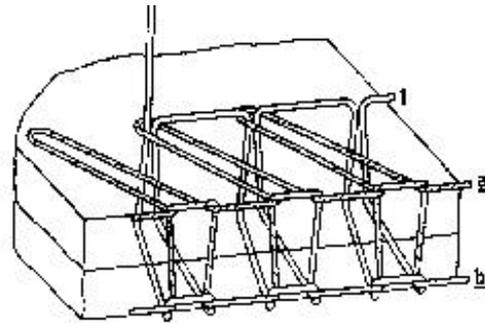


Figura 3: Ponto tipo 505

Porém, não é este o factor que determina a importância de uma medição e estudo das tensões de linha. Mais importante é a correcta proporção relativa das tensões aplicadas às diversas linhas, para que se produza um ponto equilibrado e assim adequado para a sua função.

Outro ponto importante é o valor absoluto de tensões de linha. Por um lado, o ponto não deverá estar demasiado solto, pois não produzirá uma união adequada entre as folhas de tecido a costurar; por outro um aperto excessivo do ponto resulta numa costura inestética e sem elasticidade, o que poderá comprometer a sua fiabilidade. (Embora no vestuário normal estes factores não sejam muito restritivos, em costuras de segurança, como por exemplo na confecção de airbags, pára-quedas ou vestuário de protecção, a situação é mais delicada).

O ajuste das tensões de linha depende grandemente dos materiais a serem costurados, da função da costura e da velocidade de trabalho da máquina, influenciando a estética, segurança e fiabilidade da costura, bem como os consumos de linha ([1][2][3][4][5][6][12][25][29]). Ele é feito tradicionalmente por métodos empíricos, regulando-se a tensão de linha nos *tensores* (ver figura 1).

O projecto que se descreve disponibilizou a medida dinâmica das tensões de linha, estando prevista a inclusão da medida de consumos de linha para uma fase posterior.

I.2.2. Agulhas em máquinas de costura

Embora possam parecer um elemento simples, as agulhas para máquinas de costura são componentes cuja construção, em termos de materiais e geometria, tem vindo a ser alvo de cuidadosos estudos por parte dos fabricantes.

A agulha tem as seguintes funções:

- Produzir um espaço para penetração na estrutura do tecido sem o danificar;
- Levar a linha através do tecido para possibilitar a formação do ponto sem fragilizar a linha.

A produção do espaço para penetração sem danificação do material é uma questão mais complicada do que possa parecer inicialmente. É necessário considerar que as máquinas de costura industriais podem atingir 10 000 pontos por minuto (mesmo a médias velocidades a velocidade linear da agulha é muito elevada), que muitos materiais têxteis são ásperos, produzindo grande fricção, o que leva a agulha a atingir elevadas temperaturas (bastante superiores ao ponto e fusão de diversos materiais sintéticos extensamente utilizados no fabrico de têxteis, como por exemplo o poliéster) e que algumas estruturas têxteis são bastante densas, havendo portanto grande probabilidade de a agulha acertar num fio quando é levada a penetrar o material.

Para resolver este problema, os fabricantes de agulhas têm desenvolvido diversos tipos de secções e pontas de agulha, bem como melhorado os acabamentos do seu material.

É, por isso, importante a avaliação das forças de penetração da agulha nos tecidos. Esta possibilidade pode ser aproveitada

- Pelo fabricante de agulhas para dimensionar a sua agulha;
- Pelo confeccionador para escolher a melhor agulha para o material com que está a trabalhar de momento;
- Pelo fabricante de têxteis de modo a poder encontrar os melhores materiais e acabamentos para os seus tecidos.

O presente projecto tomou como objectivo melhorar eficiência da medida de mais este parâmetro, que foi analisado em estudos anteriores e que se revelou difícil de avaliar.

I.2.3. O sistema de alimentação do tecido

Para além dos elementos de formação de ponto a máquina de costura necessita de um sistema de alimentação do tecido, também conhecido como sistema de transporte ou de arraste. Este sistema vai permitir a movimentação longitudinal do material de forma a dar a dimensão de comprimento à costura.

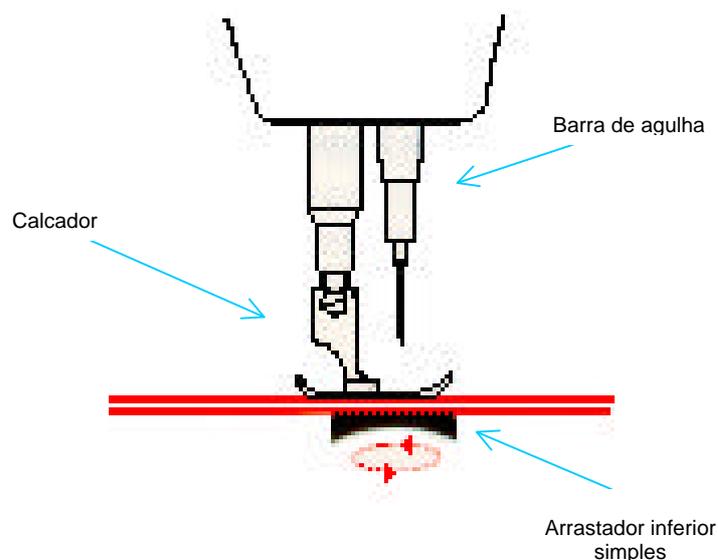


Figura 4: Arraste inferior simples

De uma forma simples, este sistema tem um funcionamento que se representa na figura 4.

Este tipo de sistema de alimentação, denominado de alimentação ou arraste inferior simples, é diferente do que é efectivamente utilizado na máquina utilizada neste projecto, que dispõe de uma alimentação diferencial, adequada para a costura de determinado tipo de materiais (mais frequentemente as

malhas). A alimentação diferencial não é objecto de estudo deste trabalho, tendo sido ajustada de forma a funcionar como a alimentação simples que se apresenta acima.

O sistema de alimentação e o seu ajuste são muito importantes para a obtenção de uma costura de qualidade. O mau ajuste deste sistema, bem como uma má escolha dos componentes intervenientes (calcador e arrastador) podem levar a defeitos, tais como danos sobre o material ou comprimentos de ponto irregulares, situações que numa produção com um nível mínimo de qualidade não são aceitáveis.

Em costura a alta velocidade esta situação é particularmente delicada, pois a interacção entre o calcador e o arrastador provoca efeitos dinâmicos susceptíveis de dificultarem uma alimentação regular, o que se traduz em defeitos e por vezes na total impossibilidade de utilizar a máquina a essa velocidade.

Para melhor estudar este aspecto é, pois, necessário medir de um modo dinâmico a força exercida sobre o calcador e o seu deslocamento. Enquanto que o segundo parâmetro será incluído no sistema em fases posteriores, uma medida dinâmica da força sobre o calcador está já disponível.

I.3. Melhoramento do sistema já existente

Antes do início do trabalho que se apresenta existia já no Departamento de Engenharia Têxtil um equipamento que permitia fazer a medição dinâmica dos parâmetros de costura que se referem no capítulo anterior. O desenvolvimento deste sistema foi levado a cabo por finalistas do curso de Engenharia Electrónica Industrial ([17][24]), e o sistema serviu para o desenvolvimento de alguns trabalhos ([1][3][4]). A figura 5 apresenta a estrutura do referido sistema, estrutura essa que aliás se mantém no projecto actual.

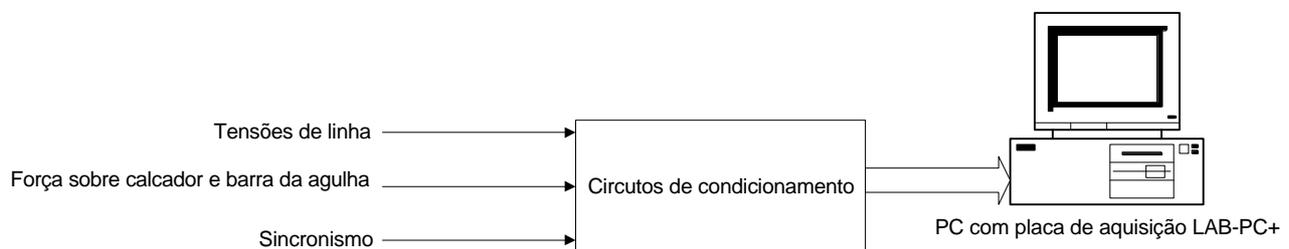


Figura 5: Diagrama do sistema de aquisição de dados

No entanto, diversos aspectos necessitavam de melhorias substanciais, pois

- A electrónica associada ao condicionamento dos sinais limitava-se às funções mais essenciais, tinha performances moderadas e estava montada sobre “breadboards”, o que não lhe permitia ser fiável;
- Os sensores de tensão de linha apresentavam algumas características indesejáveis;

- O software só permitia a aquisição, visualização e armazenamento do sinal, não fornecendo qualquer tipo de ferramentas de análise.



Figura 6: Aspecto geral do sistema de aquisição de sinal antigo (foto)

As melhorias a introduzir no sistema foram analisadas pelo autor no âmbito de uma disciplina do Mestrado em Engenharia Têxtil ([19]), tendo resultado em algumas alterações imediatas ao sistema bem como na definição e execução do projecto presente.

Apresenta-se de seguida uma breve análise do sistema anterior.

I.3.1. Hardware

I.3.1.1. Sensores

Os sensores utilizados no sistema de aquisição existente eram de dois tipos

- Sensores piezoeléctricos para a medição da força sobre calcador e barra de agulha - estes sensores mantêm-se no projecto actual e serão objecto de análise no capítulo II.2.
- Barras de alumínio deformáveis com extensómetros resistivos, colocadas de tal forma a dobrarem sob efeito da linha, medindo assim a sua tensão, tal como é visível nas figuras 7 e 8.

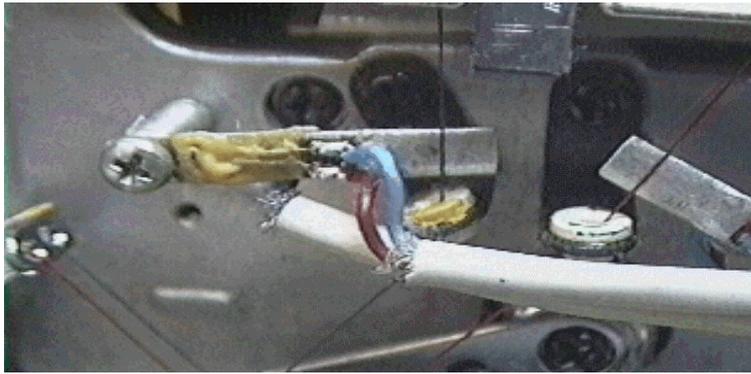


Figura 7: Sensores de tensão de linha de laçadeiras (foto)

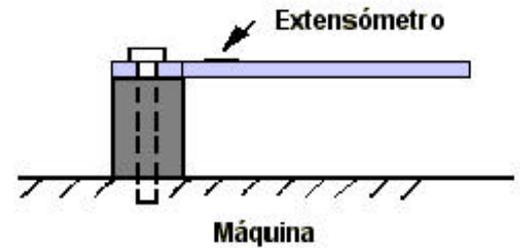


Figura 8: Sensor de tensão de linha

Um dos principais aspectos a melhorar na revisão do hardware deste sistema era exactamente a concepção destes sensores, pois eles apresentavam diversos problemas:

- A base pouco rígida do sensor tendia a receber parte das deformações da barra sem que estas fossem sentidas pelo extensómetro, o que levava a uma redução da sensibilidade;
- O sensor tinha uma reacção significativa à vibração do bloco da máquina;
- O comportamento dinâmico do sensor era pouco satisfatório, o que se traduzia em oscilações e distorção do sinal;
- O sensor adquiria deformações plásticas residuais, que produziam deslocamentos do zero inaceitáveis.

Todos estes factores, analisados em [14] pelo autor, determinaram o estudo de novos sensores para as tensões de linha.

I.3.1.2. Electrónica de condicionamento

Para este sistema, a electrónica de condicionamento divide-se em três partes:

- Condicionamento dos sensores piezoelétricos;
- Condicionamento dos sensores extensiométricos;
- Condicionamento e isolamento eléctrico para o sinal de sincronismo.

Este sinal de sincronismo, ainda não referido, é um sinal proveniente do motor da máquina, e que fornece um impulso por rotação da máquina em determinado instante do ciclo de rotação, servindo assim para iniciar a aquisição de sinais e para o cálculo da velocidade da máquina. A análise da forma e amplitude deste sinal mostrou que era necessário algum condicionamento (através de um comparador) para o transformar num sinal TTL passível de ser ligado à placa de aquisição no PC. A necessidade de isolar o sistema de condicionamento do motor da máquina levou também à procura de soluções para o isolamento.

O hardware de condicionamento existente cumpria a função básica de condicionar e amplificar os sinais provenientes dos sensores e também do sinal de sincronismo.

Porém, impunha-se a sua montagem em placa de circuito impresso por uma questão de fiabilidade, e também a revisão do projecto para acrescentar algumas funcionalidades inexistentes e contemplar, entre outros, os seguintes aspectos:

- A melhoria da resposta em frequência dos condicionadores para os sensores piezoeléctricos;
- A introdução de filtros anti-aliasing nas saídas;
- A introdução de um isolamento entre os circuitos do motor da máquina e dos circuitos de condicionamento (para ligação do sinal de sincronismo);
- A montagem de uma blindagem para isolar os circuitos de ruído eléctrico existente no laboratório (o que implicava o desenvolvimento de placas de circuito impresso).

I.3.2. Software

I.3.2.1. Funcionalidades

O software de aquisição, desenvolvido em C e em ambiente DOS, fornecia somente as funções mais básicas associadas à aquisição de dados:

- Aquisição dos sinais;
- Escalagem de valores de força;
- Visualização simples;
- Armazenamento em ficheiro.

Disponha ainda da possibilidade de fazer o controlo das tensões de linha através da actuação de motores de passo previstos para serem aplicados nos tensores da máquina de costura. Esta possibilidade não chegou a ser implementada.

A realização de ensaios mostrou-se pouco prática com este software, pois era necessário o utilizador pôr a máquina em funcionamento e depois premir uma tecla no computador para iniciar a aquisição, o que na prática obrigava à presença de duas pessoas.

Por outro lado, o problema de iniciar uma aquisição (*disparo* ou *trigger* da aquisição) de modo a consegui-lo sempre no mesmo ponto do ciclo da máquina não estava convenientemente resolvido, havendo alguma imprecisão.

Outro problema era a impossibilidade de se alterar os parâmetros da aquisição: frequência de amostragem, número de pontos a adquirir e outros parâmetros eram fixos.

Houve pois a intenção de desenvolver software para colmatar estas falhas e para acrescentar um conjunto de funcionalidades que não existiam. Estas estavam associadas a uma visualização mais flexível dos sinais (zooms, possibilidade de alterar escalas, etc.) e à análise dos sinais, que se descreve na próxima secção.

I.3.2.2. A introdução de técnicas de análise de sinal

O estudo dos sinais que foram adquiridos com o primeiro sistema mostrou a necessidade de utilizar técnicas de processamento de sinal para a extracção de determinadas características desses mesmos sinais.

A não existência dessas ferramentas implicava que cada sinal teria que ser analisado manualmente, ponto a ponto. Este trabalho, além de desagradável, era também extremamente moroso, limitando a produtividade dos ensaios realizados.

Um dos pontos principais a considerar era a detecção de picos, picos esses procurados pelos investigadores da área têxtil para caracterizar as solicitações máximas à linha e picos de força gerados no contacto da agulha com o tecido.

Foram, pois, criados algoritmos para a detecção e medida automática desses picos. Outras técnicas de análise de sinal foram também introduzidas e estudadas preliminarmente: a análise espectral e a filtragem digital. Estes assuntos serão abordados em secção própria (ver capítulo IV).

I.4. Aplicações práticas do sistema

Na perspectiva do autor, as possibilidades de aplicação deste sistema em termos imediatos são as seguintes:

- Instrumento para a investigação a nível académico: Tendo sido criado para esse efeito, esta é a utilização mais óbvia do equipamento. Com ele, os investigadores da área têxtil poderão estabelecer relações quantitativas entre a configuração da máquina e as características de linhas, agulhas e tecidos, fornecendo o conhecimento necessário para as aplicações que se descrevem de seguida. Outras variáveis do processo podem ser incluídas, tal como a afinação e tipo de sistema de alimentação;
- Banco de testes de “costurabilidade”: Um equipamento que permite ao produtor de tecidos e linhas adaptar os seus processos de produção no intuito de conseguir materiais que não produzam problemas na confecção, que é, afinal, o destino final dos seus produtos;
- Equipamento para preparação de ordens de fabrico na confecção: Estando criado o conhecimento necessário para um planeamento da configuração das máquinas de costura, o confeccionador pode utilizar este equipamento para prever a afinação das máquinas e para escolher agulhas e outros componentes antecipadamente;
- Controlo e monitorização automática das máquinas de costura: Este é o objectivo final da investigação em curso, e descreve-se na seguinte secção.

Há que considerar também a aplicação do sistema a diversos tipos de máquinas, para que a investigação não se restrinja à máquina corta-e-cose.

I.5. A preparação para o controlo automático

Sendo um pouco prematuro falar de um sistema de controlo automático nesta altura, dado que ainda há poucos resultados de medições no sistema, desenham-se mesmo assim várias hipóteses para tal aplicação:

- Se for possível estabelecer regras de ajuste de tensões e, possivelmente, de arraste e pressão do calcador, então pode controlar-se o ajuste das variáveis referidas. Tal sistema poderia não ser suficientemente rápido para ser utilizado numa máquina que efectuasse diversas operações consecutivas em condições de costura diversas (passagem por várias espessuras e materiais, costura em sentido de fileiras e colunas no caso da malha), mas poderia ser utilizado como um posto

de programação off-line, em que os valores de ajuste para os diferentes percursos de uma sequência de operações seriam obtidos rapidamente, permitindo ao confeccionador dispor de um sistema de produção altamente flexível e com uma resposta rápida a novas encomendas.

- Caso não seja possível obter regras de ajuste fixas, a hipótese de controlo que se desenha seria basear o sistema de controlo numa base de dados. Os ajustes óptimos para cada tipo de material seriam registados e utilizados quando de uma nova encomenda. Naturalmente que esta solução é menos apetecível, pois envolve certamente uma grande quantidade de espaço de registo, e implica a experimentação (manual) de novos materiais.
- O equipamento pode ainda ser utilizado como um simples sistema de monitorização, que é capaz de detectar situações indesejadas e evitar a produção de defeitos.

Os algoritmos de controlo a utilizar terão que ser definidos com base nos resultados das experiências que serão realizadas. Mas existe a impressão geral de que o processo da costura é um processo pouco linear e determinístico, pelo que se pode desde já sugerir uma abordagem com base em lógica difusa e/ou redes neuronais.

Em qualquer um dos casos apresentados, o desenvolvimento de hardware e software específico é indispensável. A implementação do sistema em PC apresenta-se neste momento como a solução óbvia, pois fornece ao utilizador um equipamento integrado em que lhe são disponibilizadas todas as ferramentas de que necessita para caracterizar este processo complexo que é a costura.

II. Hardware

O hardware de condicionamento que se apresenta foi desenvolvido por um aluno finalista do curso de Eng^a Electrónica Industrial, tendo sido tema de estágio curricular. Esse desenvolvimento foi co-orientado pelo autor deste documento, que participou principalmente nas especificações e estruturação do sistema.

Neste capítulo pretende-se fazer uma descrição geral do sistema de hardware. Essa descrição é suficiente para o entendimento geral da utilização, funcionamento e características do hardware. Questões de detalhe podem ser consultadas em [27].

Nos anexos a este documento estão incluídos esquemas eléctricos completos para cada placa.

II.1. O sensor para as tensões de linha

II.1.1. Tipo de sensor utilizado

O sensor utilizado para a medição das tensões de linha baseia-se numa barra metálica fixada no corpo da máquina e colocada no caminho da linha de forma a que a linha exerça força sobre a ponta da barra e produza nesta pequenas deformações (ver figuras 7 e 8).

Estas deformações são medidas por extensómetros colocados na base do sensor. O ângulo introduzido no caminho da linha pelo sensor deverá ser no máximo de 30° para não influenciar significativamente o processo de costura.

A figura 9 mostra a configuração mecânica dos sensores utilizados anteriormente a este projecto:

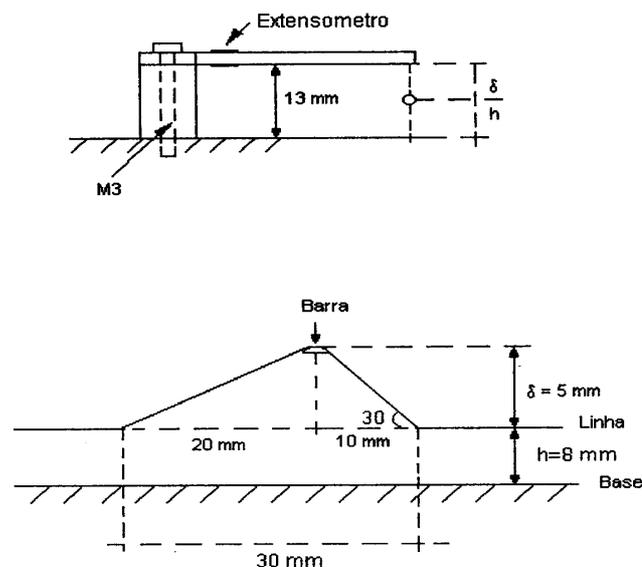


Figura 9: Configuração mecânica dos sensores antigos

Estudos anteriores a este trabalho ([14]) mostraram que a construção destes sensores apresentava os seguintes problemas:

- Vibrações do bloco da máquina transmitiam-se ao sensor, o que originava uma soma de ruído "mecânico" ao sinal de tensão de linha;
- O comportamento dinâmico era pouco eficiente, o que provocava oscilações e distorções de variações rápidas de tensão;
- A utilização de extensómetros resistivos limitava a sensibilidade;
- A barra apresentava um comportamento plástico e adquiria flexões residuais, o que resultava numa instabilidade do zero do sensor e não-linearidades na resposta.

Na tentativa de melhorar a construção dos sensores, foram feitos estudos quanto à sua configuração mecânica, material e tipo de transdutor a utilizar. O sensor deveria ter as seguintes características:

- A deformação do material do sensor deveria ter uma relação linear com a força aplicada, sem deformações plásticas residuais;
- A sua frequência de ressonância deveria ser alta, para evitar a vibração do sensor com a máquina e para garantir uma boa resposta em frequência;
- O sensor deveria ser suficientemente sensível para evitar ganhos altos na amplificação e assim obter uma boa relação sinal/ruído.

Os estudos efectuados mostraram que um compromisso entre a sensibilidade do sensor e o seu comportamento dinâmico (alta frequência natural) só era possível através da utilização de extensómetros semicondutores, que apresentam uma sensibilidade maior de pelo menos uma ordem de grandeza que extensómetros resistivos.

A aplicação de extensómetros deste tipo no sensor exige um processo especial, não sendo possível efectuar-la no laboratório em que este projecto foi desenvolvido. Este facto levou à procura de sensores disponíveis comercialmente. Devido à particularidade desta aplicação não foram encontrados no mercado sensores que cumprissem as características pretendidas.

No entanto, foi conseguido um contacto com a empresa checa "Petr Skop", que possui alguma experiência no fabrico deste tipo de sensores e se prontificou a desenvolver dois sensores, dos quais um se baseava em extensómetros semicondutores, outro em extensómetros resistivos.

Naturalmente que para uma sensibilidade semelhante, o sensor que utiliza extensómetros resistivos tem que ser mais fino e comprido, o que não lhe permite ter uma frequência de ressonância muito alta. O fabricante especificou as frequências de ressonância como sendo cerca de 12 KHz num caso, 2.35 KHz no outro.

Após recepção de ambos os sensores, os testes confirmaram o pior comportamento dinâmico do sensor com a frequência de ressonância mais baixa, que entrava em pequenas oscilações e acabava também por sentir a vibração do bloco da máquina.

Foi então decidido optar-se pela utilização do modelo baseado em extensómetros semicondutores, que não apresentava este tipo de comportamento. A única

desvantagem verificada foi alguma sensibilidade a ruído electromagnético (provocado por um conversor de potência existente no laboratório) e também alguma sensibilidade à aproximação de objectos. Este problema é resolvido pela protecção do sensor através de uma chapa metálica.

II.1.2. Configuração mecânica

A seguinte figura mostra a construção dos sensores de tensão de linha PETR SKOP (embora não esteja disponível um desenho exacto do sensor, a figura mostra os pormenores mais importantes):

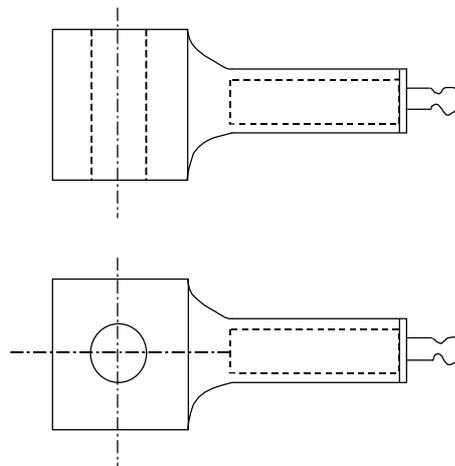


Figura 10: Sensor de tensão de linha de PETR SKOP

- A base reforçada permite transferir as deformações da barra para a zona de colocação dos extensómetros;
- A concavidade no interior da barra permite aumentar a frequência natural do sensor por redução da sua densidade volumétrica efectiva sem alterar as características dimensionais da barra (esta concavidade foi introduzida no segundo modelo de sensor com extensómetros semicondutores que foi desenvolvido pela PETR SKOP);
- A ponta em safira constitui um excelente guia de linha e isola a barra termicamente da fricção provocada pela linha.

A montagem dos sensores na máquina pode ser feita directamente sobre o seu corpo, mas optou-se pela construção de um apoio através do qual é possível controlar a posição e altura do sensor. As dimensões desse apoio são diferentes para cada sensor, dependendo do espaço disponível no local de aplicação do mesmo. A concepção de um apoio para o sensor é a seguinte:

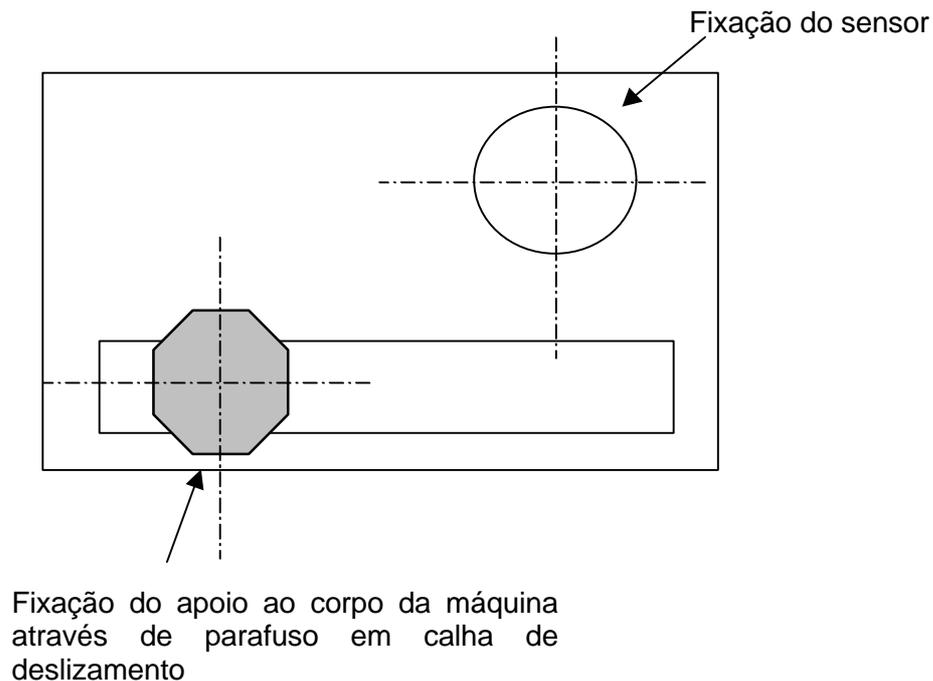


Figura 11: Apoio para sensor

A calha de deslizamento permite alterar a posição do sensor sem ser necessário proceder a nova furação do corpo da máquina. A introdução de anilhas permite variar a altura do sensor de modo a influenciar o ângulo de abraçamento da linha. É necessário aqui utilizar anilhas num material de alto módulo de Hooke para evitar que as deformações provocadas pela linha se verifiquem nas anilhas em vez de se verificarem na barra do sensor.

As dimensões exactas de cada um destes apoios deverá ser determinada caso a caso. A figura mostra somente a concepção do apoio.

II.1.3. Condicionamento

Os sensores fornecidos utilizam uma ponte de Wheatstone completa com uma resistência de entrada de 860 Ω .

O seu condicionamento deverá, pois utilizar um amplificador diferencial à entrada.

II.1.4. Caracterização

As características completas de cada um dos sensores encontram-se anexadas no apêndice B.

II.2. O sensor para a força do calcador e de penetração da agulha

II.2.1. Tipo de sensor utilizado

Os sensores utilizados para a medição destes parâmetros são sensores do tipo piezoeléctrico, do fabricante KISTLER, em forma de anel.

Estes sensores estavam já montados na máquina de costura quando se iniciou este projecto. As suas características de precisão e dinâmicas apresentadas na folha de características não mereceram reparos, pelo que a sua utilização foi continuada.

A grande desvantagem deste tipo de sensores é a sua incapacidade de medir forças estáticas. O efeito piezoelétrico consiste na emissão de carga eléctrica por parte do cristal piezoelétrico quando é variada a força aplicada sobre ele. Se a força for estática, a emissão de carga não se processa, pelo que a força não é medida. Este aspecto será ainda analisado com maior pormenor em II.2.3.

Não sendo a medição de forças estáticas necessária para a força exercida sobre a barra de agulha, que é inerentemente uma força dinâmica, no caso da força sobre o calcador esta abordagem impõe algumas limitações. De facto, a força estática pré-ajustada sobre o calcador não é mensurável, o que implica que só variações sobre esse valor são obtidas. Caso as variações apresentem um valor médio não-nulo, este será também perdido na medição.

Futuros projectos deverão ter em conta a medição da força estática sobre o calcador, pois este é um parâmetro de configuração importante de uma máquina de costura.

II.2.2. Configuração mecânica

A aplicação dos sensores piezoelétricos na máquina de costura foi efectuada pela Sra. Doutora Ana Maria Rocha no decurso da sua tese de doutoramento e está documentada em detalhe em [9], [11] e [24].

II.2.2.1. Sensor para força sobre barra de agulha

O sensor utilizado para medir a força sobre a barra de agulha foi colocado directamente na barra. Para tal, a barra foi dividida em duas partes, e o sensor foi colocado entre essas duas partes.

As formas de onda obtidas para o sinal de força sobre a barra de agulha têm uma evolução que cumpre aquilo que se esperava. A força sobre a barra de agulha é em princípio, um sinal sinusoidal (aceleração da barra no seu movimento oscilatório linear) que apresenta algumas descontinuidades provocadas pelo contacto da agulha com o tecido.

No entanto, a análise de um sinal obtido com a máquina a funcionar sem tecido mostra algumas descontinuidades não esperadas. Estas têm origem numa das duas seguintes razões:

- Imperfeições mecânicas normais do mecanismo de movimentação da barra de agulha;
- A influência da presença do sensor no movimento do mecanismo.

As descontinuidades, que podem ser observadas na próxima figura, são pouco significativas. Uma afinação cuidada da máquina por parte de um técnico mecânico poderá reduzir ainda mais a sua importância.

É de notar que a imperfeição da forma de onda nos pontos de inversão do crescimento da força (pontos extremos do movimento de translação) é perfeitamente normal num mecanismo.

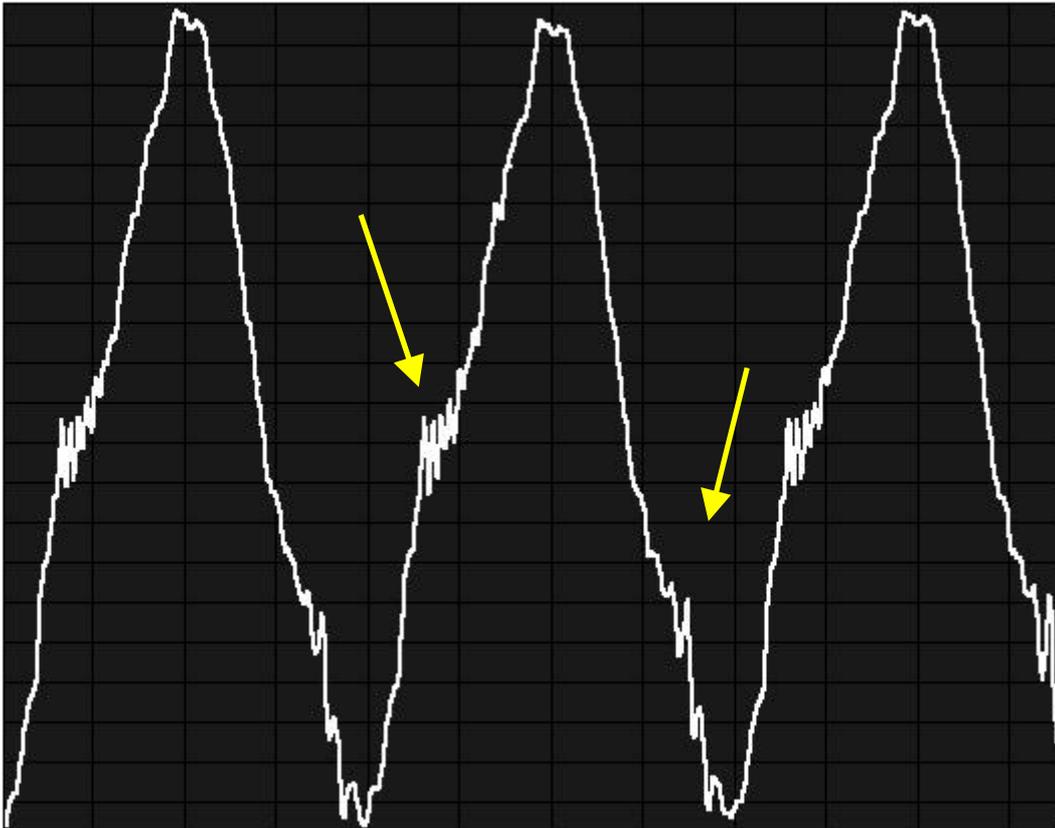


Figura 12: Imperfeições no movimento da barra de agulha

No que diz respeito à configuração mecânica da medição da força sobre a barra de agulha, é ainda necessário referir o aspecto do comportamento dinâmico da barra e do conjunto barra - sensor - agulha.

É conhecido o facto que o módulo de Hooke dum material é dependente da frequência de aplicação da força, isto é, um material pode ter um comportamento dinâmico diferente do seu comportamento estático.

Observou-se uma diminuição gradual dos picos provocados no sinal pela penetração da agulha no tecido com o aumento da velocidade.

Esta diminuição não é, em princípio, um resultado que se esperava, podendo ter as seguintes origens:

- Resposta dinâmica diminuída do sensor a variações rápidas;
- Comportamento dinâmico do conjunto barra-sensor-agulha;
- Resposta em frequência do sistema de condicionamento de sinal.

Este último aspecto foi objecto de uma análise particularmente cuidada (ver [27]), tendo-se verificado que o aumento da largura de banda do circuito de condicionamento não altera o facto de haver uma diminuição da eficiência de medida.

Para uma medição mais eficiente a altas velocidades (>3000 rpm), é aconselhável um estudo aprofundado destes aspectos no futuro.

II.2.2.2. Sensor para força sobre calcador

Quanto à aplicação do sensor destinado à medição da força sobre o calcador, poderá ser aconselhável uma revisão da abordagem efectuada.

A medição de forças estáticas, importante para a caracterização deste parâmetro de funcionamento da máquina de costura, não é possível com o sensor piezoeléctrico. Os resultados obtidos com esta configuração poderão ser úteis para a determinação de situações de arraste irregular, reconhecíveis a partir de variações grandes de força sobre o calcador no ciclo de costura. Será, no entanto, difícil de relacionar este fenómeno com o pré-ajuste de força do calcador, já que não é possível medi-lo.

O sensor está montado na barra de calcador de modo a ser-lhe aplicada a força da mola de pressão do calcador. As formas de onda obtidas mostram resultados esperados, mas têm uma variação significativa na sua forma dependendo do posicionamento relativo entre a mola e o sensor. Em determinadas situações surgem picos provocados provavelmente pela oscilação da própria mola. Embora estes picos alterem a forma de onda, em termos de amplitude o sinal mantém-se igual, pelo que os resultados poderão ser aproveitados se se tiver em conta que alguns dos efeitos observados podem ser provocados por factores estranhos ao processo de arraste do tecido.

II.2.3. Condicionamento

Os sensores piezoeléctricos devem ser condicionados à entrada do circuito de amplificação por circuitos especiais, denominados de *amplificadores de carga*. Este tipo de amplificador converte carga eléctrica em tensão eléctrica por um processo de integração da emissão de carga eléctrica do sensor.

A resposta em frequência deste circuito é um aspecto fundamental para a medição dinâmica e estática. O conjunto sensor piezoeléctrico-amplificador de carga tem por natureza uma resposta em frequência do tipo passa-banda. Como qualquer amplificador, têm um limite de frequência superior a partir do qual a resposta diminui. Mas caracteriza-se também por não conseguir, na prática, manter uma saída estável (o valor da saída decai), isto é, apresentam uma frequência de corte inferior não-nula.

O dimensionamento da frequência de corte superior está relacionado com a capacidade do circuito reagir a variações rápidas do sinal de entrada, tendo sido maximizada de modo a garantir uma resposta adequada para além da frequência de corte dos filtros anti-aliasing (cerca de 4 KHz).

A frequência de corte inferior determina a frequência mínima à qual o circuito reage com uma determinada atenuação (3 dB), que se relaciona com a rapidez de decaimento do valor de tensão à saída. Se a frequência inferior for demasiado alta, não será possível medir variações lentas do sinal do sensor (costura a baixas velocidades). Em todo o caso só é possível medir variações de força, e se a força aplicada tiver uma média não-nula, essa média será filtrada.

Em amplificadores de carga, o sinal de saída tende a decair com o tempo se o sensor não debitar carga (portanto se não lhe estiver a ser aplicada uma força variável). Este decaimento corresponde à descarga de um condensador utilizado na malha de realimentação do amplificador.

O dimensionamento adequado dos componentes do amplificador de carga pode levar a ter tempos de decaimento a 90% do valor inicial na ordem de minutos. Com tempos tão elevados, é possível medir uma força estática (*medição quase-estática*): Se o sensor estiver sem força aplicada, e lhe for aplicada a força estática a medir, o amplificador apresentará na sua saída o valor de medida dessa força, que pode ser lido durante os segundos a seguir à aplicação da força sem erro significativo. A descarga do condensador tem uma lei bem definida, pelo que é possível determinar a exactidão da medida em função do tempo decorrido entre a aplicação da força e a leitura do valor de saída.

Apesar de ter sido feita a tentativa de utilizar esta abordagem, na prática não foi possível a aplicação de força nula ao sensor, que está constantemente sob pressão da mola. Para conseguir uma medição quase-estática do pré-ajuste de força seria necessário desenvolver um equipamento que fizesse a aplicação da força do modo mais estabilizado possível. A aplicação da força por aperto manual do parafuso de ajuste de força do calcador faz o sinal oscilar, não levando a bons resultados.

Assim sendo, optou-se por dimensionar uma frequência inferior de corte tal que fosse possível medir sinais a uma velocidade mínima de cerca de 750 rpm sem distorção significativa. A futura disponibilidade de uma resistência especial de alto valor óhmico permitirá estudar este aspecto com maior rigor.

É no entanto importante compreender que esta configuração, devido a ter um comportamento do tipo passa-alto, tem como consequência a incapacidade do circuito de fornecer um sinal com um nível médio não-nulo. O comportamento passa-alto provoca a eliminação da média do sinal. Mesmo que o sinal de força contenha uma média (caso do sinal do calcador, que assume valores sempre maiores ou iguais a zero), **esta média é eliminada**. O sinal varia sempre em torno de um nível médio nulo (a menos do offset do amplificador). Por isso o sinal e os valores de força fornecidos deverão ser interpretados não em termos absolutos, mas em termos de variação pico-a-pico. Este aspecto será detalhado em II.5.7.

Informação detalhada sobre o condicionamento de sinal em sensores piezoeléctricos pode ser consultada em [18], [21] e [23].

II.2.4. Caracterização

Nos anexos a este documento incluem-se as folhas de características do sensor utilizado.

II.3. Estrutura do hardware

II.3.1. Objectivos

A especificação da estrutura do hardware seguiu os seguintes objectivos:

- O desenvolvimento de placas para condicionamento de sinal de sensores piezoeléctricos e extensiométricos, bem como uma interface ao sinal de sincronismo proveniente da máquina;
- A concepção de um sistema modular, facilmente expansível;
- A concepção de um sistema tão simples quanto possível.

Em relação ao hardware anteriormente existente, pretendiam melhorar-se os seguintes aspectos:

- Aumento da resposta em frequência dos condicionadores para os sensores piezoelétricos, de modo a ser possível efectuar medidas à mais alta velocidade de costura possível;
- Introdução de filtros anti-aliasing nas saídas;
- Introdução de um isolamento entre os circuitos do motor da máquina e dos circuitos de condicionamento (para aquisição do sinal do sincronismo);
- Melhoria da montagem física dos circuitos, que se encontravam montados provisoriamente em *Breadboard*, através do desenvolvimento de placas em circuito impresso e da utilização de uma caixa que funcionasse como uma blindagem para isolar os circuitos de ruído eléctrico existente no laboratório;
- Introdução de ganho programável por software para todos os condicionadores de sinal analógicos, de modo a poder adaptar-se facilmente a amplificação a diferentes velocidades de costura e valores de pré-ajuste de tensão de linha e força sobre o calcador;
- Introdução de dispositivos para facilitar a calibração dos sensores, principalmente no caso específico dos sensores piezoelétricos.

Foi com base nesta definição de objectivos que foi feita a especificação da estrutura do sistema e das funcionalidades de cada placa, que se passa a descrever de seguida.

II.3.2. Descrição geral

II.3.2.1. Placas

O hardware a desenvolver devia proporcionar os seguintes componentes, com a funcionalidade anteriormente descrita:

- 4 canais de condicionamento para sensores do tipo extensiométrico;
- 2 canais para o condicionamento de sensores do tipo piezoelétrico;
- 1 circuito de isolamento eléctrico e condicionamento a nível TTL para o sinal de sincronismo proveniente do motor.

Optou-se por desenvolver duas placas, uma contendo 4 canais de condicionamento de sensores extensiométricos, outra para dois sensores piezoelétricos e o sinal de sincronismo. Estas duas placas passam a denominar-se de placa *tipo extensómetros* e placa *tipo piezoelétricos*, ou *sistema extensiométrico* e *sistema piezoelétrico*, respectivamente.

O objectivo de incluir o sinal de sincronismo na placa tipo piezoelétricos consistiu na necessidade de minimizar o número de placas. Esta opção acabou por provocar alguns problemas de *crosstalk* entre o circuito digital do sinal de sincronismo e os

canais analógicos, que foram reduzidos a nível pouco significativo através da blindagem das ligações no conector de entrada do sinal de sincronismo.

II.3.2.2. Definição do barramento – Ligação de placas externas à placa de aquisição

Para fazer a ligação das diversas placas à placa de aquisição no PC era necessário desenvolver um barramento ou utilizar um barramento standard.

Diversas opções foram tomadas em consideração, incluindo o barramento SCXI da National Instruments, que apresentava a vantagem da existência de uma especificação e protocolos definidos, bem como a possibilidade de ligar produtos disponíveis comercialmente com as placas a desenvolver. O alto preço dos chassis e suportes de placa SCXI tornou essa solução pouco interessante.

A solução adoptada baseia-se na construção de um barramento baseado no próprio conector da placa LAB-PC+, da qual se aproveitam neste momento as seguintes ligações:

- A ligação aos 8 canais analógicos de entrada da placa (com massa, portanto numa configuração *referenced single-ended*);
- As portas digitais de escrita/leitura para endereçamento de placas externas e para escrita e leitura de dados nas placas.
- A entrada de *trigger* externo da placa de aquisição, à qual é ligado o sinal de sincronismo para que as aquisições se iniciem sempre no mesmo ponto do ciclo de costura.

A ligação às portas digitais é comum a todas as placas, isto é, todas elas poderão estar a elas ligadas, tendo sido definido um mecanismo de endereçamento de placas de modo a permitir operações de leitura e escrita de dados.

A ligação às entradas analógicas e aos diversos sinais de controlo deve ser feita de tal modo que não haja sobreposições.

Estes aspectos são abordados nos próximos capítulos.

A estrutura do sistema completo pode ser visto na próxima figura:

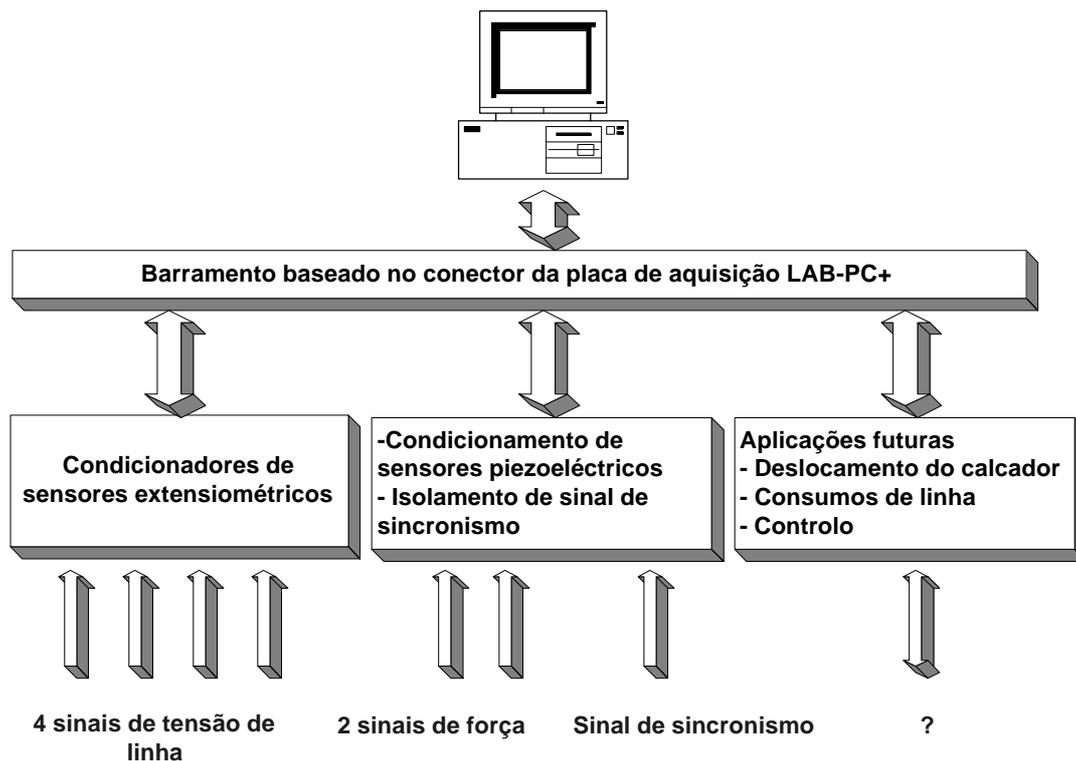


Figura 13: Estrutura do hardware

II.3.3. Interface digital no barramento - endereçamento e comunicação com placas externas

As portas digitais são utilizadas numa configuração de 3 portas de 8 bits, em que:

- a porta 0 é utilizada para endereçamento de placas e endereçamento de funções da placa;
- a porta 1 é utilizada para a escrita de dados na placa externa;
- a porta 2 é utilizada para a leitura de dados da placa externa (uma função que não é utilizada em nenhuma das placas desenvolvidas até ao momento, mas que poderá ter aplicação no futuro)

Todas as placas estão ligadas em paralelo ao barramento, tendo acesso aos dados que são escritos nas portas. Uma placa só reconhece os dados como sendo destinados a si se na palavra de endereço aparecer o seu endereço.

As palavras de endereço escritos na porta 0 (porta endereço/função) têm o seguinte formato:

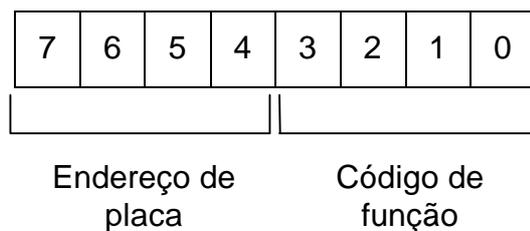


Figura 14: Formato de palavra de endereço/função

Em cada placa existe uma PAL ligada à porta de endereços/função que compara o endereço de placa escrito na porta com um endereço fixado na placa por *jumper* ou *DIP-Switch*. Caso eles coincidam, a palavra de dados existente na porta 1 (porta de dados) é lida. O encaminhamento dos dados é também controlado pela PAL, e depende do código de função e do tipo de placa. As seguintes tabelas mostram os códigos de função existentes:

Códigos de função para placa do tipo extensómetros		
Código	Significado	Conteúdo da palavra de dados
0	Programação de ganho canal 0	Ganho (0 a 255)
1	Programação de ganho canal 1	Ganho (0 a 255)
2	Programação de ganho canal 2	Ganho (0 a 255)
3	Programação de ganho canal 3	Ganho (0 a 255)
4	Programação de multiplexers analógicos	Estado dos multiplexers analógicos

Tabela 1: Códigos de função para placa tipo extensómetros

Códigos de função para placa do tipo piezoeléctricos		
Código	Significado	Conteúdo da palavra de dados
0	Programação de ganho canal 0	Ganho (0 a 255)
1	Programação de ganho canal 1	Ganho (0 a 255)
2	Programação de multiplexers analógicos	Estado dos multiplexers analógicos

Tabela 2: Códigos de função para placa tipo piezoeléctricos

O endereço de placa 0 é reservado para finalizar uma operação de leitura/escrita. Nenhuma das placas utiliza este endereço, pelo que uma operação de leitura/escrita acaba quando é colocado nos 4 bits de endereço o valor 0. É pois possível endereçar 15 placas externas neste barramento.

No caso específico do hardware desenvolvido até ao momento, existem somente operações de escrita, isto é, transferência de valores da placa de aquisição para as

placas de condicionamento. Genericamente, o protocolo de comunicações segue os seguintes passos:

- É colocada a palavra de dados na porta de dados (porta 1);
- É colocada a palavra de endereço/função na porta de endereços (porta 0);
- Depois de um intervalo de tempo para a leitura correcta dos dados por parte da placa, é colocado nos 4 bits de endereço de placa o valor 0. O código de função deve manter-se nesta altura para evitar que o atraso de reacção ao valor nulo de endereço não cause uma má interpretação dos dados contidos na porta de dados¹.

O *timing* associado a estas operações é variável, dependendo dos circuitos utilizados nas placas externas. No software que se desenvolveu, foram utilizados intervalos grandes (10 milissegundos) entre cada duas operações de escrita. Em aplicações mais críticas, estes tempos podem ser bastante reduzidos. Para informação mais detalhada, consultar [27].

II.3.4. Interface às entradas analógicas e de controlo da placa de aquisição

Dado que todas as placas ligam ao mesmo barramento, é necessário garantir que não há sobreposição de ligações neste tipo de sinais.

Para evitar essa situação, cada placa deverá ter a possibilidade de configurar a ligação dos seus sinais de saída ao barramento, por exemplo por *jumpers*.

O utilizador pode assim escolher a que entradas da placa de aquisição devem ser ligadas as saídas para cada sinal individual, configurando o sistema de modo a não haver sobreposições.

As placas desenvolvidas no decurso deste trabalho permitem ligar qualquer um dos sinais de saída a qualquer uma das entradas analógicas da placa de aquisição. No caso da placa tipo piezoeléctricos, que fornece ainda o sinal de sincronismo, existe uma ligação adicional à entrada de controlo EXTTRIG (*trigger* externo), à qual o utilizador poderá ou não ligar o sinal de sincronismo.

Quanto a este sinal, e sendo ele fundamental no âmbito da aplicação presente, dado que é através dele que é feito o cálculo da velocidade de costura média durante as aquisições, convencionou-se que ele fosse ligado ao canal 0 (o software assume a sua existência nesse canal). Esta escolha faz todo o sentido, pois a placa LAB-PC+ efectua uma amostragem sequencial dos canais, pelo que o sinal de sincronismo é sempre adquirido, independentemente da configuração da placa.

II.3.5. Possibilidades de expansão

A definição da estrutura do hardware permite ligar outras placas ao barramento definido pelo conector da placa de aquisição LAB-PC+, se forem cumpridas as seguintes condições:

¹ A manutenção dos 4 bits respectivos ao código de função é importante. Nas primeiras versões do software era colocado um 0 em todos os 8 bits da palavra de endereço, tendo-se verificado que o valor de ganho colocado na palavra de dados passava sempre para o canal 0, pois o atraso de desactivação do sinal de leitura proveniente da PAL é suficiente para que o MDAC lesse o valor e o aplicasse ao canal 0.

- Deve existir compatibilidade eléctrica entre as portas digitais da placa de aquisição e a interface das placas;
- O somatório de correntes absorvidas pelas entradas digitais das placas externas não deve exceder os valores máximos de corrente de saída dos circuitos de interface digital da placa de aquisição;
- A cada placa deve ser atribuído um endereço próprio, diferente dos endereços das restantes e também diferente de 0;
- Não deve haver sobreposição nas ligações analógicas e de sinais de controlo.

A ligação do sinal de sincronismo ao canal 0 é obrigatória para o funcionamento com o software de aquisição que foi criado para esta aplicação. Noutros casos todos os 8 canais analógicos da placa podem ser aproveitados da maneira mais conveniente.

Um aumento do número de canais analógicos pode ser conseguido através de acrescento de uma placa de aquisição ao PC, que assim pode suportar outro sistema de condicionamento externo como o que se apresenta. O software deverá, então, poder endereçar mais de uma placa de aquisição. Não sendo de imediato previsível esta necessidade, o software desenvolvido utiliza somente uma placa de aquisição.

A pretensão de medir consumos de linha automaticamente deixa antever a necessidade de se desenvolver dispositivos que transfiram valores de contagem para o PC. Para a leitura de dados provenientes de placa externa é necessário definir um protocolo apropriado. Em princípio, define-se a porta 2 como porta utilizada em transferências desse tipo, mas ambas poderão ser utilizadas caso necessário ou caso seja considerado adequado no decurso do desenvolvimento dos novos dispositivos.

II.4. A placa tipo extensómetros

II.4.1. Diagrama de blocos

O seguinte diagrama de blocos mostra a estrutura funcional das placas tipo extensómetros:

Figura 15: Diagrama de blocos da placa tipo extensómetros

Nesta figura é visível que a placa possui uma parte analógica, representada na parte inferior do diagrama, e uma parte digital.

Nos circuitos analógicos é feito o condicionamento e amplificação dos sinais provenientes dos sensores.

A parte digital controla o ganho em cada canal e o estado dos multiplexers analógicos que determinam, para cada canal, se o passa-alto está activo ou se está em *shunt*.

A PAL, que recebe as palavras de endereço/função e de dados, activa a leitura dos dados por parte do latch ou do MDAC. Caso a operação de leitura do barramento digital indique uma função de programação do estado dos multiplexers, é activada a leitura dos dados por parte do latch. Este contém na sua saída a todo o momento o estado dos canais dos multiplexers que são utilizados. Caso a operação seja de programação de ganho num canal, é permitido ao MDAC a leitura da palavra de dados, que nessa situação representa um valor de ganho.

Os seguintes capítulos apresentam sucintamente os blocos que formam a cadeia de tratamento analógico de sinal.

II.4.2. Entrada

O condicionamento de uma ponte de Wheatstone é feito normalmente por amplificadores diferenciais, também chamados amplificadores de instrumentação.

Apesar de ser possível montar um amplificador diferencial com componentes discretos e amplificadores operacionais, optou-se pela utilização de amplificadores integrados, desenhados especificamente para o condicionamento de pontes de Wheatstone (Burr-Brown INA103BG). Conseguiu-se assim uma boa resposta em frequência, estabilidade e precisão, além de uma redução de espaço na placa de circuito impresso, características difíceis de obter com a opção por componentes discretos.

II.4.3. Controlo de ganho por software

Para se efectuar o controlo de ganho por software utiliza-se um MDAC (*Multiplying Digital to Analog Converter*) na cadeia de amplificação.

Este tipo de componente permite multiplicar uma tensão de entrada por um valor proporcional à palavra digital que é “convertida”.

No caso concreto do MAXIM MAX505, que é um conversor de 8 bits com 4 canais analógicos, a tensão de entrada é multiplicada por um valor entre 0 e 255/256, podendo ser ajustado com uma resolução de 1/256.

O ajuste de ganho deve ser feito de modo a ajustar a escala de medida ao sinal que se pretende visualizar. Um ganho demasiado alto levará o sinal a ultrapassar a gama de valores que a placa de aquisição converte (-5 a 5V), enquanto que um ganho demasiado baixo provoca erros de medida. A melhor forma de fazer este ajuste é através do painel de osciloscópio (ver III.8).

II.4.4. Ajuste manual de ganho e offset através de potenciómetros

A placa dispõe, para cada canal, de um potenciómetro de ajuste de ganho e outro de *offset* (nível zero do sinal).

Qualquer alteração nestes ajustes obriga à obtenção de novos factores de calibração através do painel de calibração, devendo por isso ser evitada.

A regulação de ganho no potenciómetro é, em princípio, um ajuste que é feito uma só vez, durante a instalação da placa. Este ajuste deve ser feito de modo a “centrar” o ganho, isto é, de modo a que seja suficiente a variação de ganho proporcionada pelo MDAC para cobrir todas as escalas que se esperam utilizar.

O ajuste de zero é previsivelmente uma operação mais frequente. No entanto, este ajuste só obriga à recalibração do zero, um procedimento que se realiza rapidamente e sem problemas no painel de calibração (ver III.9).

II.4.5. Filtros passa-alto

Os filtros passa-alto introduzidos neste circuito destinam-se à eliminação da componente contínua do sinal, o que se torna necessário em operações de calibração para a medição do valor de offset ajustado pelo utilizador.

O software desenvolvido neste projecto não utiliza os filtros passa-alto em aquisição, mas futuras aplicações poderão fazer uso deles.

Os filtros passa-alto utilizados são simples malhas C-R, estando colocados imediatamente antes da soma de offset.

As entrada e saída do circuito C-R estão ligadas a um multiplexer analógico. Se o canal respectivo do multiplexer estiver em condução, então o filtro passa-alto deixa de existir no circuito, pois está curto-circuitado através do multiplexer.

A ligação dos filtros passa-alto exige um tempo de estabilização mínimo de 5 segundos. Para uma maior precisão, aconselha-se a utilização de 10 segundos de estabilização. Não é necessária qualquer estabilização quando são retirados os filtros.

II.4.6. Formatos para a comutação dos filtros passa-alto

A comunicação entre a placa de aquisição e a placa tipo extensómetros processa-se nos moldes definidos em II.3.3.

A programação do estado dos filtros passa-alto é feita utilizando o código de função 4 na palavra de endereço/função, com uma palavra de dados que segue o seguinte formato:

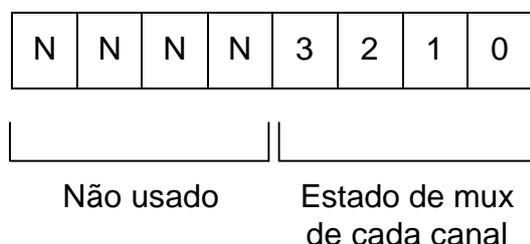


Figura 16: Formato da palavra de dados para comutação de passa-altos na placa tipo extensómetros

Cada bit corresponde à comutação de um canal (bit 0 -> canal0, bit 1->canal1, etc.)

Os estados possíveis resumem-se na seguinte tabela:

Bits da palavra de controlo de multiplexers em placa tipo extensómetros		
Bit	Significado	Estados
x	Comutação de filtro passa-alto canal x	0: Filtro em funcionamento 1: Filtro fora de funcionamento

Tabela 3: Bits da palavra de controlo de multiplexers em placa tipo extensómetros

A VI “programar switches.vi” desenvolvida para o software permite fazer a programação dos filtros passa-alto. Nesta VI está prevista uma temporização para estabilização do filtro quando ele entra em funcionamento, que pode ou não ser utilizada.

II.4.7. Filtragem anti-aliasing

Nas saídas foram inicialmente utilizados filtros do tipo elíptico de 5ª ordem para a eliminação do efeito de aliasing, com uma frequência de corte dimensionada para cerca de 4 KHz. A configuração deste filtro, que apresentava uma saída constituída por um ramo R-C, deu origem a problemas de compatibilidade com a placa de aquisição, traduzindo-se em estranhos efeitos de crosstalk. Tendo este problema ocorrido somente quando os circuitos se encontravam já montados sobre placa de circuito impresso, o problema foi contornado por um shunt do segundo andar do filtro, tendo restado então um filtro de ordem inferior. A solução a considerar de futuro, caso seja continuada a utilização deste tipo de filtros, será a introdução de um buffer na sua saída.

A utilização de todos os canais da placa de aquisição à frequência de amostragem máxima (83.33KHz) resulta numa frequência de amostragem por canal de 10.42 KHz, estando nessa situação garantida a prevenção do aliasing com a frequência de corte definida.

A frequência de corte dos filtros é fixa, sendo pois de ter em atenção a largura de banda de sinais se forem utilizadas frequências de amostragem menores que 10 KHz.

Deve pois começar-se pela amostragem de sinais a frequências de amostragem altas, verificando a sua largura de banda de modo a saber qual a frequência de amostragem mínima a utilizar de modo a evitar aliasing.

A opção por filtros de frequência fixa foi tomada com base na utilização provável do sistema e no facto de não se esperarem componentes espectrais significativas em frequências superiores a 4 KHz em nenhum caso, tendo algum estudo sido dedicado a isso na primeira fase de desenvolvimento do hardware. Assim, o desenho de filtros foi simplificado.

Em fases futuras de desenvolvimento será de considerar a hipótese de utilizar filtros de frequência programável, o que garantirá em todo o caso a largura de banda ideal para cada configuração da aquisição.

II.4.8. Calibração

O sensor extensiométrico e o condicionamento a ele associado caracterizam-se por uma relação linear entre o valor digital D obtido na placa de aquisição e o valor de força F aplicado:

$$D = m^* \times F + b^* \quad (1)$$

O valor b^* que se apresenta tem o significado de um *offset* do sistema, isto é, o seu valor quando o sinal de entrada (a força) é nulo. Na realidade, este valor b^* é uma soma de dois valores:

$$b^* = off_c + zero_{placa}^* \quad (2)$$

Este parâmetro resulta da soma do *offset* natural do sistema de condicionamento off_c (que é afectado pelo ganho ajustado para o canal na placa externa) com um nível de tensão somado a jusante, $zero_{placa}^*$ (que só é afectado pelo ganho da placa de aquisição e que pode ser ajustado num potenciómetro).

Para a obtenção de m^* , utilizam-se pesos de calibração que são aplicados ao sensor.

O valor $zero_{placa}^*$ é medido utilizando-se um ganho nulo no MDAC, conseguindo-se assim anular o *offset* natural do condicionador. Optou-se aqui pela não utilização dos filtros passa-alto, sendo assim possível incluir o *offset* do próprio MDAC em $zero_{placa}^*$ (o *offset* do MDAC é constante, independente do ganho do canal, mas dependente do ganho da placa de aquisição, tal como $zero_{placa}^*$).

Para a determinação de b^* é feita uma medição da saída em condições normais, e sem qualquer força aplicada ao sensor.

Tal como descrito em III.9.1 e III.9.2, é ainda necessário tomar em conta os ganhos do canal e da placa de aquisição utilizados na altura da calibração. Os valores b^* , $zero_{placa}^*$ e m^* , obtidos na calibração, são sujeitos a um processo de normalização que os tornará independentes dos ganhos (tornando-se então b , m e $zero_{placa}$). Será assim possível, para qualquer configuração de ganhos, o cálculo de valores de força a partir dos valores digitais fornecidos pela placa de aquisição.

A seguinte tabela resume o método de obtenção dos factores de calibração.

Obtenção de factores de calibração para sistema extensiométrico			
Parâmetro	Significado	Configuração	Método
b^*	Offset total do condicionador (inclui o ajuste de zero na placa)	Passa-alto desligado. Ganhos configurados normalmente.	O valor de saída do canal é medido directamente com força aplicada nula. Obtém-se assim o <i>offset</i> total (incluindo $zero_{placa}^*$)
$zero_{placa}^*$	Offset (zero) ajustado pelo utilizador.	Ganho do MDAC=0. Passa-alto desligado.	A introdução de ganho nulo permite eliminar todo o <i>offset</i> anterior ao MDAC, obtendo-se assim $zero_{placa}^*$.
m^*	Inclinação da recta de	Passa-alto desligado.	Através de vários valores de força aplicados é calculado, por regressão

Obtenção de factores de calibração para sistema extensiométrico			
Parâmetro	Significado	Configuração	Método
	calibração	Ganhos configurados normalmente	linear, o valor de m^* .

Tabela 4: Factores de calibração para sistema extensiométrico

II.4.9. Montagem física

A placa dispõe dos seguintes conectores :

- 4 conectores frontais tipo DIN para os sensores (canal 0 a 3 da direita para a esquerda)
- 1 conector de alimentação na parte traseira;
- 1 conector para a ligação ao barramento.

A disposição das ligações em cada um destes conectores está definida em [27].

Os cabos dos sensores deverão ser blindados. A ligação da blindagem à caixa metálica em que são montadas as placas e à massa do sistema mostrou bons resultados na redução de ruído.

Na caixa utilizada para suporte das placas existem, para a placa de extensómetros, uma tomada de ligação DIN para cada sensor, bem como dois orifícios por canal para acesso aos potenciómetros de regulação de ganho e offset.

II.5. A placa tipo piezoeléctricos

II.5.1. Diagrama de blocos

O diagrama de blocos funcional desta placa pode ser observado na figura seguinte:

Figura 17: Diagrama de blocos de placa tipo piezoelétricos

Relativamente à estrutura da placa tipo extensómetros, encontram-se as seguintes diferenças:

- Existem somente dois canais de condicionamento de sinal para sensores;
- O amplificador de entrada é um amplificador de carga;
- Foi acrescentado uma cadeia para o isolamento e condicionamento do sinal de sincronismo, que pode ser ligado tanto às entradas analógicas como à entrada de controlo EXTTRIG da placa de aquisição;
- Nas saídas estão colocados detectores de pico, utilizados na calibração, a que é possível fazer reset;
- À saída encontra-se um comutador que permite fornecer ao canal analógico da placa de aquisição o sinal condicionado do sensor ou a saída do detector de pico do respectivo canal.

II.5.2. Entrada

Para o condicionamento de sensores piezoeléctricos são utilizados amplificadores de carga.

Este tipo de amplificadores é basicamente um integrador, que utiliza um amplificador operacional com um condensador na malha de realimentação, recebendo este condensador a carga emitida pelo sensor .

Idealmente o condensador só recebe a carga emitida pelo sensor, mas na realidade as correntes de polarização do amplificador operacional provocam oscilações do nível de saída ou saturação do amplificador. É pois necessário ligar em paralelo com este condensador uma resistência que permita a descarga do condensador e a passagem das correntes de polarização.

A introdução dessa resistência torna o circuito num passa-alto, comprometendo a sua resposta a baixas frequências e eliminando componentes estáticas do sinal. A solução para este inconveniente é a utilização de resistências de valores extraordinariamente altas (na ordem dos $G\Omega$ ou dezenas de $G\Omega$), de modo a tornar a frequência de corte muito pequena.

Revelou-se difícil a aquisição de resistências deste tipo, pelo que se decidiu pela montagem de uma série de 10 resistências de $100 M\Omega$, sendo o desempenho desta solução satisfatória, embora apresente alguns problemas.

Para providenciar uma solução definitiva para este problema, foi feita a encomenda de resistências de 10 e $100 G\Omega$ numa empresa especializada, sendo na altura de recepção dos componentes possível efectuar testes mais extensivos para definir o dimensionamento do amplificador.

Tendo sido experimentadas diversas soluções para o dimensionamento deste circuito, e havendo a possibilidade de mais tarde se utilizar este circuito para fazer medições quase-estáticas, utilizando frequências de corte inferior muito baixas (ver [23]), foi considerado conveniente introduzir no amplificador de carga um multiplexer analógico através do qual o condensador da malha de realimentação pode ser descarregado, conseguindo-se assim fazer um *reset*.

II.5.3. Isolamento e condicionamento de sinal de sincronismo

O sinal de sincronismo é um sinal utilizado pelo motor da máquina para efectuar controlo de velocidade e de posições, e provém de um *encoder* normalmente denominado na gíria da costura industrial de *sincronizador*.

Este sinal fornece um impulso por rotação da máquina num ponto definido do ciclo de costura, sendo utilizado no âmbito deste projecto para efectuar:

- O cálculo da velocidade de costura;
- O início (disparo ou *trigger*) de uma aquisição sempre no mesmo ponto através da sua ligação à entrada EXTTRIG (external trigger) da placa de aquisição.

O início de uma aquisição é feito no flanco ascendente do sinal ligado a EXTTRIG, tendo o sincronizador sido ajustado para que esse flanco ocorra quando a agulha se encontrar na sua posição mais baixa.

As medições efectuadas directamente na saída do sincronizador da máquina mostraram que os níveis e tempos de subida deste sinal não são adequados para a sua ligação a EXTTRIG, sendo necessário tratar o sinal.

Para isolar os circuitos das placas de condicionamento dos circuitos do motor utilizou-se um fotoacoplador à entrada.

II.5.4. Controlo de ganho por software

As considerações tecidas em relação à placa tipo extensómetros no que diz respeito a esta função são igualmente válidas no caso desta placa.

A diferença existente reside no componente utilizado para o controlo de ganho: O MX7528 da MAXIM é também um conversor de 8 bits, mas dispõe somente de dois canais.

II.5.5. Ajuste manual de ganho e offset através de potenciómetros

Estes ajustes processam-se da mesma forma que na placa tipo extensómetros.

II.5.6. Filtros passa-alto

Os filtros passa-alto utilizados nesta placa são do mesmo tipo que os utilizados na placa tipo extensómetros, destinando-se ao mesmo fim: a medição (para calibração) do valor de offset ajustado pelo utilizador ou a aquisição de sinais com eliminação de média.

Apesar de no esquema funcional apresentado na figura 17 aparecer somente um bloco de filtros passa-alto, na realidade cada um dos dois canais possui duas malhas C-R de filtragem, estando uma delas colocada logo após o amplificador de carga, outra imediatamente antes da soma de offset. A razão para a existência de um filtro à saída do amplificador de carga prende-se com a necessidade de eliminar oscilações do nível médio do sinal que existem quando são utilizados amplificadores operacionais com baixas correntes de polarização. Na configuração actual do circuito (Amp-op's TL084 e resistência de $1G\Omega$ na malha de realimentação) o uso do passa-alto neste ponto do circuito é dispensável. Se for considerado conveniente alterar o projecto do amplificador de carga para baixar a frequência de corte inferior, os filtros poderão vir a ser utilizados (sendo também de esperar um redimensionamento dos seus componentes).

A comutação dos filtros passa-alto é feita independentemente de canal para canal, mas os dois filtros de um mesmo canal são comutados em bloco.

Tal como na placa tipo extensómetros, a ligação dos filtros passa-alto exige um tempo de estabilização mínimo de 5 segundos. Para uma maior precisão, aconselha-se a utilização de 10 segundos de estabilização. Não é necessária qualquer estabilização quando são retirados os filtros.

II.5.7. Detectores de pico e calibração

Dado que o sensor piezoeléctrico só fornece carga quando sujeito a variações de força, é necessário para a calibração do sistema de medida ler a variação de tensão provocada por aplicação de determinada força.

Como já foi analisado, a frequência de corte inferior dos condicionadores foi dimensionada de forma a que o tempo de descida da saída seja cerca de xxx segundos, sendo muito curto para ser feita a leitura do valor máximo de tensão provocado pela força aplicada.

Sendo assim, foi necessário introduzir à saída de cada canal um detector de pico, que armazena o pico de tensão que ocorre na saída aquando da aplicação de uma força.

Cada canal tem assim dois modos de funcionamento:

- Um modo de aquisição normal;
- Um modo de calibração, em que é ligada à entrada da placa de aquisição a saída do detector de pico em vez da saída da cadeia de condicionamento.

A escolha de qual dos dois sinais é ligado à saída é feita por controlo do último bloco visível no diagrama de blocos. Ele consiste num multiplexer analógico 4053 (igual ao que é utilizado para a comutação dos filtros passa-alto), que permite escolher a saída normal ou a saída do detector de pico.

Outro multiplexer do mesmo tipo permite fazer um *reset* ao detector de pico, isto é, repor o seu valor a zero através da descarga do condensador que armazena o valor de pico.

A obtenção de factores de calibração para um canal de condicionamento de sensores piezoeléctricos é semelhante à obtenção dos mesmos factores para o caso de sensores extensiométricos. A principal diferença reside no facto de se obter através do detector de pico só variações de tensão, e não valores absolutos da saída. Estas variações de tensão, obtidas para diferentes forças, permitirão calcular o valor m^* da recta de calibração. Os valores b^* e *zero placa**, relacionados com o zero do sistema, são medidos explicitamente.

O valor de saída com força nula não pode, no caso desta placa, ser incluído na regressão linear para cálculo de m^* . A saída é diferente com e sem utilização do detector de pico, pois este fornece somente variações (positivas) do sinal à sua entrada. (o offset anterior é filtrado por um filtro passa-alto interno do detector de pico). Assim, o valor de força nula serve para medir b^* e *zero placa** (sem detector de pico), e m^* é construído a partir de valores de força positivos (com detector de pico).

A obtenção dos factores de calibração é resumida na seguinte tabela.

Obtenção de factores de calibração para sistema piezoeléctrico			
Parâmetro	Significado	Configuração	Método
b^*	Offset total do condicionador (inclui zero ajustado).	Saída normal. Passa-alto desligado. Configuração de ganhos normais.	O valor de saída do canal é medido directamente. Obtém-se assim o offset total (incluindo <i>zero placa*</i>), que leva ao offset do condicionador por subtração de <i>zero placa*</i> .
<i>zero placa*</i>	Offset (zero) ajustado pelo utilizador	Saída normal. Passa-alto desligado. Ganho do MDAC=0	A introdução de ganho nulo no MDAC permite eliminar todo o offset anterior ao MDAC, obtendo-se assim <i>zero placa*</i> .
m^*	Inclinação da recta de calibração	Saída de detector de pico. Passa-alto desligado.	São agora utilizados os detectores de pico. A aplicação de uma força provoca uma determinada variação de tensão na saída. Através de vários valores de força pode calcular-se o valor de m^* .

Tabela 5: Factores de calibração para sistema piezoeléctrico

Mais uma vez se chama à atenção de que este tipo de sensores e circuitos de condicionamento associados não é capaz de medir fenómenos estáticos. Isto significa que valores de força estáticos, ou até mesmo as médias não-nulas de sinais aplicados, são filtrados à saída. Por isso os valores de força calculados com os factores de calibração obtidos desta forma devem somente ser interpretados como valores relativos.

Para uma descrição mais detalhada do processo de calibração deve ser consultado o capítulo III.9.

II.5.8. Formatos para o controlo dos multiplexers

A comunicação entre a placa de aquisição e a placa tipo piezoeléctricos processa-se nos moldes definidos em II.3.3.

A programação do estado dos filtros passa-alto, controlo do detector de pico e da saída são feitos utilizando o código de função 2 na palavra de endereço/função, com uma palavra de dados que segue o seguinte formato:

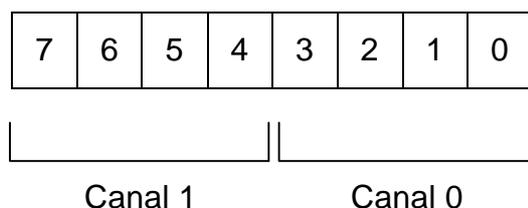


Figura 18: Formato da palavra de dados para controlo de multiplexers placa tipo extensómetros

em que

Bits da palavra de controlo de multiplexers em sistema piezoeléctrico		
Bit	Significado	Estados
0	Descarga de condensador de amplificador de carga (reset) canal 0	0: Aberto 1: Descarga
1	Passa-alto canal 0	0: Em funcionamento 1: Fora de funcionamento
2	Escolha de saída	0: Saída normal 1: Saída detector de pico
3	Descarga de condensador de detector de pico (reset) canal 0	0: Aberto 1: Descarga
4 a 7	Equivalentes para canal 1	Equivalentes para canal 1

Tabela 6: Bits da palavra de controlo de multiplexers em placa tipo piezoeléctricos

A VI “programar switches.vi”, desenvolvida para o software, permite fazer a programação dos filtros passa-alto. Nesta VI está prevista uma temporização para estabilização do filtro quando ele entra em funcionamento, que pode ou não ser utilizada.

Para calibração, esta VI controla também os detectores de pico e amplificadores de carga. Caso se opte por utilizar os filtros passa-alto no modo de calibração, é imprescindível efectuar a estabilização se o filtro estava anteriormente desactivado. Garante-se assim que no final do reset ao detector de pico o sinal à sua entrada está estabilizado. (No painel de calibração do software desenvolvido não se utilizaram os filtros passa-alto, pelo que não há lugar a estabilização).

II.5.9. Filtragem anti-aliasing

Todas as considerações tecidas em relação à filtragem anti-aliasing nas placas tipo extensómetros são aplicáveis aqui.

II.5.10. Montagem física

A placa dispõe dos seguintes conectores :

- 2 conectores frontais para os sensores (canal 0 a 1 da direita para a esquerda);
- 1 conector tipo Jack stereo para o sinal de sincronismo;
- 1 conector de alimentação na parte traseira;
- 1 conector para a ligação ao barramento.

A disposição das ligações em cada um destes conectores está definida em [27].

Na caixa utilizada para suporte das placas existem, para a placa de piezoeléctricos, uma tomada de ligação para cada sensor, bem como dois orifícios por canal para acesso aos potenciómetros de regulação de ganho e offset.

II.6. A placa de aquisição do PC

O anexo a este documento inclui uma folha de especificações da placa de aquisição LAB-PC+.

As suas características mais importantes são as seguintes:

- 8 canais de entrada analógica;
- 2 canais de saída analógica;
- Amostragem sequencial de canais a 83.333 kHz máximo (com ganho 1);
- 3 portas I/O paralelas de 8 bits;
- 3 contadores de 8 bits com diversas possibilidades de configuração.

III. Software - Utilização

III.1. Introdução

III.1.1. Funcionalidades a serem cumpridas

O software a desenvolver para esta aplicação deverá disponibilizar as seguintes funcionalidades:

- A aquisição e visualização flexível dos sinais provenientes dos diversos sensores montados na máquina de costura;
- A análise dos sinais através de diversas técnicas gráficas e de cálculo;
- O cálculo da velocidade média de costura durante o intervalo de tempo de aquisição;
- A calibração dos sensores e a conversão dos valores digitais que se obtêm na aquisição em valores de força;
- A configuração fácil de diversos parâmetros da aquisição e do funcionamento do software;
- A gravação de ficheiros com dados relativos
 - à configuração actual do software;
 - a sinais adquiridos, com toda a informação necessária para a sua correcta identificação e interpretação (data, valores de calibração dos sensores, descrição das condições de costura, condições de aquisição, etc.);
 - a resultados de análises feitas sobre os sinais adquiridos;
 - a dados obtidos durante o processo de calibração dos sensores.

III.1.2. O pacote LABVIEW e os módulos utilizados

O LABVIEW é uma ferramenta de programação gráfica para instrumentação desenvolvida pela National Instruments, a empresa fabricante da placa de aquisição utilizada. Assim sendo, é facilitado o acesso ao hardware através de módulos e drivers fornecidos com o pacote.

O LABVIEW dispõe de todo o tipo de componentes gráficos que permitem a construção de uma interface adequado para uma aplicação de instrumentação como a que se apresenta.

A programação é feita de um modo gráfico, em que as VI's (Virtual Instruments) são especificadas por diagramas. Estas VI's desempenham neste ambiente um papel idêntico ao das funções ou subrotinas noutras linguagens de programação, isto é, têm variáveis de entrada e saída e executam um determinado processamento sobre as entradas, reflectindo-se o resultado deste nas saídas. Poderão executar a sua função mostrando o seu painel frontal (a sua janela) ou não. No primeiro caso teriam alguma interacção com o utilizador, no segundo caso servem meramente como blocos de processamento.

A possibilidade de subdividir o programa em VI's possibilita a modularização do software, o que facilita grandemente a elaboração de programas complexos. O utilizador poderá construir as suas próprias livrarias de VI's, acrescentando-as às livrarias já existentes no software-base. Estas incluem funções de cálculo aritmético, cálculo booleano, manipulação de vectores multidimensionais, controlo de hardware (placas de aquisição, comunicação através de VXI, GPIB, comunicação série), comunicação através de TCP/IP, etc. Podem também criar-se interfaces a rotinas escritas noutra linguagem de programação ou podem fazer-se chamadas a DLL's.

O LABVIEW compila o seu código, no entanto é necessária a aquisição do "Application Builder" para a criação de aplicações "stand-alone".

Este pacote de software oferece ainda uma enorme variedade de produtos companheiros, como por exemplo drivers para hardware de terceiros ou livrarias de VI's para funções específicas (cálculo estatístico, processamento de sinal, entre outras).

Dada a necessidade de proceder extensivamente a funções de processamento de sinal no presente trabalho, foi adquirido o "Advanced Analysis Toolpack", um produto da própria National Instruments que fornece ferramentas de cálculo tais como FFT's, janelas temporais para o cálculo de FFT's, transformadas de Hartley, filtragem digital, cálculo estatístico, entre outras.

III.2. Algumas definições

No âmbito do software que se desenvolveu, convém desde já dar-se algumas definições que facilitarão a compreensão dos capítulos seguintes.

O programa subdivide-se em diversas janelas, com funções diferentes, e que se apelidarão de *painéis*. Temos, por exemplo, o painel principal, o painel de configuração, o painel de calibração de sensores, etc.

Cada um destes painéis é constituído por diversos *objectos*, com funções diferentes:

- Um **controlo** é um campo em que poderá haver "input" por parte do utilizador. Podemos aqui desde já referir os seguintes controlos:
 - **Numéricos**: Em que o utilizador indica um valor para um parâmetro;
 - **Texto**: Semelhante ao anterior, mas para texto;
 - **Vector**: Um vector é um tipo de controlo em que se forma como que uma lista de diversos valores ou conjuntos de valores.

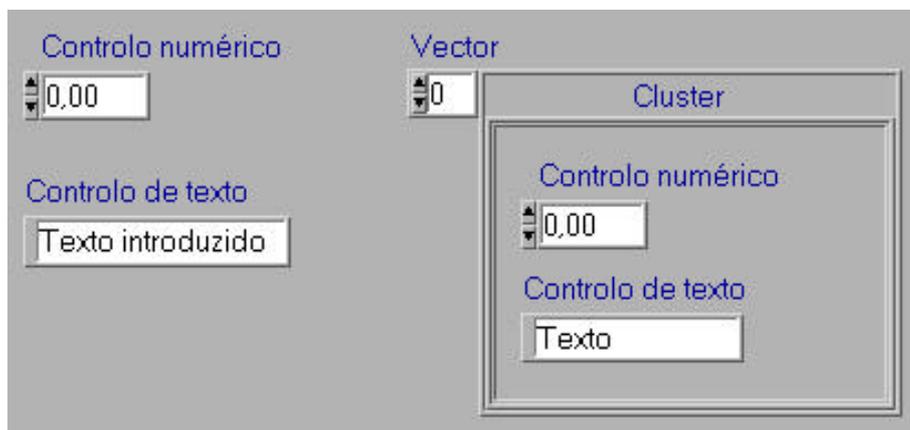


Figura 19: Controlos: Numérico, de texto, vector e cluster

A figura 19 mostra os tipos de controlo descritos. O vector guarda em cada índice um valor numérico e uma palavra (*string*), que formam um *cluster*.

Como exemplo de um vector poderá mencionar-se o controlo da configuração dos canais (ver III.6.4), em que existe um conjunto de parâmetros a configurar para cada um dos canais da placa. Através do controlo do vector, o utilizador escolhe o índice (ou seja, o número do canal a configurar), procedendo depois às devidas alterações. No caso de o vector ter mais que um parâmetro em cada elemento, encontramos-nos em presença de um *cluster* (caso da configuração para cada canal).

- **Listas selecção única:** Tipo de controlo em que se selecciona uma de diversas opções disponíveis, normalmente associadas a um parâmetro de funcionamento do programa, através das setas existentes ou premindo o botão esquerdo do rato sobre o controlo;
- **Listas selecção múltipla:** Controlo em que se pode seleccionar um ou mais elementos da mesma. Este tipo de controlo é utilizado, por exemplo, para fazer a selecção de sinais a serem visualizados. Para seleccionar mais que um elemento da lista, utiliza-se o botão esquerdo do rato em combinação com a tecla <SHIFT>;

Na figura 20 podem ver-se os dois tipos de listas descritos. A lista de selecção única pode ser aberta premindo o botão esquerdo do rato sobre o controlo.

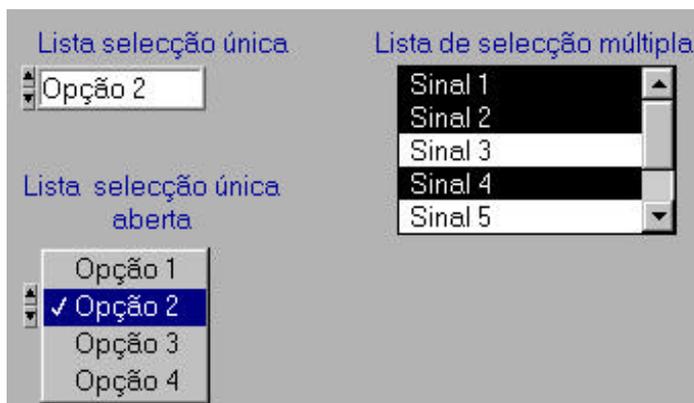


Figura 20: Listas

- **Controlos de gráfico:** Controlos associados a uma área (ou objecto) gráfica, que manipulam a forma como os sinais são nele visualizados (ver III.7.5 e figura 21);

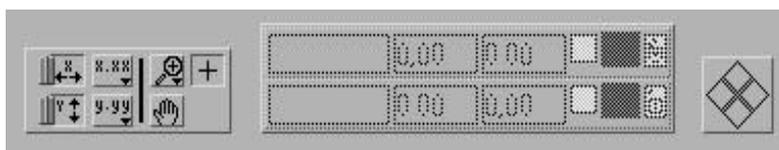


Figura 21: Controlos de gráfico

- **Botões:** Provocam algum tipo de acção imediata;
- **Menus:** Aqui é escolhida uma das opções possíveis premindo o botão esquerdo do rato sobre o controlo (figura 22).

- **Controlos de cor:** São utilizados para escolher a cor de determinado elemento gráfico, premindo-se o botão esquerdo do rato sobre eles (figura 23);



Figura 22: Menus

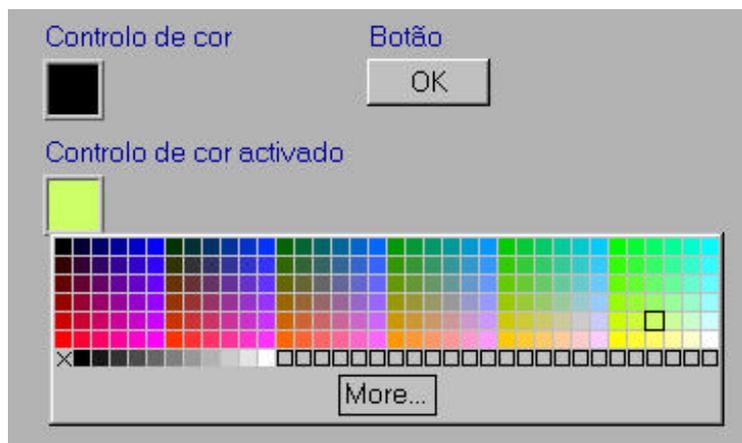


Figura 23: Controlos de cor, botão

- **Indicadores:** Os indicadores são elementos em que se visualiza uma informação que não pode ou não faz sentido ser alterada pelo utilizador, como por exemplo a indicação da velocidade média de costura durante a última aquisição efectuada (figura 24). Também aqui temos indicadores de texto, numéricos, gráficos, clusters, etc.



Figura 24: Indicador

No programa desenvolvido convencionou-se atribuir a controlos uma cor de fundo branca, enquanto que indicadores assumem uma cor cinzenta, sendo assim fácil de encontrar os campos em que o utilizador pode introduzir valores e aqueles que servem como uma mera indicação.

III.3. O botão de ajuda

O programa desenvolvido apresenta, no canto inferior esquerdo de praticamente todas as janelas um botão de ajuda.

Este botão permite abrir uma janela de ajuda que fornece informação sobre o significado de todos os objectos existentes nos painéis e janelas. Para consultar esta informação, basta abrir a janela de ajuda e mover o cursor sobre os objectos. A janela de ajuda alterará o seu conteúdo de acordo com a posição do cursor.

Em certos casos esta actualização não acontece por haver algum objecto diferente a receber o “focus” (por exemplo uma caixa de texto em que o cursor de texto está activo). Nesse caso, deverá simplesmente posicionar-se o cursor sobre o objecto pretendido e premir o botão esquerdo do rato.

Utilizadores menos familiarizados com o programa poderão, através desta janela de ajuda, obter rapidamente indicações úteis sobre o significado de determinados campos ou botões.



Figura 25: Botão de ajuda

III.4. Os “pop-up menus”

Todos os objectos (indicadores, gráficos, botões, listas, etc.) dispõem de um pop-up-menu, acessível através do botão direito do rato, que permite um certo número de operações sobre o objecto ou o seu valor, dependendo do tipo de objecto em questão. Este menu não está acessível em todos os painéis, mas está naqueles em que seja necessário.

Estes pop-up menus são parte integrante do objecto em questão, apresentando-se por isso em inglês, linguagem nativa do LABVIEW.

A utilidade destes menus é restrita nalguns casos, grande noutros. A manipulação de gráficos, por exemplo, baseia-se em grande parte nestes menus, no entanto no caso de um simples indicador não será, à partida, significativa a sua utilização.

Veja-se o pop-up-menu de um indicador ou controlo simples, como por exemplo um controlo numérico (figura 26).

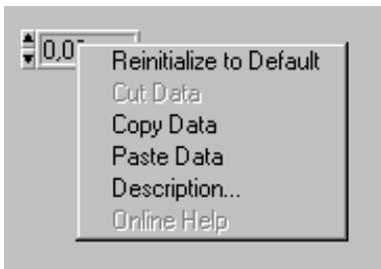


Figura 26: Pop-up menu de um controlo numérico

Através deste menu, o utilizador pode reinicializar o indicador (assumindo este o valor que lhe está atribuído por defeito), pode copiar/cortar valor indicado ou colar um valor existente no “clipboard”. Pode ainda obter uma descrição do controlo (texto igual ao que aparece na janela de ajuda).

Note-se, no entanto, que em termos de valores contidos nos controlos, a cópia funciona só dentro do LABVIEW. Para troca com outras aplicações, a cópia feita é uma imagem (em bitmap) do próprio controlo.

Este facto pode ser bastante útil, como por exemplo para se exportar rapidamente a imagem de um gráfico para um relatório num processador de texto.

A opção “Online Help” não tem qualquer significado, pois não existe um ficheiro de ajuda online.

O pop-up de um vector é um pouco mais complexo, como se mostra de seguida:



Figura 27: Pop-up menu de um vector

Estamos aqui em presença de um vector em que cada elemento é constituído por um cluster de um valor numérico e um valor de texto.

O pop-up permite algumas operações adicionais, específicas de vectores. No entanto, o modo de funcionamento do software que se apresenta elimina qualquer utilidade destas operações. Deve até ser dito que a utilização destas funções pode criar problemas de funcionamento, pelo que elas não devem ser utilizadas.

O pop-up inerente a gráficos é ainda mais completo que os dois que se apresentaram, sendo de grande utilidade. Ele será tratado em secção própria (ver III.7.5).

III.5. Estrutura do programa

Os esquemas que encontramos de seguida representam a estrutura geral do programa com todos os acessos a outros painéis ou caixas de diálogo. Esta estrutura tem como raiz os dois menus do painel principal: O **menu principal** e o **menu gráfico**. Nos esquemas estão contempladas somente as opções que levam a outros painéis ou a caixas de diálogo.

Caixas de diálogo do sistema operativo estão assinaladas como tal. Estas servem para a procura/introdução de nomes de ficheiros ou directorias, e assumem o aspecto standard das caixas de diálogo comuns (“common dialog boxes”).

Figura 28: Estrutura do software

Figura 29: Painéis a partir do menu gráfico

III.6. Dados de configuração - Painel de configuração

A análise dos dados de configuração irá fornecer desde já alguma informação sobre o funcionamento do software, pelo que se começa pela sua análise.



Figura 30: O painel de configuração

A figura 30 mostra o aspecto do painel de configuração. Convém referir desde já que alguns dos parâmetros que se explicarão de seguida podem ser alterados no painel de osciloscópio de uma forma mais expedita, pois aí o efeito da alteração pode ser visualizado imediatamente.

O painel de configuração está dividido em quatro secções distintas:

- A configuração do hardware interno do PC (a placa de aquisição);
- A configuração da pasta de trabalho (directoria) a utilizar por defeito;
- A configuração da aquisição;
- A configuração dos dados sobre os sinais nos diversos canais, que inclui a configuração do hardware externo (o condicionador de sinais).

III.6.1. Configuração do hardware interno do PC (placa de aquisição)

No que respeita à secção de **hardware** de aquisição, ou seja, da placa LAB-PC+, existem dois parâmetros a determinar:

- O **device**, ou número de dispositivo, com o qual o LABVIEW identifica a placa a ser utilizada. Este número é configurado aquando da instalação da placa com um programa fornecido juntamente com o LABVIEW e com a placa ("*NI-DAQ Configuration Utility*"), sendo indicado nas aplicações do LABVIEW para que os comandos dirigidos à placa cheguem a bom porto. Para verificar qual é este número, deve executar-se o referido utilitário de configuração.
- O **ganho** com o qual deve ser feito o condicionamento do sinal que entra na placa. Este ganho pode, no caso da placa presente, assumir os valores de 1, 2, 5, 10, 20, 50 ou 100. Note-se no entanto que a utilização de ganhos superiores a 1 pode diminuir a frequência de amostragem máxima com a qual a placa funciona com precisão (ver anexos: *Especificações da placa de aquisição*). Tendo os condicionadores externos amplificação com ganho programável por software, este ganho deve ser configurado com um valor de 1 para garantir a utilização da máxima frequência de amostragem possível. Se a frequência de amostragem não for restritiva, podem ser utilizados outros valores.

III.6.2. Configuração da aquisição

A configuração da **aquisição** contém os seguintes parâmetros:

- **Canais a amostrar:** A placa LAB-PC+ faz uma amostragem sequencial de canais, começando no canal que é configurado neste campo, e acabando no canal 0.
- **Frequência de amostragem pretendida e ajustada (em KHz):** A escolha de uma frequência de amostragem apropriada relaciona-se com o conteúdo espectral do sinal, tal como descrito em secção própria (ver IV.4). Na janela de configuração é definida a frequência com a qual se pretende amostrar cada canal. O painel de configuração mostra no indicador "**Frequência ajustada**" qual a frequência mais próxima que se pode obter nas condições de amostragem definidas de momento. A frequência de amostragem por canal tem um limite máximo dependente do número de canais amostrados e do ganho utilizado. Outro ajuste necessário prende-se com a resolução dos contadores da placa que fornecem a base de tempo para as conversões Analógico/Digitais (A/D), e que nem sempre permitem obter exactamente a frequência que se pretende. Ao sair do painel de configuração a frequência de amostragem que é utilizada será a que está indicada no indicador de "**Frequência ajustada**".
- **Comprimento de registo:** É o número de amostras que a placa deverá colher em cada aquisição e de cada canal. Este número é determinado em função do número de rotações da máquina que se quer registar, da frequência de amostragem que se utiliza e de diversos factores relacionados com os algoritmos de cálculo das diferentes análises a serem aplicadas ao sinal (assunto que será tratado em secção própria).

No que se refere estritamente ao número de ciclos (rotações ou pontos) da máquina a registar, o cálculo do comprimento de registo a utilizar é feito com base no seguinte:

Seja

v_c : Velocidade de costura [rpm];

f_a : frequência de amostragem utilizada ;

l_r : comprimento de registo;

n : número de ciclos a registar.

Então

$$\text{Tempo de uma aquisição: } t_a = \frac{l_r}{f_a} \quad (3)$$

$$\text{Tempo de } n \text{ rotações: } t_n = \frac{n \times 60}{v_c} \quad (4)$$

donde

$$l_r = \frac{n \times 60 \times f_a}{v_c} \quad (5)$$

- **Preparação da aquisição:** A aquisição de sinais é iniciada por um flanco ascendente do sinal de sincronismo que provém do sincronizador da máquina. Para que o operador tenha tempo suficiente para pôr a máquina em funcionamento e acelerá-la até à velocidade final antes de se iniciar a aquisição, o software permite um de dois possíveis métodos de espera (ver III.7.3.1):
 - **Por tempo** - Antes de se sensibilizar a placa ao sinal de sincronismo é feita uma contagem decrescente, em segundos, do valor ajustado neste campo;
 - **Por pontos** (rotações da máquina) - Antes da sensibilização da placa é feita uma contagem de um determinado número de rotações da máquina suficientes para a sua aceleração (no caso de escolher esta opção o utilizador indica neste campo o número de rotações que deverá ser aguardado).
- **Timeout da aquisição:** Após ter decorrido o tempo de contagem decrescente ou o número de rotações escolhido, a placa é sensibilizada ao "trigger" obtido do sinal de sincronismo. Se durante o tempo aqui configurado a placa não fizer uma aquisição válida, a operação é anulada. Este tempo terá de ser necessariamente maior que o próprio tempo de aquisição, pelo que o programa o ajusta caso tal situação não se verifique.

III.6.3. Configuração da pasta de trabalho

A **pasta de trabalho** indica qual a directoria/pasta em que o programa deverá, por defeito, salvar os ficheiros de sinais ou de calibração. Naturalmente que os utilizadores poderão salvar o seu trabalho noutra directoria, escolhendo-a na caixa de diálogo própria.

III.6.4. Configuração dos canais e ligações externas

A configuração dos **canais** tem as seguintes variáveis:

- **Nome** do sinal: Permite ao utilizador atribuir a cada canal um nome para o sinal que lhe está ligado, de forma a identificar as aquisições mais facilmente.
- **m**, **b** e **ajuste de zero na placa**: Estes são os factores de calibração com os quais é efectuada a escalagem dos valores digitais a valores reais de força. Note-se que estes valores estão normalizados, isto é, foram tratados de forma a serem independentes dos ajustes de ganho momentâneos (ver III.9).
- **Ligação externa**
 - **Placa e saída**: Tal como descrito em II.3.3, é neste campo que se indicam os endereços da placa externa e da sua saída que se ligou ao canal da placa de aquisição em questão. Se o sinal em questão não tiver programação de ganho externo e filtros (caso do sinal de sincronismo), deve ser atribuído ao endereço de placa o de uma placa inexistente;
 - **Ganho externo**: O condicionador externo tem um ganho programável, sendo aqui possível escolher um ganho entre 0 e aproximadamente 10 ($10 \cdot 255/256$). O incremento de ganho dá-se em passos de $10/256$. Aconselha-se a utilização de um ganho próximo de 1, fazendo-se ajustes a este conforme necessário. É sempre desejável que os sinais ocupem o máximo da gama de codificação da placa de aquisição, de forma a minimizar erros e aumentar a resolução da medida.
- **Tipo**: Indica o tipo de sensor/condicionador ligado ao canal. Esta informação é necessária para o processo de calibração, em que se utilizam detectores de pico para os sensores piezoeléctricos.

No que diz respeito aos canais da placa de aquisição, convém desde já referir que o canal 0 deverá ser reservado para o sinal de sincronismo, que servirá como base para o cálculo da velocidade de costura durante a aquisição (ver III.7.2 e IV.2).

III.6.5. Parâmetros ajustáveis no painel de osciloscópio

Após uma primeira instalação e configuração do sistema o utilizador provavelmente não necessitará de chamar o painel de configuração com muita frequência, pois poderá alterar alguns parâmetros no painel de osciloscópio.

A utilização desse painel traz a vantagem de o processo de configuração ser mais simples e expedito, pois os resultados de qualquer alteração serão imediatamente visíveis. Para além desta vantagem, não existe o perigo de inadvertidamente se modificarem valores relacionados com a calibração ou com o hardware externo, que poderiam produzir erros ou mesmo tornar o sistema inoperacional.

Os parâmetros alteráveis no osciloscópio são os seguintes:

- **Ganho** da placa de aquisição do PC;
- **Canais a amostrar**;

- **Frequência de amostragem;**
- **Comprimento de registo;**
- **Ganho externo** do condicionador nos diferentes canais.

III.7. O painel principal

III.7.1. Descrição geral

No painel principal encontra-se concentrada toda a funcionalidade de aquisição de sinais do software proposto. Este painel contém 4 elementos distintos, como se pode ver na figura 31:

- O menu principal;
- Os bancos de registo de sinais;
- O menu gráfico;
- A área do gráfico;

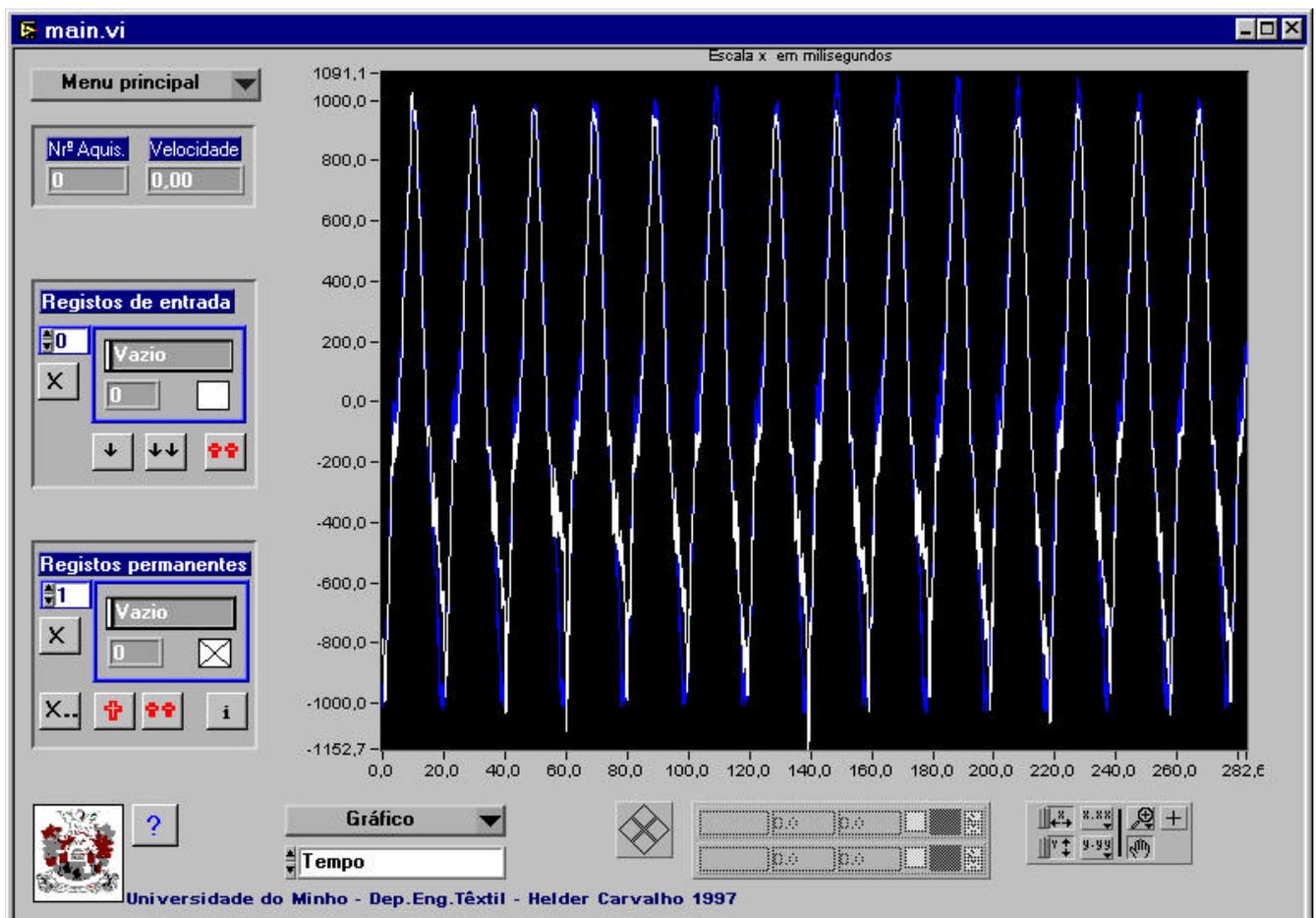


Figura 31: Painel principal

Existe ainda um **contador do número de aquisição**, que é incrementado por cada aquisição efectuada depois de se ter iniciado o programa, além de um indicador que mostra a **velocidade média de costura** calculada na última aquisição, em rotações por minuto.

III.7.2. O indicador de velocidade

O indicador de velocidade indica a velocidade média de costura durante a última aquisição. Esta é calculada com base na amostragem efectuada ao sinal de sincronismo, que fornece um impulso por rotação da máquina (ver IV.2).

É **imperativo** que este sinal de sincronismo seja ligado ao **canal 0** da placa de aquisição, pois o software procurará o sinal de sincronismo na amostragem resultante desse canal. A atribuição do canal 0 a este sinal faz todo o sentido, pois a amostragem da placa LAB-PC+ é sequencial, e desse modo o sinal de sincronismo estará sempre presente em todas as aquisições.

Note-se que o cálculo de velocidade não serve só como mera indicação. Este parâmetro é guardado na informação sobre um sinal e é fundamental para algumas operações de cálculo de escalas x (ver III.7.5.1 e IV.1).

III.7.3. Menu principal

O menu principal contém as funções principais do software: Aquisição de sinais, escrita e leitura de ficheiros de sinais, acesso aos painéis de análise, calibração e configuração e alteração de informação sobre sinais.

Passa-se então a analisar cada uma das opções disponíveis.

III.7.3.1. Opção “Adquirir”

Esta opção do menu principal inicia um processo de aquisição de sinal. Este tem duas fases:

- Uma primeira fase de preparação por contagem decrescente do número de rotações da máquina ou tempo configurados, conforme descrito em III.6.2 (figuras 32 e 33);
- A sensibilização da placa ao sinal de trigger para que seja efectuada a aquisição.



Figura 32: Preparação de aquisição por contagem de rotações da máquina (pontos)



Figura 33: Preparação de aquisição por contagem decrescente de tempo

Na primeira fase, o utilizador poderá cancelar a operação premindo, na janela de contagem decrescente, o botão “**Cancelar**”. Caso a preparação da aquisição esteja a ser feita por contagem de rotações, existe ainda a possibilidade de repor a contagem ao seu valor inicial através do “**Reset**”.

Estando concluída esta primeira fase, o software ficará à espera de receber da placa uma aquisição válida dentro do tempo de timeout ajustado na configuração, sendo a operação cancelada se tal não se verificar.

Uma aquisição é iniciada por um **flanco ascendente** do sinal de sincronismo, o que acontece quando a agulha passa pelo seu **ponto mais baixo** (ponto morto inferior). No âmbito deste software, o ponto de início (0°) do ciclo de formação de ponto (um ciclo de formação de ponto é uma rotação da máquina) é atribuído ao ponto morto inferior da barra de agulha.

Caso haja uma aquisição válida, o programa verifica se o sinal adquirido não “toca” nos limites da gama de valores de saída do conversor A/D. Se isso acontecer, o utilizador é avisado e aconselhado a reajustar ganhos ou offsets, pois esta situação pode resultar numa distorção grave dos sinais.

Tendo a aquisição sido concluída sem erros, os sinais adquiridos são armazenados no registo de entrada (ver *III.7.4*), mesmo que tenham sido atingidos os limites da gama do conversor A/D (situação já descrita).

III.7.3.2. Opção “Abrir ficheiro”

Esta opção permite abrir ficheiros de sinais, podendo estes ter sido criados pelo próprio programa, ou serem ficheiros de texto em formatos comuns de folhas de cálculo.

Sendo ficheiros “estranhos” ao sistema, o formato terá de obedecer aos seguintes requisitos:

- Os valores correspondentes a cada um dos sinais contidos no ficheiro terão que estar dispostos em colunas (cada coluna é um sinal);
- Cada sinal é separado do próximo, dentro da linha, por um carácter “TAB” (tabulação).
- A linha acaba com um “Carriage Return”

A abertura de ficheiros começa por visualizar uma caixa de diálogo standard do Windows (figura 34), em que são listados os ficheiros com extensão “.sew” (extensão que o programa utiliza por defeito para gravar ficheiros de sinais).

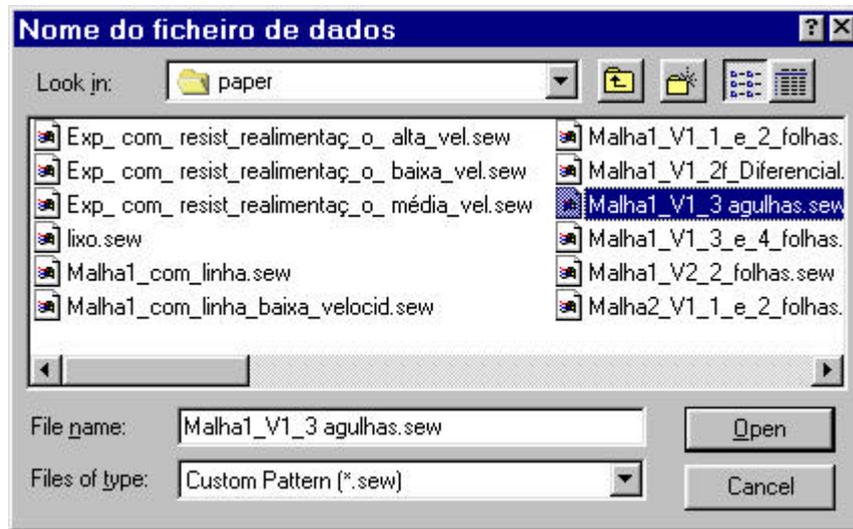


Figura 34: Caixa de diálogo para escolha do nome de ficheiro a abrir

Escolhido um ficheiro, é verificado o seu formato. Uma de três situações pode ocorrer:

- O ficheiro é nativo do programa em versão completa, contendo, portanto, toda a informação necessária à correcta interpretação das medidas. Dado que ficheiros nativos contêm no seu início uma secção com comentários ao seu conteúdo (que o utilizador acrescenta quando salva o ficheiro, caso o deseje), estes são visualizados (ver figura 36).
- O ficheiro é estranho ao programa (caso de um ficheiro de texto produzido, por exemplo, por uma folha de cálculo): Neste caso (figura 35) o utilizador é solicitado a indicar a partir de que linha o ficheiro deve ser lido, e se a primeira linha contém dados ou é um cabeçalho com os nomes dos sinais contidos (caso de ficheiros criados pelo programa de aquisição antigo. Os nomes dos sinais na primeira linha deverão estar separados por caracteres “TAB”, tal como os sinais);
- O ficheiro é nativo do programa mas em versão simples, contendo somente os sinais, seus nomes e uma secção de comentários, que é visualizada (figura 37).



Figura 35: Caixa de diálogo para importação de um ficheiro de sinais

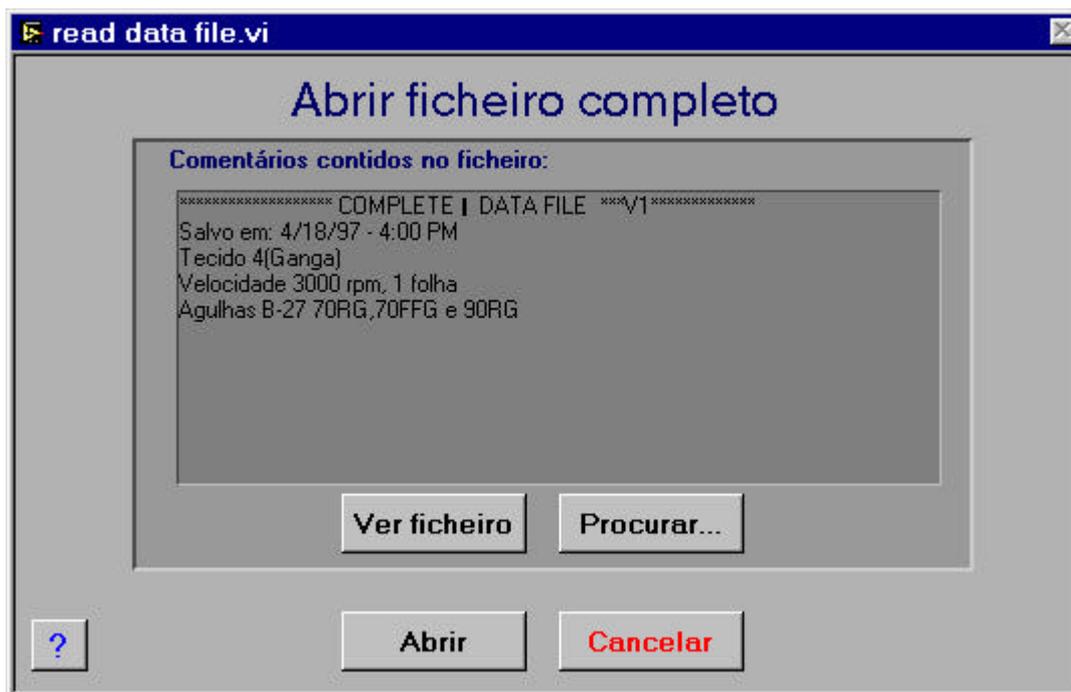


Figura 36: Caixa de diálogo para leitura de um ficheiro de sinais completo

Em todos os casos o utilizador pode visualizar o ficheiro premindo o botão “**Ver ficheiro...**”, sendo desse modo aberta uma janela que mostra a secção de comentário e informação sobre sinais em ficheiros nativos, ou as primeiras 30 linhas de um ficheiro estranho (figura 38).



Figura 37: Caixa de diálogo para leitura de um ficheiro de sinais simples



Figura 38: Previsão do conteúdo de um ficheiro

Se o utilizador desejar escolher outro ficheiro, pode premir o botão **“Procurar”**, que faz aparecer de novo a caixa de diálogo de escolha de ficheiros, permitindo nova selecção.

A importação de ficheiros apresenta o problema de não existir qualquer tipo de informação sobre os sinais, isto é, não são conhecidos os parâmetros de calibração dos sensores, frequência de amostragem, etc. Isto significa que não é possível, por exemplo, obter o espectro do sinal com uma escala de frequências correcta, converter valores digitais em valores de força, efectuar filtragens digitais correctas ou recriar correctamente a escala de tempo/ângulo de um sinal.

Como será visto em III.7.4.3, é possível acrescentar a informação em falta, podendo inclusive ser feita uma conversão dos valores do sinal por introdução de novos factores de calibração.

III.7.3.3. Opção “Gravar ficheiro”

Nesta opção é possível ao utilizador salvar em ficheiro sinais que estejam no registo permanente de sinais (não é possível salvar sinais que estejam no registo de entrada).

A caixa de diálogo que controla a gravação de ficheiros disponibiliza as seguintes opções:

- A gravação de um ficheiro **completo** ou **simples**: Se se optar por gravar um ficheiro completo, toda a informação sobre os sinais é incluída, enquanto que o ficheiro simples só inclui os próprios sinais com os seus nomes em cabeçalho e eventuais comentários que se deseje acrescentar. **A gravação de ficheiros completos é sempre recomendada;**
- A gravação de **todos** os sinais armazenados no registo permanente ou somente os que estão **marcados** para visualização (ver III.7.4).
- Do lado direito existe um espaço destinado aos **comentários** que se pretenda incluir no cabeçalho do ficheiro. Data e hora de gravação são incluídos automaticamente neste comentário, podendo ser apagadas se não forem desejadas.

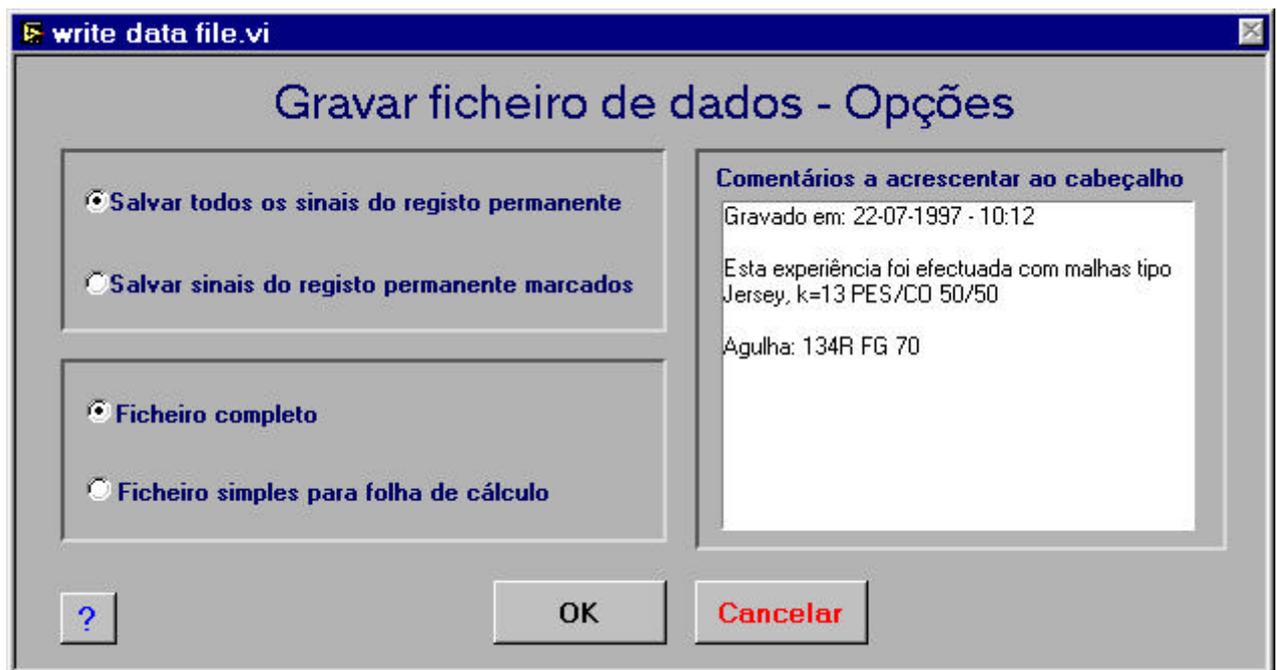


Figura 39: Caixa de diálogo para a gravação de ficheiros de sinais

Depois de ter sido premido o botão “OK”, surgirá uma caixa de diálogo na qual é escolhido o nome para o ficheiro a criar. A extensão utilizada por defeito para os ficheiros é “.sew”.

III.7.3.4. Opção “Painel de Análise”

Este ponto dá acesso ao painel de análise, tratado em capítulo próprio (ver III.10).

III.7.3.5. Opção “Osciloscópio”

Esta opção abre o painel de osciloscópio, que será analisado em III.8.

III.7.3.6. Opção “Configurar”

A escolha desta opção leva o utilizador ao painel de configuração, já abordado anteriormente (ver III.6).

III.7.3.7. Opção “Calibrar”

Esta opção dá acesso ao painel de calibração, também descrito em secção própria (ver III.6).

III.7.3.8. Opção “Fim”

Esta opção permite a saída do programa. O utilizador é solicitado a confirmar a sua saída.

Na versão actual do programa não é verificado se todos os sinais em memória foram já gravados. No entanto, os sinais mantêm-se em memória a menos que seja fechado o próprio LABVIEW.

Dado que o programa desenvolvido não é um executável, mas corre dentro do LABVIEW, para finalizar a sessão de trabalho o utilizador necessita ainda de fechar o LABVIEW.

III.7.4. Os bancos de registos de sinais

III.7.4.1. Função e Propriedades

Para mais facilmente se manipular a visualização, gravação e análise de sinais, criaram-se dois tipos de “bancos de registos de sinais”:

- O banco de registos de entrada;
- O banco de registos permanentes.

Antes de se iniciar a descrição da manipulação destes registos, convirá fazer-se a distinção das propriedades e objectivos de cada um dos bancos.

O registo de entrada serve como ponto de entrada de sinais. Quando é feita uma aquisição ou a leitura de um ficheiro, os respectivos sinais são armazenados neste registo. Poderá depois escolher-se quais os sinais que se pretende tratar, copiando-se estes para o registo permanente. É importante notar que este banco é um mero ponto de passagem, pois de cada vez que se efectua nova aquisição ou leitura de um ficheiro, os dados aí existentes serão substituídos pelos novos dados.

O registo permanente é o local onde permanecem guardados os sinais que se pretende analisar em maior pormenor. Todas as operações de análise, alteração de

informação sobre sinais, bem como a gravação de ficheiros, só poderão ser feitas sobre os sinais aí contidos.

A existência destes dois bancos de registos permite ao utilizador agrupar os sinais que lhe interessam da forma mais conveniente.

III.7.4.2. Manipulação de registos

As próximas figuras mostram os bancos de registo de sinais, de entrada e permanentes.

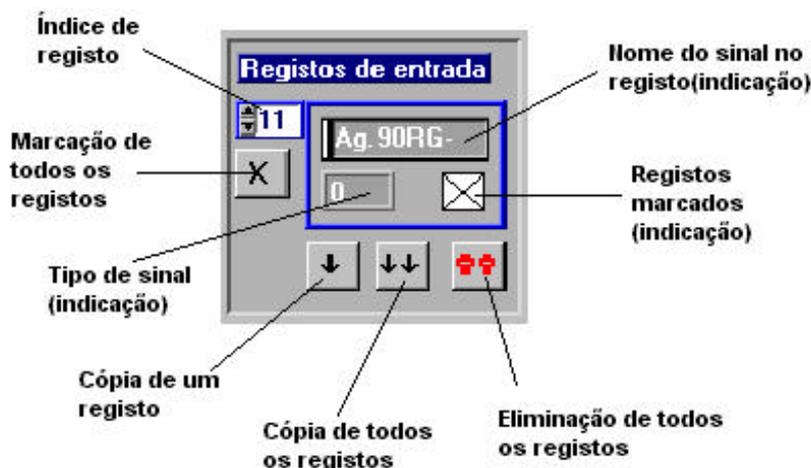


Figura 40: Controlo dos registos de entrada

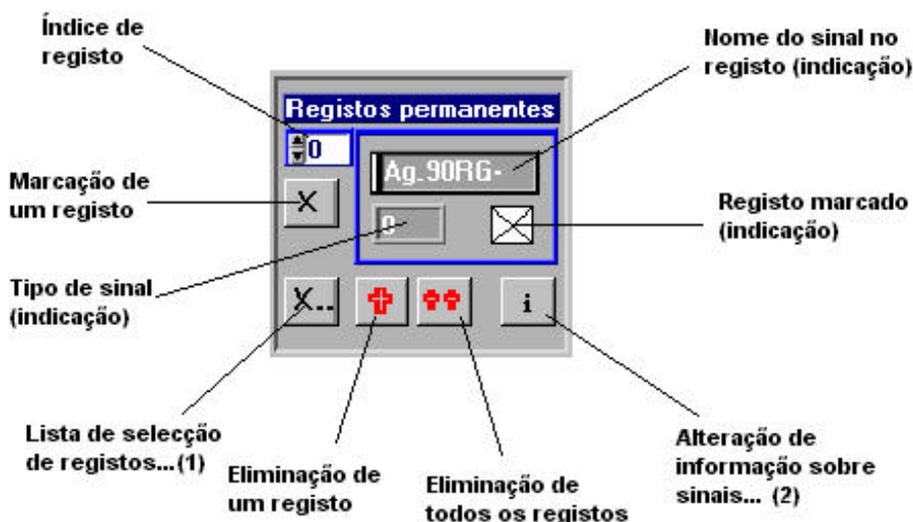


Figura 41: Controlo dos registos permanentes

O controlo de índice do registo permite percorrer cada um dos registos contidos no banco. Cada sinal é identificado pelo seu índice dentro do banco e pelo seu nome. É também indicado o tipo de sinal em presença e a existência de uma marcação sobre o sinal.

A marcação tem como objectivo deixar que os sinais sejam ou não visualizados na área do gráfico. Através do botão de marcação o utilizador poderá marcar estes para visualização. Enquanto que no registo de entrada esta marcação é feita em bloco, no registo permanente poderá ser feita individualmente sobre cada sinal.

Quando o utilizador confirmar a correcção da aquisição, ou quando tiver decidido quais os sinais que pretende guardar em ficheiro ou analisar, poderá copiá-los para os registos permanentes. Para tal, utiliza os botões de cópia individual ou de cópia em bloco.

O registo permanente, representado na figura 41, apresenta relativamente ao registo de entrada as seguintes diferenças:

- Cada sinal poderá agora ser marcado individualmente para ser visualizado ou gravado;
- Existe um botão de marcação de registos adicional **(1)**, que provoca a abertura de uma janela, na qual poderá ser feita a marcação de múltiplos registos de uma forma mais prática, através de uma lista de selecção múltipla. Nessa lista, podem encontrar-se os nomes de todos os sinais existentes nos registos, e a marcação de mais de um sinal é feita premindo-se a tecla “SHIFT” em simultâneo com o botão esquerdo do rato.
- Os botões de cópia de registos foram substituídos por botões que permitem eliminar os sinais contidos no registo. Esta eliminação poderá ser feita sobre o sinal presentemente visível no índice ou em bloco.
- O botão de informação **(2)** possibilita a visualização e alteração, numa janela separada, da informação sobre os sinais contidos nos registos permanente.

Saliente-se uma vez mais que é só sobre os sinais presentes nos registos permanentes que poderão ser feitas operações de análise, alterações à informação sobre o sinal ou o seu armazenamento em disco, servindo os registos de entrada como meros pontos de passagem.

Outro pormenor a frisar é a visualização de sinais. Os sinais do registo permanente só serão visualizados no gráfico caso não esteja seleccionado o bloco que é constituído pelo registo de entrada. Pretendendo-se a visualização dos sinais dos registos permanentes, deverá retirar-se a marcação dos registos de entrada, aplicar a marcação aos sinais dos registos permanentes a visualizar, e fazer a regeneração do gráfico através da opção “Redesenhar” do menu gráfico (ver III.7.6.1).

III.7.4.3. Informação sobre sinais

Quando é feita uma aquisição, ficam em memória não só os sinais adquiridos, como também um conjunto de informações relativas às condições de aquisição do sinal. Estas informações podem ser consultadas e alteradas se o sinal estiver contido no banco de registos permanentes. Para tal, deverá actuar-se o botão de informação (assinalado com (2) na figura 41).

A alteração da informação sobre sinais pode ter reflexos nos sinais descritos por ela, dado que perante um novo ganho ou novos factores de calibração o software **recalcula** os valores de força. Aconselha-se, pois, cuidado ao alterar alguns valores.

Passa-se a enumerar os parâmetros em questão, que na sua maioria foram já descritos na configuração do sistema (ver III.6).

- **Data/hora de aquisição;**
- **Velocidade de costura;**
- **Ganho da placa** utilizado na aquisição do sinal;
- **Ganho externo** utilizado na aquisição do sinal;
- **Número do canal** que foi amostrado;
- **Nome** que estava atribuído ao canal
- **Tipo** de sinal: Sendo possível efectuar operações sobre os sinais que os transformarão, por exemplo, de sinais temporais em sinais no domínio das frequências, existe aqui uma indicação do tipo de sinal em presença. Os tipos de sinal existentes são os seguintes:

Tipo	Descrição
0	Sinais no tempo
1	Espectro de potência de um sinal
2	Módulos do espectro do sinal
3	Fase do espectro do sinal
4	Derivada de um sinal temporal
5	Vector de valores discretos (por exemplo cálculo da energia de um sinal em cada ponto de costura efectuado)

Tabela 7 : Tipos de sinais

- **Comprimento do registo** (número de amostras do sinal);
- **Frequência de amostragem;**
- **Janela** utilizada na FFT (Fast Fourier Transform) - Tipo de janela temporal que foi utilizada caso este seja um sinal sobre o qual foi aplicada uma FFT, conforme a tabela 8:

Tipo	Janela
0	Rectangular
1	Hamming
2	Hanning
3	Triangular
4	Blackman
5	Exact Blackman
6	Blackman-Harris
7	Flat-Top
8	Kaiser-Bessel
9	Cosine-Tapered

Tabela 8: Tipos de janelas temporais para FFT

- **Calibração do sensor** - Parâmetros **m** e **b** de calibração do sistema de medida (ver III.9.1);
- **Zero ajustado na placa** – Ajuste manual de zero na placa, outro parâmetro de calibração do sistema de medida (ver III.9.1);

III.7.5. A manipulação do gráfico

O LABVIEW disponibiliza um conjunto de ferramentas para manipulação de gráficos que constitui uma das suas vantagens fundamentais para aplicações de instrumentação e análise de sinais.

Para completar as possibilidades de manipulação de gráficos tendo em vista a aplicação presente, forma acrescentadas mais algumas funcionalidades.

A manipulação de gráficos nesta aplicação baseia-se, pois, em dois tipos de ferramentas:

- Ferramentas integradas no objecto de visualização gráfica do LABVIEW, tais como
 - ZOOMS;
 - Legendas;
 - Gráficos-tipo;
 - Cursores;
- Funções acrescentadas no desenvolvimento da aplicação, como
 - A marcação de registos individuais para visualização;
 - As funções do menu gráfico;

- O controlo do tipo de escala x.
- O avanço da escala x por períodos ou harmónicos (só no painel de análise, a ser abordado em III.10)

Analisar-se-ão estes pontos de seguida.

III.7.5.1. Escalas para o eixo x

O tipo de escala a utilizar no eixo x pode ser escolhida numa lista de selecção única que se encontra debaixo do menu gráfico (figura 42).

Quando é feita a regeneração do gráfico por via da opção “Redesenhar” no menu gráfico do painel principal, ou de modo automático no painel de análise, os sinais são visualizados segundo a escala escolhida. Dependendo do tipo de escala escolhida, os sinais são ou não visualizados, independentemente de estarem marcados para visualização. Um sinal no tempo, por exemplo, não será mostrado se a escala x escolhida for uma escala de frequências.

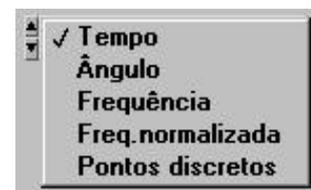


Figura 42: Escolha de tipo de escala x

A tabela 9 mostra os tipos de escalas existentes, o seu significado e os tipos de sinais que aí serão visualizados, bem como comentários à sua utilização.

Escala x	Significado	Tipos de sinais visualizados	Comentário
Tempo	Escala x em tempo (milisegundos)	0,4	-
Ângulo	Escala x em graus, referência ao ângulo de rotação da máquina	0,4	Só fica correcta se houver informação sobre velocidade de costura. Útil para comparar sinais adquiridos a velocidades diferentes.
Frequência	Escala x em frequência (Hz)	1,2,3	-
Frequência normalizada	Escala x em Hz/Hz: Divisão das frequências pela frequência fundamental do sinal (a frequência de rotação da máquina)	1,2,3	Só fica correcta se houver informação sobre velocidade de costura. Útil para comparar sinais adquiridos a velocidades diferentes ou para reconhecer índice de harmónicos. A divisão pela frequência fundamental coloca harmónicos equivalentes no mesmo local das abcissas, independentemente da velocidade.

Escala x	Significado	Tipos de sinais visualizados	Comentário
Pontos discretos	Escala x sem unidades.	5	Para sinais tipo 5, em que simplesmente existe um conjunto de valores a ser visualizado.

Tabela 9 : Tipos de escalas x e suas características

É de salientar a utilidade das escalas em graus e de frequência normalizada: Existindo informação correcta sobre a velocidade de costura e frequência de amostragem, podem comparar-se sinais tirados a velocidades de costura diferentes, tanto no domínio dos tempos como no domínio das frequências.

Também é importante referir que as escalas só serão correctamente visualizadas se existir informação sobre *frequência de amostragem* e *velocidade de costura* dos sinais. Caso contrário, situação que acontece na importação de ficheiros, não é possível recriar correctamente a escala x.

III.7.5.2. Os controlos do gráfico: Escalas, cursores, zooms

Neste e no próximo capítulo serão apresentadas as ferramentas de manipulação de gráficos que estão integradas com o objecto gráfico do LABVIEW. É necessário referir que os diversos menus que surgem nestes controlos se apresentam em inglês, tal como os “pop-up menus”, não tendo sido tecnicamente possível a sua tradução.

Os controlos do gráfico subdividem-se em duas funções principais:

- A paleta do gráfico, que permite controlar escalas, zooms, etc.;
- O controlo de cursores.

A paleta do gráfico está representada na figura 43.

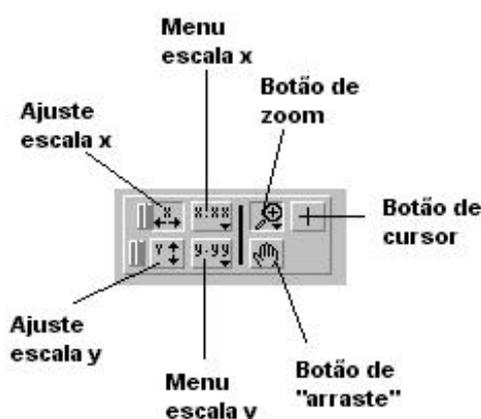


Figura 43: Paleta de controlo do gráfico

Pode aí encontrar-se dois botões à esquerda, que servem para fazer um **ajuste automático** da escala x ou y.

É possível fazer este ajuste de modo momentâneo, premindo o botão respectivo, mas também de modo automático, “fechando” o botão. Este é o caso na figura, em que a escala x é ajustada de modo automático sempre que o gráfico é redesenhado. Para “fechar” o botão de escala, deve “empurrar-se” o “batente” que se encontra à esquerda do botão de ajuste de escala, premindo o botão esquerdo do rato.

Os dois botões seguintes, ainda referentes às escalas x e y, fazem surgir o **menu de escala** representado de seguida:



Figura 44 :Menu de controlo de escala

Aqui é possível determinar o **formato** dos valores da escala (decimal, exponencial, hexadecimal, científico, tempo, etc.), a **precisão** da representação do número (dígitos significativos à direita da vírgula), e o tipo de **mapeamento** da escala (linear ou logarítmico).

O botão de **zoom** permite rápida e facilmente fazer diversos tipos de zoom, cujas diferenças são fáceis de reconhecer na figura que mostra o menu obtido através do botão de zoom.

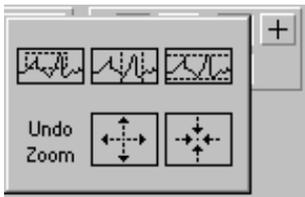


Figura 45: Menu de Zoom

O controlo do gráfico contém ainda o **botão de “arraste”** que, estando seleccionado, permite que o utilizador movimente o gráfico com o rato, premindo o botão esquerdo e arrastando toda a figura na direcção que desejar.

Finalmente existe o **botão de cursor** para arrastar o(s) cursor(es) activo(s) da mesma forma.

A seguinte figura mostra o **controlo do cursor**:

Alternativamente ao arraste do cursor com o rato, este pode ser movimentado com o controlo visível no lado esquerdo da figura 46. Tal controlo funciona somente sobre o(s) cursor(es) activo(s), tendo a vantagem de permitir uma mais fácil movimentação ponto-a-ponto.

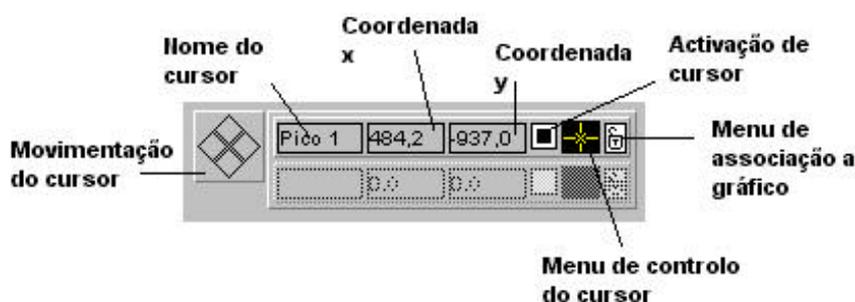


Figura 46: Controlo do cursor

Na figura é visível a informação sobre o nome do cursor e as suas posições actuais em x e y. Estes valores podem ser alterados directamente nos seus campos: a alteração das coordenadas leva o cursor para a

posição desejada.

Imediatamente ao lado direito existe o controlo de activação do cursor. No exemplo que se apresenta na figura 46, somente o primeiro cursor está activo.

Finalmente existem dois menus associados ao controlo dos cursores, e que se passam a detalhar:

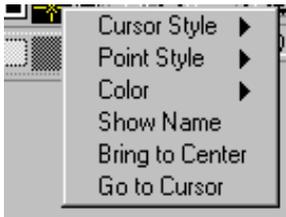


Figura 47: Menu de controlo do cursor

No primeiro destes dois menus, existem três submenus, em que é possível escolher o tipo de cursor (“**Cursor Style**”), o tipo de ponto para o centro do cursor (“**Point Style**”) e a sua cor (“**Color**”).

A opção “**Show Name**” coloca sobre o gráfico o nome do cursor.

“**Bring to Center**” traz o cursor para o centro do gráfico, e “**Go to Cursor**” desloca o gráfico para a posição actual do cursor.

O segundo menu controla o comportamento dos cursores relativamente aos sinais visualizados no gráfico.



Figura 48: Associação do cursor a sinais

A opção “**Free**” deixa o cursor ser movimentado livremente, enquanto que as duas seguintes (“**Lock to Plot**” e “**Snap to Point**”) prendem o cursor ao gráfico seleccionado na parte inferior do mesmo menu.

“**Lock to Plot**” e “**Snap to Point**” têm resultados muito idênticos. A única diferença reside no facto de o cursor, estando livre, no primeiro caso se associar ao último gráfico a que esteve preso, enquanto que no segundo procura o gráfico mais próximo.

A utilização dos cursores permite facilmente medir picos, amplitudes, ou intervalos de tempo. É de notar que estes aparecem na impressão do gráfico, podendo assim realçar pontos importantes do mesmo, sendo mesmo possível colocar um texto elucidativo do seu significado, através do nome do cursor e da opção “**Show Name**”.

Devido a falta de espaço, só se disponibilizam dois controlos para cursores, embora o painel de análise utilize bastantes mais sem perda de funcionalidade.

III.7.5.3. O pop-up menu do gráfico

Uma pressão no botão direito do rato sobre a área do gráfico provoca a abertura do pop-up menu representado a seguir:

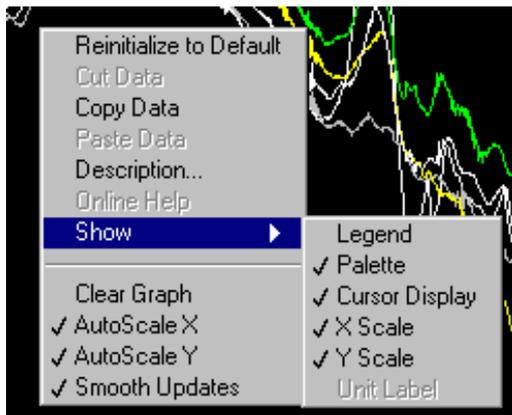


Figura 49: Pop-up menu do gráfico

Algumas das opções são iguais às de pop-up's de outros tipos de controlo. Particularmente útil é a cópia de dados ("Copy Data"), que fornece um *bitmap* com a área do gráfico e todos os elementos que lhe estão associados e que estejam visíveis de momento, que se pode colar noutra aplicação qualquer, por exemplo para elaborar um relatório.

No que diz respeito às funções específicas para o gráfico, aparecem as seguintes opções:

Através do submenu "Show" é possível esconder ou mostrar diferentes elementos do gráfico: A legenda, a paleta do gráfico, o controlo dos cursores, as escalas e as unidades das grandezas representadas no gráfico. (Optou-se por não definir unidades, pois estas alteram-se conforme o tipo de sinal que estamos a representar).

Na segunda metade do menu é possível limpar o gráfico ("Clear Graph") e ligar ou desligar o ajuste automático de escalas ("AutoScale X" e "AutoScale Y", função igual à existente na paleta de controlo do gráfico).

A opção "Smooth Updates" possibilita a utilização de um "double buffer" para a actualização do gráfico, reduzindo a cintilação do mesmo. Esta "bufferização" pode ser útil em situações em que o gráfico sofre uma constante actualização, como por exemplo no "arraste" de sinais, mas aumenta o uso de memória.

III.7.5.4. O menu da legenda do gráfico

Estando seleccionada a visualização da legenda, é possível alterar diversas características do gráfico premindo o botão esquerdo do rato sobre o sinal cuja representação se quer alterar:

- "Common Plots": Permite a escolha de uma de várias configurações de gráficos que são utilizadas mais frequentemente.

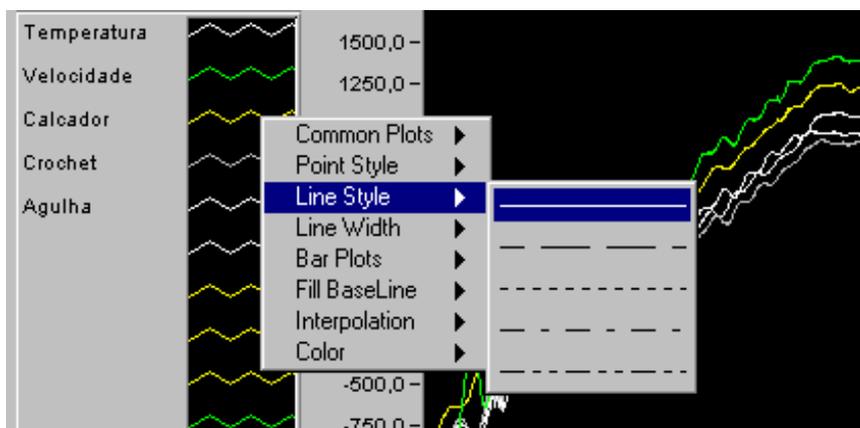


Figura 50: Menu da legenda do gráfico

- "Point Style": Aqui é feita a escolha entre diversos tipos de pontos para a visualização do gráfico. Dada que normalmente é grande a quantidade de

pontos amostrados no contexto desta aplicação, a utilização de pontos torna o gráfico confuso, pelo que não deve ser utilizada a representação de pontos (“Point Style=None”);

- **“Line Style”**: Tipo de linha a utilizar para unir cada dois pontos da aquisição;
- **“Line Width”**: Espessura das linhas;
- **“Bar Plots”**: Escolha de um tipo de gráfico de barras;
- **“Fill BaseLine”**: Permite preencher uma área do gráfico. Aqui é possível preencher uma área que está entre um determinado gráfico e a linha de zero, $-\infty$, $+\infty$ ou outro gráfico. Esta função pode servir, por exemplo, para realçar a diferença entre dois sinais.
- **“Interpolation”**: Serve para determinar se e como é traçada uma linha entre dois pontos;
- **“Color”**: Permite alterar a cor do gráfico.

Todos os parâmetros que aparecem neste menu são ajustados individualmente para cada um dos sinais representados.

III.7.6. Menu gráfico

O menu gráfico apresenta diversas opções para a manipulação da área gráfica, que se apresentam de seguida:

III.7.6.1. Opção “Redesenhar”

Esta opção permite fazer a actualização do gráfico quando, por exemplo, se altera a marcação dos sinais a serem visualizados. Se o banco de registos de entrada estiver marcado para visualização, então serão redeseenhados todos os sinais nele contidos. Caso contrário serão visualizados no gráfico os sinais do banco de registos permanentes que estiverem marcados.

A actualização é feita de modo automático em situações como a finalização de uma nova aquisição, a abertura de um ficheiro ou a alteração dos valores de calibração de sensores num sinal.

III.7.6.2. Opção “Apagar cursor”

Apaga todos os cursores colocados sobre o gráfico. Em alternativa, esta operação pode ser efectuada no pop-up menu do controlo de cursores, através da opção “Empty Array”.

III.7.6.3. Opção “Grelha”

Através deste item do menu é possível acrescentar ao gráfico uma grelha da escala x ou y. Numa janela própria, o utilizador pode escolher a cor desejada para cada uma das grelhas. Para tal, basta premir o botão esquerdo do rato sobre a área do controlo de cor existente para cada uma das grelhas e escolher a cor desejada, premindo de seguida o botão “OK”.

III.7.6.4. Opção “Cor de fundo”

Faz a escolha de uma cor de fundo do mesmo modo descrito para a cor da grelha.

Para visualização de gráficos no monitor do PC, aconselha-se um fundo preto, já na impressão um fundo de cor leve é mais apropriado.

III.7.6.5. Opção “Imprimir”

Esta opção dá ao utilizador a possibilidade de fazer uma impressão do gráfico visualizado de momento.

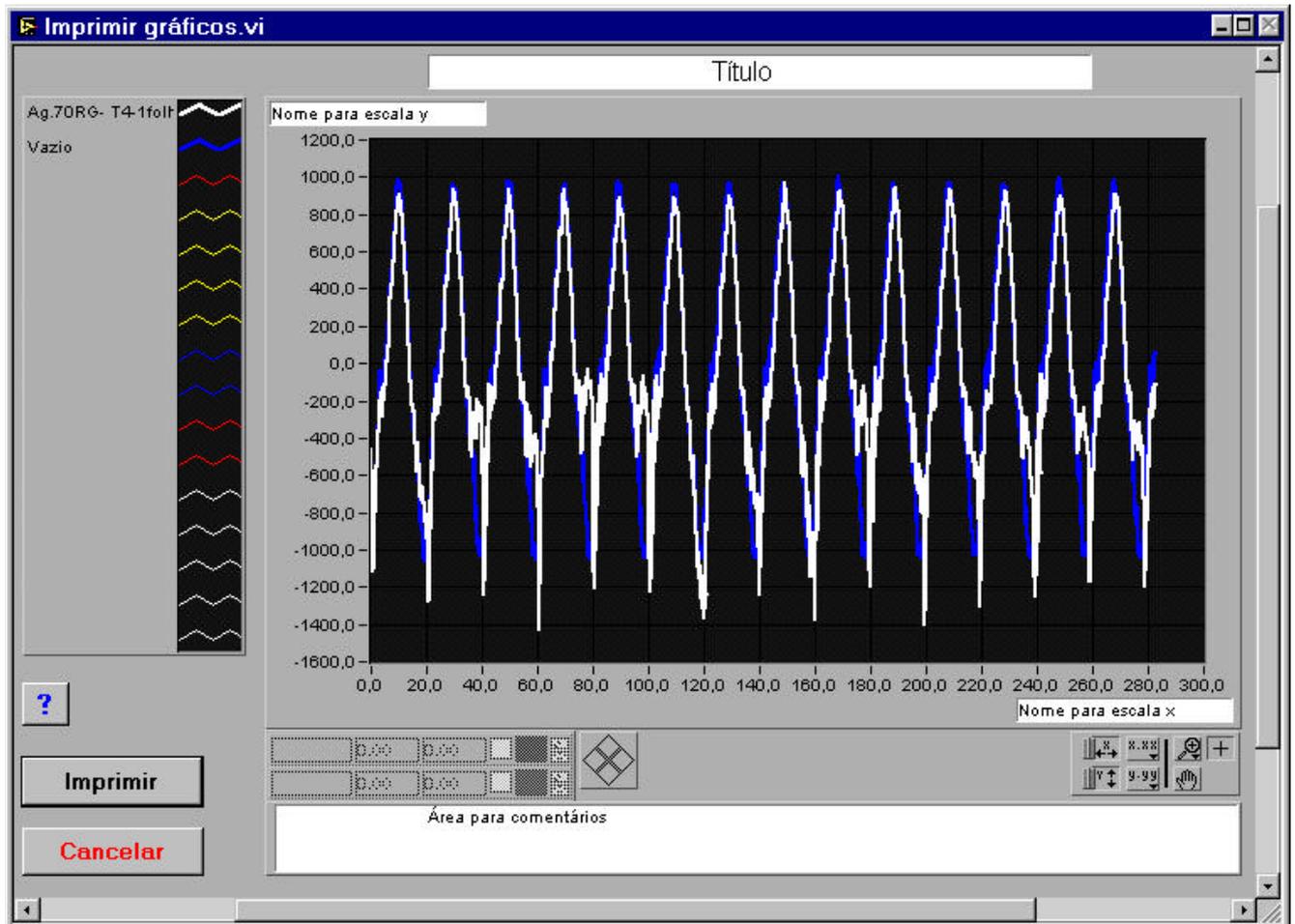


Figura 51: Painel de impressão de gráficos

Para se efectuar a impressão, é aberto um painel de impressão (figura 51), em que o utilizador pode acrescentar um título, nomes para as escalas x e y, e comentários que deseje ver impressos.

III.7.6.6. Opção “Janela”

Aqui pode ser aberto um painel com o gráfico que está actualmente a ser visualizado no painel principal. Esta opção poderá ser útil para comparar dois gráficos, ou para aumentar ligeiramente a área do gráfico. Para fechar este painel, utilizam-se os elementos próprios de janelas do sistema operativo.

III.7.6.7. Opção “Converter p/digital”

Sendo a escala y visualizada normalmente em termos de valores reais de força aplicados nos sensores, pode aqui fazer-se a reconversão para valores digitais.

III.8. O painel de osciloscópio

Como já foi referido anteriormente, o painel de osciloscópio permite uma visualização on-line dos sinais, sendo possível ajustar diversos parâmetros de configuração de uma forma mais conveniente.

Neste painel, os valores com que os sinais são visualizados não são convertidos em valores de força, isto é, são valores digitais obtidos directamente dos circuitos de conversão A/D da placa de aquisição. É assim possível verificar se os sinais estão dentro da gama de codificação da placa (12 bits bipolar: -2047 a 2047), reajustando-se os ganhos conforme necessário.

Tendo já sido abordados os parâmetros de configuração e as características do hardware, é fácil perceber o funcionamento deste painel, que se encontra representado de seguida:

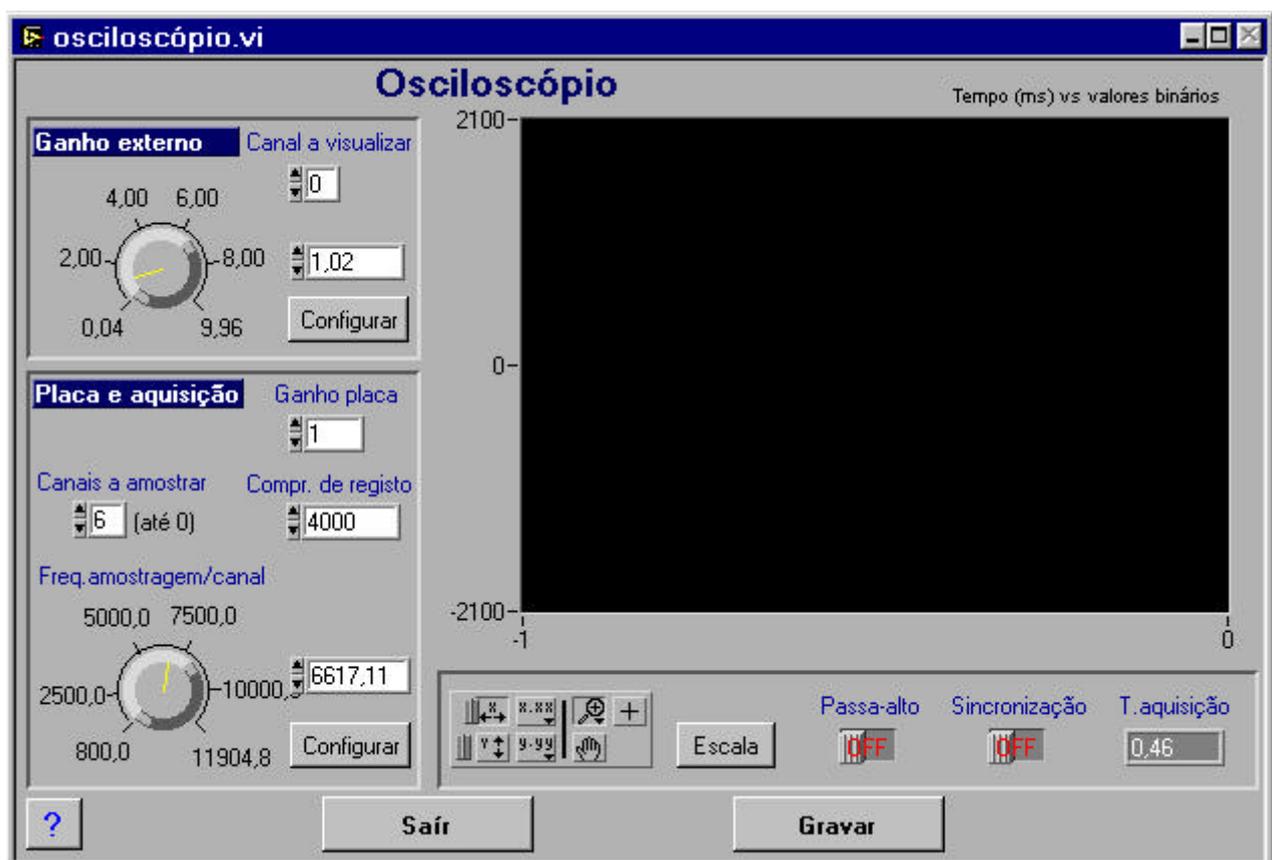


Figura 52: Painel de osciloscópio

A parte esquerda deste painel controla o seu funcionamento. Alguns dos parâmetros aí ajustáveis são parâmetros de configuração que aqui se dividem em dois grupos:

- A configuração do condicionador externo, em que pode ser ajustado o **ganho externo** do canal visualizado de momento (escolhido em “**Canal a visualizar**”);
- A configuração da placa LAB-PC e da aquisição, em que se podem alterar o **ganho da placa**, o **número de canais a amostrar**, o **comprimento de registo** e a **frequência de amostragem por canal**.

Cada uma destas duas zonas contém o botão “**Configurar**” que, quando premido, provoca a passagem dos valores ajustados no painel para a configuração do sistema.

A nova configuração pode ser gravada de imediato, saíndo-se do painel através do botão “**Gravar**”, ficando em memória se se utilizar o botão “**Sair**”.

Este painel só visualiza um canal de cada vez, sendo este escolhido no controlo “**Canal a visualizar**”. Naturalmente o canal a visualizar deverá sempre ser de índice igual ou inferior ao número de canais a amostrar, já que a placa adquire somente os canais de índice igual e inferior ao que aí está configurado.

Do lado direito do painel encontramos o gráfico, cuja manipulação já foi analisada. No painel de osciloscópio, o gráfico não contém o controlo de cursores nem pop-up menu, elementos que são desnecessários para os objectivos deste painel.

Foram acrescentados alguns controlos e indicadores úteis para a utilização deste painel:

- O botão de **Escala** permite rapidamente ajustar a escala y de modo a ficar entre os limites de -2100 a 2100 , o que pode ser útil para verificar se deve ser reajustado o ganho para o canal em questão;
- O interruptor de **Passa-alto** comuta os filtros passa-alto existentes nas placas de condicionamento. Esta função pode ser utilizada para testar o funcionamento desses filtros, ou como um comutador de acoplamento AC/DC semelhante ao de um osciloscópio real;
- O interruptor de **Sincronização** determina se o osciloscópio faz uma aquisição contínua ou se esta é iniciada pelo sinal de sincronismo da máquina. Neste último caso, as aquisições iniciam-se sempre no flanco ascendente da máquina, o que estabiliza o sinal no gráfico. No entanto, na ausência de sinal de sincronismo, o gráfico apresentar-se-á vazio. Note-se que as aquisições feitas a partir do painel principal são sempre iniciadas pelo sinal de sincronismo;
- O indicador de **Tempo de aquisição** mostra o tempo necessário para uma aquisição com a frequência de amostragem e comprimento de registo ajustados de momento. Este tempo inclui somente a aquisição propriamente dita. A actualização do gráfico é, na realidade, um pouco mais lenta, pois uma operação de amostragem envolve não só a aquisição, como também a programação das placas externas, e o desenho do próprio gráfico. Um tempo de aquisição demasiado alto pode tornar a execução do painel lenta, e obriga o utilizador a produzir costuras muito longas em aquisição real. Para indicar esta situação, o indicador muda de cor conforme o tempo de aquisição calculado: fundo cinzento com letra vermelha entre 1 e 5 segundos, fundo vermelho com letra amarela quando o tempo é superior a 5 segundos.

III.9. O painel de calibração de sensores

III.9.1. Descrição geral do painel e do método de calibração

Foi escolhido um método de calibração muito simples para os diversos sensores em questão. Neste método, o utilizador aplica sobre o sensor uma força conhecida, fazendo-se depois uma leitura do valor digital que é lido pela placa. Se esta medida for feita num mínimo de dois pontos, é possível, por regressão linear, obter a recta de calibração para o sensor, pois encontram-nos em presença de sensores lineares. No caso concreto do sistema presente, e dado que todos os condicionadores têm um ajuste manual de zero na placa, é ainda necessário ser feita a leitura desse zero ajustado (ver III.9.2).

É também importante fazer a distinção entre a calibração de sensores extensiométricos e piezoeléctricos. Enquanto que os circuitos condicionadores dos primeiros, perante aplicação de uma força, mantêm um valor de saída estável, no segundo caso a saída decai. Este tipo de sensores só reagem a variações de força. Como já foi convenientemente descrito em II.5.7, utilizam-se detectores de pico para “memorizar” o valor produzido pela aplicação de força.

No painel de calibração os aspectos relacionados com o tipo de sensor são transparentes para o utilizador. Desde que o canal calibrado esteja correctamente configurado, o software adapta o processo de calibração correspondentemente.

Mas o utilizador deve ter em mente que para a calibração dos sensores piezoeléctricos são utilizados detectores de pico, o que tem as seguintes implicações:

- Os valores obtidos mediante a aplicação de uma força reflectem somente variações de força, e não um valor absoluto;
- Os detectores de pico têm uma saída que decai lentamente, pelo que a leitura deve ser iniciada logo após a aplicação da força.

No intuito de filtrar possíveis instabilidades ou ruído do sinal, são feitas múltiplas leituras para cada valor de força, com número e frequência de amostragem ajustáveis, tirando-se a média de todas as leituras para o cálculo da calibração.

III.9.2. Factores de calibração e fórmulas de conversão

Para se compreender melhor o processo de calibração, será agora analisado o cálculo dos valores de força a partir de valores digitais e todos os factores intervenientes, começando-se por uma pequena introdução teórica.

Dado estarmos em presença de sensores lineares, existe uma função linear

$$D = f(F) \tag{6}$$

ou

$$D = m \times F + b \tag{7}$$

em que

D : valor digital lido

F : Força aplicada

m : inclinação da recta de calibração

b : intercepção da recta de calibração com o eixo dos yy

que descreve a relação entrada-saída do sistema de medida.

A seguinte figura mostra uma recta de calibração deste tipo:

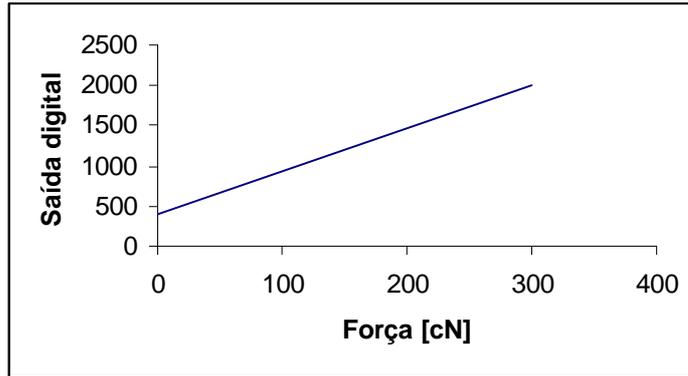


Figura 53: Recta de calibração

O valor digital obtido no final da cadeia de amplificação é uma função linear da força aplicada.

O sistema apresenta um *offset*, que na recta se traduz pelo seu ponto de intercepção com o eixo dos yy (parâmetro b) e um determinado ganho, representado pela inclinação da recta, ou seja, o parâmetro m .

Note-se que o parâmetro m depende do ganho (amplificação) do condicionador de sinal, enquanto que b é o valor de saída quando a força aplicada é nula (como se verá é também dependente dos ganhos utilizados).

O sistema de medida descrito neste trabalho, embora do mesmo tipo que o que se apresentou, é um pouco mais complexo, pois tem ganhos e offsets ajustáveis. Para deduzir as fórmulas de conversão aplicáveis neste caso, toma-se o seguinte diagrama de blocos como auxílio:

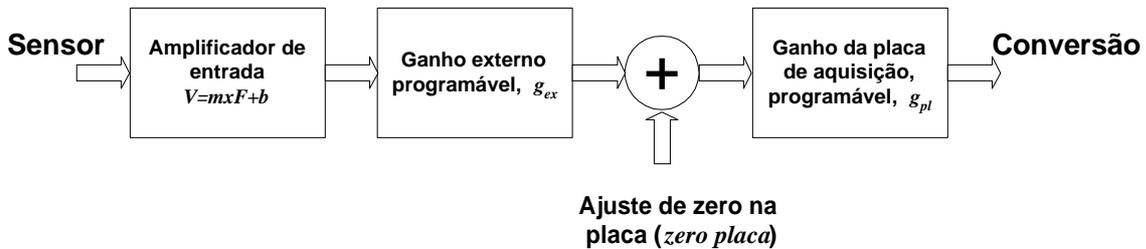


Figura 54: Diagrama de blocos do sistema de medida

Neste diagrama são visíveis todos os factores intervenientes na transformação do sinal obtido pelo sensor num valor de tensão que será convertido em valor digital pelo conversor A/D da placa de aquisição.

Assim, depois de ter passado pelo amplificador de entrada, o sinal relaciona já o valor de força com um valor de tensão por meio de um factor m e um factor b .

Este sinal é amplificado no condicionador externo com um ganho g_{ex} escolhido pelo utilizador. O ajuste de zero manual na placa de condicionamento, *zero placa*, é somado a esse sinal.

Finalmente, o sinal entra na placa de aquisição, onde é também possível aplicar um ganho programável, g_{pl} , sendo depois convertido para um valor digital.

Assim sendo, as seguintes expressões relacionam força com valores de tensão apresentados ao conversor A/D da placa de aquisição:

$$V_o = ((m \times F + b) \times g_{ex} + zero_{placa}) \times g_{pl} \quad (8)$$

$$V_o = m \times F \times g_{ex} \times g_{pl} + b \times g_{ex} \times g_{pl} + zero_{placa} \times g_{pl} \quad (9)$$

O valor de tensão assim presente para conversão A/D é ainda multiplicado por um factor f de conversão, transformando-se num valor digital. Sendo este valor digital o que nos interessa encontrar, redefinimos os factores m , b e *zero placa* de modo a incluir neles o factor de conversão, chegando a

$$D = m \times F \times g_{ex} \times g_{pl} + b \times g_{ex} \times g_{pl} + zero_{placa} \times g_{pl} \quad (10)$$

A observação da expressão (10) leva-nos a concluir que o processo de calibração simples, descrito no início deste capítulo, em que seriam necessários somente dois pontos para obtenção da recta de calibração, não é suficiente para o sistema que se desenvolveu. É necessário determinar m , b e *zero placa*.

A determinação destes factores de calibração vai permitir um armazenamento dos mesmos e uma conversão Digital/Força independente dos ganhos configurados de momento.

O primeiro passo será determinar *zero placa*, o que pode ser conseguido fazendo

$g_{ex}=0$, e ficando a expressão (10):

$$D = zero_{placa} \times g_{pl} \quad (11)$$

De seguida, deverá ser medido o factor b . Tomando

$F=0$, a expressão (10) transforma-se em

$$D = b \times g_{ex} \times g_{pl} + zero_{placa} \times g_{pl} \quad (12)$$

Sendo *zero placa* já conhecido, é possível determinar agora o parâmetro *b*.

Finalmente procede-se ao cálculo de *m*. Para tal, basta calcular a inclinação da recta descrita por (10), resultado directo da regressão linear efectuada sobre os pontos obtidos ao aplicar diferentes forças sobre o sensor.

A inclinação dessa recta

$$m \times g_{ex} \times g_{pl} \quad (13)$$

leva ao cálculo de *m*.

Os factores *m*, *b* e *zero placa* assim calculados são armazenados na configuração do sistema, sendo possível no final da aquisição, e perante os ganhos configurados de momento, transformar valores digitais em valores de força:

$$F = \frac{D - zero_{placa} \times g_{pl} - b \times g_{ex} \times g_{pl}}{g_{ex} \times g_{pl} \times m} \quad (14)$$

Ao alterar-se os factores de calibração ou valores de ganhos de um sinal na sua informação, o software recalcula os valores de força, calculando primeiro os valores digitais originalmente medidos (10), e convertendo para valores de força com base nos novos parâmetros (14).

III.9.3. Caso particular de sensores piezoeléctricos

Uma ressalva importante a todo este processo de cálculo é o facto de a natureza dos sensores piezoeléctricos e os circuitos de condicionamento a eles associados apresentarem uma resposta em frequência do tipo passa-alto. Este comportamento traduz-se no facto de os sinais fornecidos por este tipo de sistema terem média nula, seja qual for a amplitude e forma do sinal. No caso concreto deste sistema, os sinais de sensores piezoeléctricos irão sempre variar em torno do ajuste de zero no canal respectivo.

Os valores de força calculados por este método têm pois que ser interpretados em termos relativos, nunca em termos absolutos. O cálculo da variação de força existente é correcto, mas a leitura de um valor absoluto de força num determinado instante de tempo não o é, pois não existe um nível médio no sinal, mesmo que a força aplicada ao sensor o contenha.

Este comportamento não é muito relevante no caso da medição da força sobre a barra de agulha, que é uma força puramente dinâmica. Mesmo na presença de tecido, que introduz uma média não nula no sinal, o efeito é negligenciável, dado que a

informação a obter deste sinal (a interacção agulha-material) é inerentemente dinâmica.

Já no que diz respeito à força sobre o calcador, é importante considerar o exposto. Neste caso existe um valor de pré-ajuste de força inicial (estático e não-mensurável), e além disso encontramos em presença de uma força que só assume valores positivos, pelo que tem uma média positiva que será eliminada pelo sistema de medida.

A resolução deste inconveniente passa pela determinação do valor estático de pré-ajuste de força e do valor médio da componente dinâmica desta força. Conhecidos estes dois factores, é possível corrigir o sinal de modo a obterem-se valores absolutos.

Outra solução é a redução da frequência de corte inferior a níveis muito baixos, o que permitia ter aquisições em que o nível médio de sinal decairia lentamente, causando um erro desprezável. Esta solução exige componentes electrónicos que não estavam ainda disponíveis na altura da conclusão neste trabalho, mas a que se dedicará alguma atenção no futuro.

III.9.4. Descrição do painel. Método de calibração

O painel de calibração encontra-se representado na figura 55.

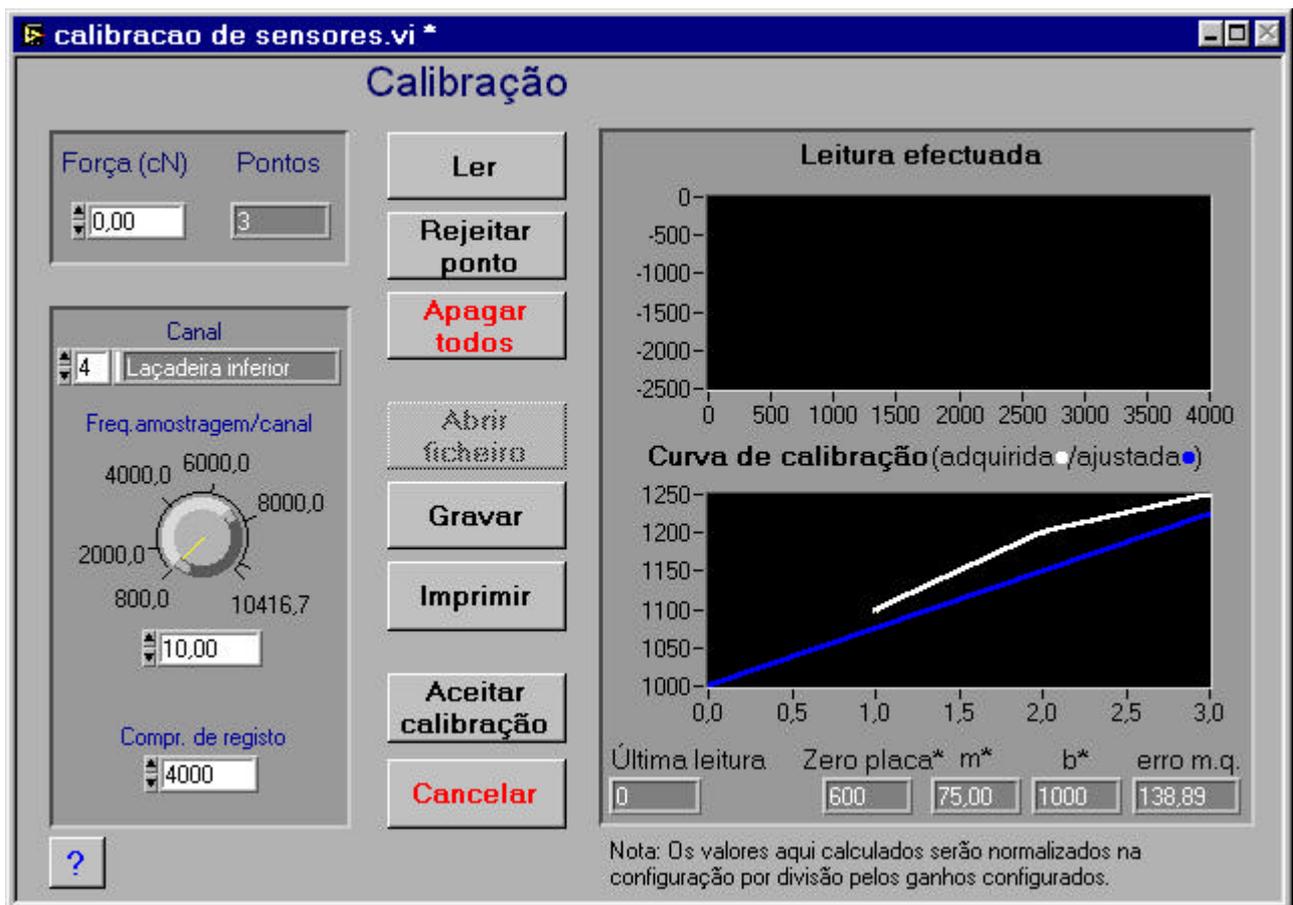


Figura 55: Painel de calibração de sensores

Este painel está dividido em três áreas:

- No lado esquerdo, uma área em que são controlados alguns parâmetros do processo de calibração;
- Uma área central de botões;
- Uma área de indicação de resultados que se encontra do lado direito.

O processo de calibração consiste na leitura de diversos valores de força, para cálculo do factor m , e da leitura de um valor de força nulo, em que o software fará a medição de b e *zero placa*.

As leituras são feitas nas mesmas condições de uma leitura em aquisição normal, isto é, é feita uma aquisição de um determinado número de pontos a uma determinada frequência de amostragem. No entanto, o início desta leitura não necessita do sinal de sincronismo.

Na área esquerda deste painel é feita a escolha do número de pontos a adquirir (**comprimento de registo**) e da frequência de amostragem (**frequência de amostragem/canal**) a utilizar. O utilizador indica também aqui o **canal** em que deve ser feita a calibração, bem como o valor de **força** que vai aplicar sobre o sensor.

O indicador “**Pontos**” mostra o número de pontos (de força não-nula) já adquiridos durante o processo actual.

Nos botões da área central é controlada a calibração.

O botão “**Ler**” inicia a leitura de um valor. Duas situações podem aqui ocorrer:

- O valor de força é maior que 0: Nesse caso uma caixa de diálogo avisa o utilizador para aplicar força sobre o sensor e premir o botão “OK” quando o tiver feito (figura 56). A obtenção de um mínimo de dois pontos com valores de força não-nulos permite o cálculo do factor m^* . No caso de sensores piezoeléctricos, é conveniente que a leitura seja iniciada logo após a aplicação da força para evitar a descarga do detector de pico;
- O valor de força é nulo: O software faz, sequencialmente, a leitura de *zero placa** e b^* .

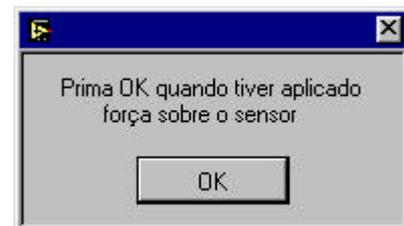


Figura 56: Leitura de força aplicada

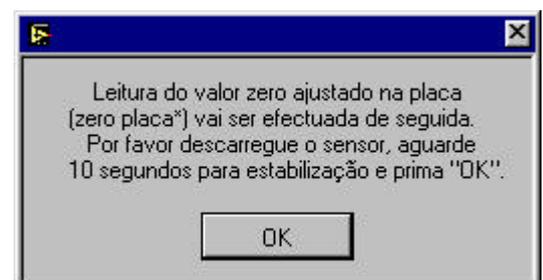


Figura 57: Leitura de *zero placa**

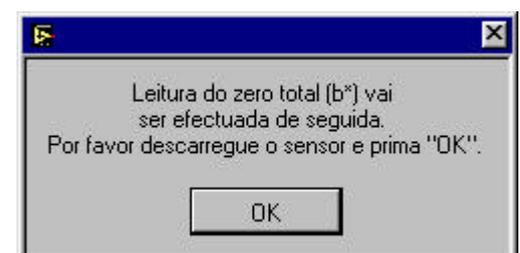


Figura 58: Leitura de b^*

A definição e relação entre *zero placa**, *b** e *m** com os factores *m*, *b* e *zero placa* anteriormente definidos é explicada de seguida.

O painel de calibração “vê” o canal que calibra como tendo a seguinte relação entrada-saída:

$$D = m^* \times F + b^* \quad (15)$$

em que

$$b^* = off_c + zero_{placa}^* \quad (16)$$

O valor *off_c* corresponde ao offset natural do conjunto condicionador-sensor, enquanto que *zero placa** é o valor de tensão que é somado ao sinal e que pode ser ajustado pelo utilizador.

Como tal, são feitas medidas para determinar *m**, *zero placa** e *b**. Só quando a calibração é aceite é que são normalizados estes factores conforme a definição anterior. Assim sendo, as correspondências entre os factores indicados neste painel e as definidas anteriormente são as seguintes:

$$m^* \Leftrightarrow m \times g_{ex} \times g_{pl} \quad (17)$$

$$b^* \Leftrightarrow b \times g_{ex} \times g_{pl} + zero_{placa} \times g_{pl} \quad (18)$$

$$off_c \Leftrightarrow b \times g_{ex} \times g_{pl} \quad (19)$$

$$zero_{placa}^* \Leftrightarrow zero_{placa} \times g_{pl} \quad (20)$$

O factor *b** corresponde portanto, a um offset total, e todos os valores vêm afectados dos ganhos configurados no momento.

Esta correspondência é fácil compreender ao analisar o processo de cálculo dos factores de calibração (ver III.9.2).

A função dos restantes botões compreende-se facilmente, bastando uma explicação sucinta:

- Em “**Rejeitar ponto**” pode ser apagado o último ponto adquirido;
- “**Apagar todos**” elimina todos os pontos adquiridos, podendo-se voltar ao início do processo;
- “**Abrir ficheiro**” abre um ficheiro de calibração, que é um ficheiro de texto simples com os pontos adquiridos durante um processo de calibração (ver III.11.2). Os pontos contidos num ficheiro de calibração são as leituras efectuadas com a configuração de ganhos presente no software na altura dessa calibração. É importante ter em mente que se se desejar acrescentar novas leituras devem

utilizar-se os mesmos valores de ganho, pois naturalmente que estes valores afectam o resultado das leituras.

- “**Gravar ficheiro**” permite gravar um ficheiro de calibração, seja para continuar a calibração numa próxima sessão, ou para guardar a informação sobre a calibração.
- “**Imprimir**” permite abrir uma janela de impressão, à semelhança da impressão de gráficos no menu principal.

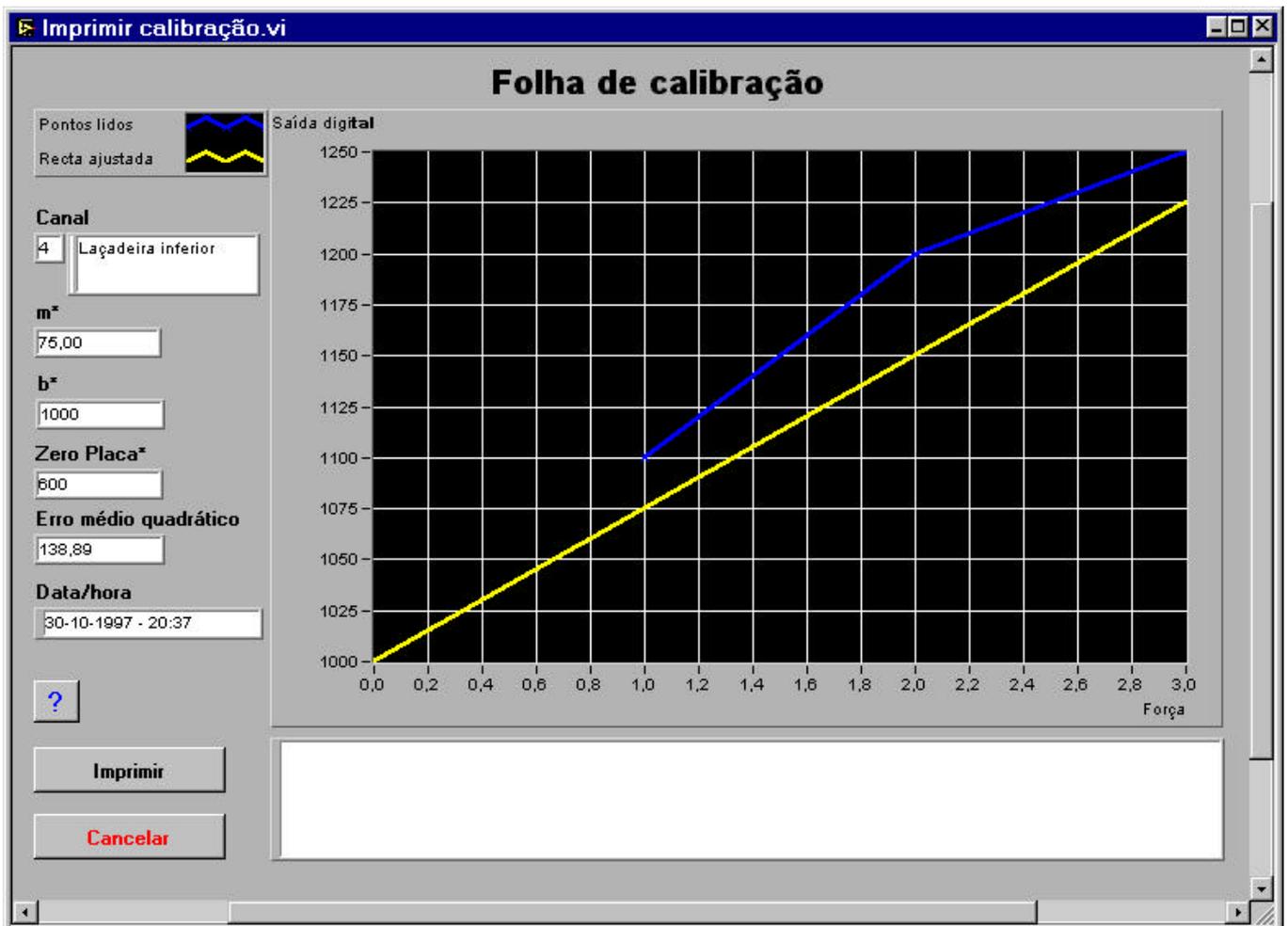


Figura 59: Impressão de gráficos de calibração

- Através dos botões “**Cancelar**” ou “**Aceitar calibração**” o utilizador pode interromper ou efectivar a calibração efectuada.

No lado direito do painel encontra-se a área de indicação:

- A **última leitura efectuada** é visível no gráfico superior;
- O gráfico inferior mostra duas curvas: Uma é formada pelos **pontos adquiridos** até ao momento durante o processo de calibração, excluindo os valores obtidos com

força nula. É com base nestes pontos que é calculado m^* . A segunda é **uma curva ajustada** a partir dos valores disponíveis de m^* e b^* .

- Na parte inferior são indicados os valores de m^* , b^* e *zero placa**, bem como a **média da última leitura** e o **erro médio quadrático** da regressão linear.

As curvas de calibração reflectem o estado actual da obtenção dos factores de calibração.

A recta ajustada aparecerá com uma intersecção do eixo dos yy no ponto b^* , e com uma inclinação m^* .

A curva construída a partir dos pontos adquiridos com força maior que zero deve tendencialmente apresentar uma inclinação de m^* . Este gráfico só inclui valores de força maiores que zero. Se o sensor for do tipo extensiométrico com boa linearidade, o seu prolongamento na direcção do eixo dos yy cairia no ponto b^* .

Se, no entanto, o sensor for piezoeléctrico, este prolongamento iria cair num valor próximo de zero. Os valores fornecidos pelos detectores de picos representam variações de força e servem somente para o cálculo de m^* . Se a variação de força for nula, o valor de saída reduzir-se-à ao offset natural do detector de pico (que idealmente é nulo). Por esta razão o valor b^* , obtido para $F=0$ sem detector de pico, não pode ser incluído na regressão linear para cálculo de m^* .

III.9.5. Calibração parcial – Correção de zero

O painel de calibração permite a correcção da calibração, isto é, permite fazer a correcção só dos valores de b e *zero placa*, ou só do valor de m .

As seguintes situações podem levar à correcção do zero:

- Aquando do reajuste do ganho externo de um canal é aconselhável fazer uma correcção do zero para garantir a exactidão de medida, pois essa correcção permitirá a compensação de alguns offsets variáveis com o ganho;
- É aconselhável uma correcção de zero periódica para compensar eventuais derivas mecânicas dos sensores;
- O reajuste manual do zero da placa tem que ser necessariamente acompanhado de uma correcção de zero.

A correcção do factor m por si só não é uma situação comum, embora possível. Poderia ser utilizada quando se reajusta o ganho do condicionador no potenciómetro de ajuste manual. Mas nesse caso também o offset do amplificador de entrada vai ser sujeito a uma amplificação diferente, pelo que a calibração deve ser repetida por completo.

Para efectuar a correcção de zero basta fazer uma leitura com valor de força nulo e aceitar a calibração. O software pede confirmação da aceitação dos novos valores b e *zero placa* (figura 60).

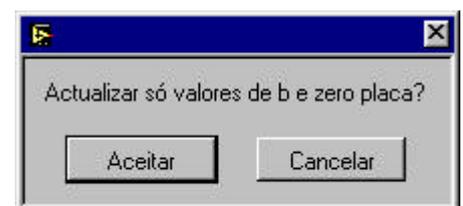


Figura 60: Correção de zero

Do mesmo modo, um processo de calibração em que não é feita nenhuma leitura com um valor de força nulo serve para corrigir m , surgindo o pedido de confirmação conforme a figura 61.

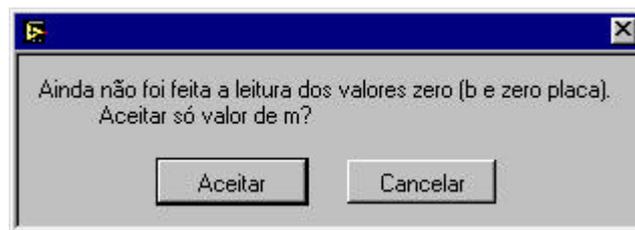


Figura 61: Correção de m

III.10. O painel de análise

III.10.1. Descrição geral do painel

O painel de análise divide-se em 4 subpainéis, cada um com um objectivo de análise:

- Cálculo de picos;
- Análise espectral;
- Filtragem digital;
- Miscelâneos.

A escolha de um destes 4 subpainéis, que irão ser detalhados mais adiante, é feita no controlo de lista “Análise” (figura 62).

Ao alterar-se a selecção nesta lista, o painel adapta-se ao tipo de análise a efectuar, consistindo esta adaptação na alteração dos controlos visíveis no lado esquerdo do painel.

A área superior deste lado esquerdo é, no entanto comum a todos os subpainéis. Aí, é feita opção sobre o tipo de análise a efectuar, existindo também uma lista de selecção múltipla com o conteúdo do banco de registos permanentes, um botão para apagar os registos seleccionados e outro para abrir o painel de alteração de informação sobre sinais, à semelhança do controlo de registos permanentes no painel principal.

Na lista de registos permanentes são escolhidos de uma forma directa os sinais a visualizar ou o sinal sobre o qual deve ser efectuada uma acção de análise. Enquanto que no gráfico podem ser visualizados diversos sinais em simultâneo, para uma operação de análise deve estar seleccionado um único sinal.

A actualização do gráfico é automática, isto é, ao modificar-se a selecção de registos ou de tipos de escala x, surge um redesenho do gráfico.



Figura 62: Escolha de um tipo de análise



Figura 63: Área comum a todos os subpainéis

Os controlos de gráfico e de tipo de escala x são semelhantes aos do painel principal. Novos são os botões “**Anterior**” e “**Próximo**”, que permitem avançar, na visualização de um registo, da seguinte forma:

- De ponto em ponto (período em período do sinal) no caso de a escala x ser em *ângulo*, ou seja, em avanços de 360° (só possível se houver informação sobre a velocidade de costura e frequência de amostragem) ;
- De harmónico em harmónico em harmónico no caso de uma escala x em *frequência normalizada* (só possível se houver informação sobre a velocidade de costura e frequência de amostragem);
- De ponto em ponto do registo no caso de uma escala de pontos discretos.

A manipulação do gráfico e de cursores contém a mesma funcionalidade já explicitada na descrição do painel principal.

Os seguintes capítulos farão uma explicação breve sobre a forma de utilização dos diversos subpainéis. Para uma análise mais profunda destes tipos de análise, pode ser consultado o capítulo IV.

Algumas das operações que serão apresentadas resultam em registos que poderão não ser do mesmo tipo que o sinal original. Sendo assim, é acrescentado um prefixo ao seu nome. A tabela 10 mostra as operações possíveis, o prefixo acrescentado ao sinal e o tipo de sinal que resulta da operação:

Operação	Prefixo	Tipo resultante
Espectro de potência	Pot(Sinal)	1
Módulo de espectro	Mod(Sinal)	2
Fase de espectro	Fase(Sinal)	3
Filtragem	Fil(Sinal)	0
Derivada	d(Sinal)	4
Energia	Enrg(Sinal)	5

Tabela 10: Tipos de operações de análise e alterações resultantes no nome e tipo de sinal

III.10.2. Detecção e cálculo de picos

A detecção de picos é uma tarefa comum na análise dos sinais obtidos da máquina de costura, por exemplo para detectar a força de contacto entre agulha e tecido em sinais de força sobre a barra de agulha, ou para detectar esforços máximos sobre a linha no caso de um sinal de tensão de linha. Estes dois exemplos são, porém, de natureza diferente.

No caso da detecção de picos num sinal de tensão de linha, procura-se o valor máximo do sinal numa determinada zona. Definimos este tipo de pico como um **pico absoluto**. A figura 64 mostra um pico (cursor amarelo) detectado na zona delimitada

pelas duas linhas azuis. O sinal provém do sensor de tensão de linha da laçadeira inferior.

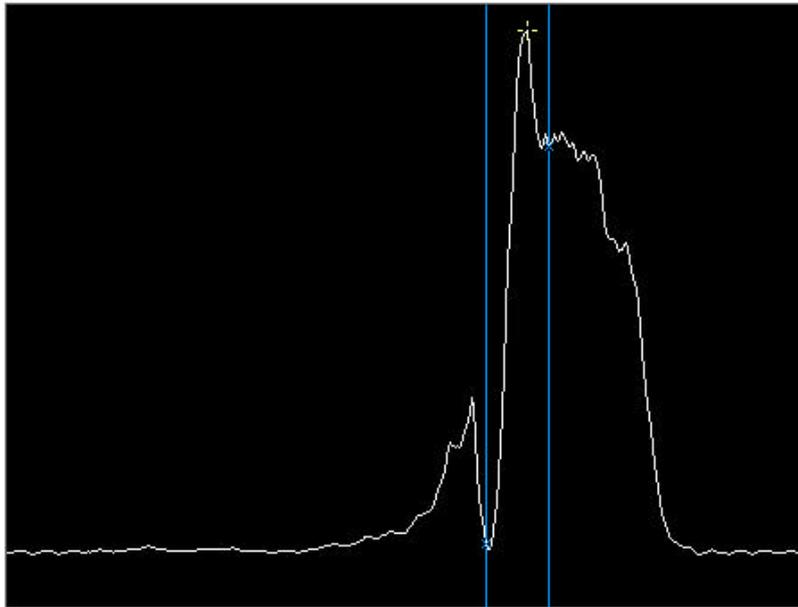


Figura 64: Pico absoluto

No caso do sinal de uma barra de agulha, há a necessidade de detectar e calcular o que se definirá como um **pico relativo**. Para melhor se perceber esta definição, é importante uma breve análise aos resultados de medições obtidas na barra de agulha.

A figura 66 mostra sinais obtidos em situações diferentes:

- Com a máquina a trabalhar em vazio, sem tecido
- Com a máquina a ser alimentada com tecido (mas sem ter linhas enfiadas);

É bastante simples concluir acerca do sinal que é obtido sem presença do tecido. A barra de agulha sofre, no seu movimento periódico oscilatório, uma força de aceleração sinusoidal. Algumas descontinuidades do sinal obtido mostram eventuais pontos de vibração ou imperfeição mecânica da máquina, cuja existência seria de esperar.

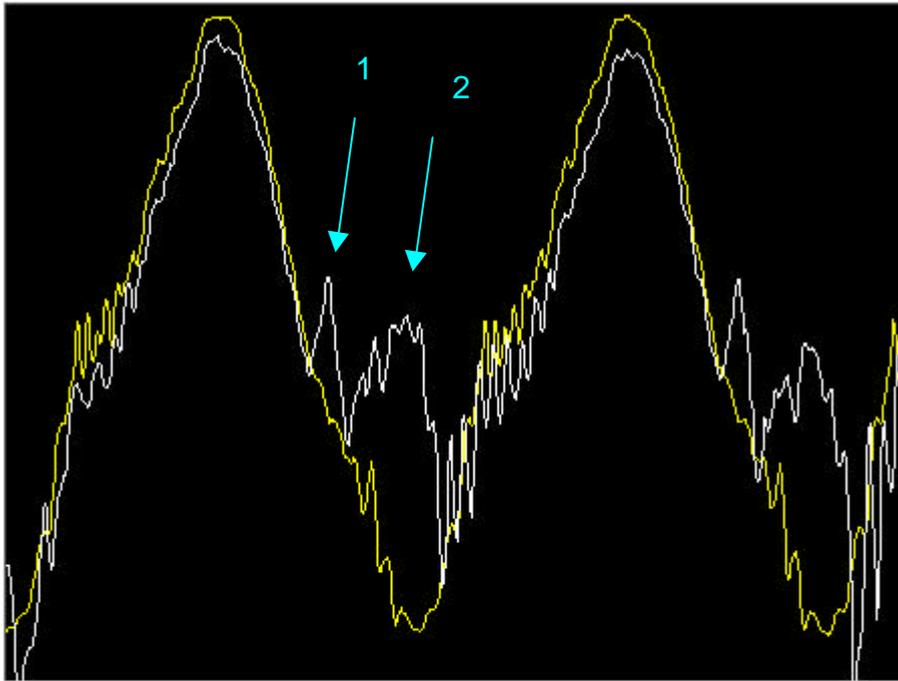


Figura 65: Sinais sobre a barra de agulha, com tecido (branco), sem tecido (amarelo)

Quando a máquina é alimentada com tecido, surge a interacção do tecido com a agulha. Os pontos (1) e (2) assinalados na figura 66 são os efeitos mais importantes dessa interacção.

Em (1), a ponta da agulha tem o seu primeiro contacto com o tecido, procurando afastar ou, caso menos desejável, entrar no fio que encontra. O pico gerado em (2) corresponde à penetração do corpo da agulha, estando esta já em pleno movimento de penetração. Estes dois efeitos naturalmente não são constantes, devido à estrutura do tecido, variando de ponto para ponto.

A força de impacto documentada em (1), responsável pela frequente quebra de fios do tecido, pode ser medida directamente. Uma análise mais profunda deste pico mostra que ele é do tipo que se definiu como **pico relativo**:

Como aqui surge um pico provocado por um efeito que se sobrepõe a outro, normalmente de amplitude maior, é necessário detectar os pontos em que o pico começa, desviando o sinal-base do seu curso normal, até que acaba. Esta detecção permitirá a definição da amplitude do efeito. A figura 66 mostra esta detecção, assinalada pelos cursores amarelos.

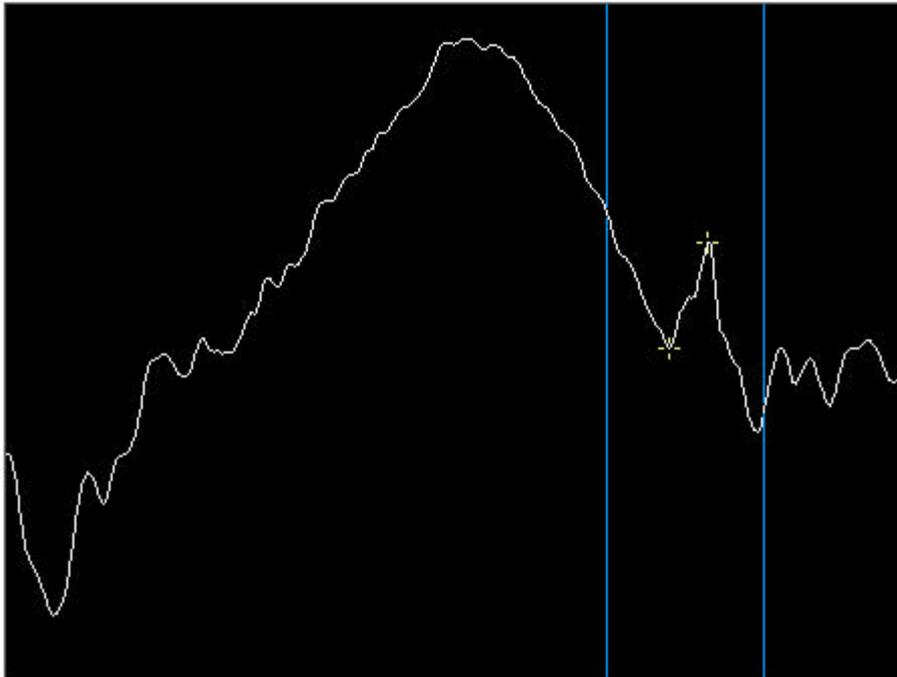


Figura 66: Pico relativo

A detecção do início e fim de pico é feito através de uma detecção da **passagem por zero da derivada** do sinal adquirido: O início do pico caracteriza-se por uma passagem da derivada de valores negativos para valores positivos, verificando-se a situação inversa no final do pico.

Apesar de este processo de detecção ser analisada em maior detalhe no capítulo **IV.3**, torna-se necessário aqui fazer uma breve explicação de como é calculada a derivada.

Teoricamente, uma derivada numérica de um sinal é calculada segundo a seguinte fórmula:

$$Der(n) = \frac{y(n) - y(n-1)}{\Delta t} \quad (21)$$

Este método de cálculo, em que é subtraído o valor do último ponto ao valor do ponto actual é a forma mais simples de obter uma derivada. No entanto, devido à existência de ruído, descontinuidades e oscilações no sinal, a derivada assim calculada apresenta muitas passagens pelo zero, que poderiam ser falsamente interpretadas como o início/fim do pico.

Para eliminar este problema, é feito um cálculo em que a derivada em cada ponto é uma **média de derivadas** na sua vizinhança.

O utilizador pode influenciar o cálculo da derivada, tornando-a mais ou menos sensível, com dois parâmetros:

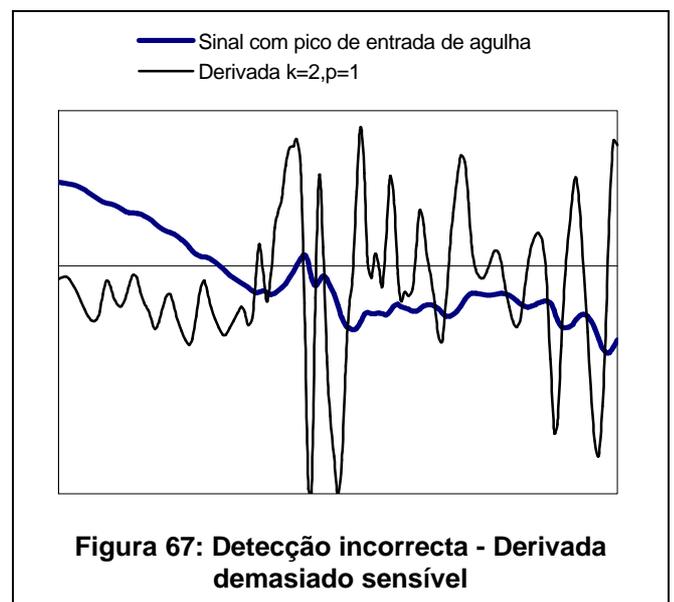
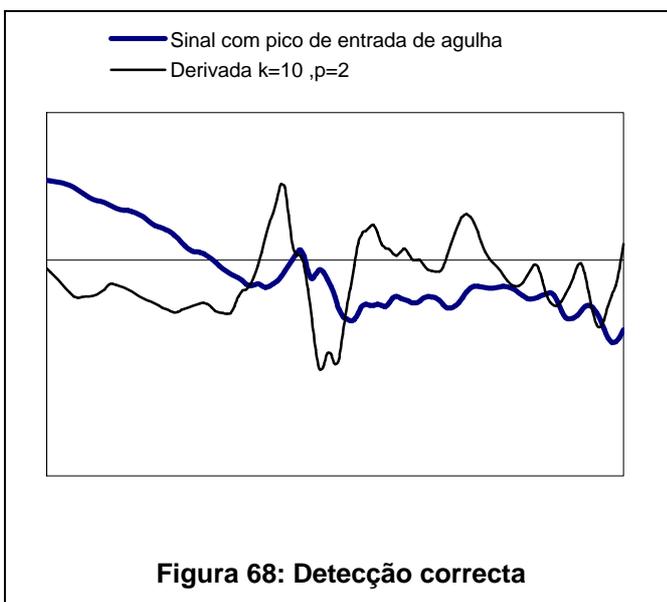
- k : Número de derivadas na vizinhança a incluir no cálculo da derivada no ponto n ;

- p : Distanciamento entre pontos para o cálculo das expressões tipo (21). Em (21), subtraem-se pontos vizinhos ($p=1$). Com o parâmetro p podem distanciar-se mais as amostras entre as quais se faz a subtracção.

É possível visualizar ou até registar a derivada calculada, de modo a que se possa “afiná-la” para cada caso.

As figuras seguintes mostram dois casos em que é visível a diferença entre um cálculo mais ou menos “sensível” da derivada. No caso da figura 68, o início do pico é bem detectado, mas logo a seguir a derivada passa novamente pelo zero, o que seria falsamente tomado como o fim do pico.

Ao calcular médias da derivada, esta é como que filtrada, sendo a detecção de início e final do pico feitas correctamente (figura 67).



A experiência prática obtida na experimentação com diversos sinais de força sobre a barra de agulha tem demonstrado que na maioria dos casos $k=10$ e $p=2$ é uma configuração que produz bons resultados. O utilizador quererá aumentar a sensibilidade da derivada, diminuindo k , em sinais em que os picos a detectar sejam pequenos.

Note-se que k deverá ser um número par, e p nunca deverá ser maior que k . A subrotina de cálculo faz as devidas correcções caso essa condição não se verifique. A derivada mais sensível será, assim, com $k=2$ e $p=1$.

O software procura deste modo os dois primeiros zeros na zona de detecção de pico definida pelo utilizador, colocando um cursor sobre o ponto onde se verifica o zero. Isto significa que também é possível detectar picos que surgem de forma inversa, isto é, em que o efeito a medir em vez de contrariar o decrescimento do sinal, contraria o seu crescimento. Esta situação verifica-se por vezes na força gerada pelo olhal da agulha aquando da sua retirada do tecido.

O processo de detecção e cálculo de picos, no seu subpainel, segue os passos representados esquematicamente na figura 69:

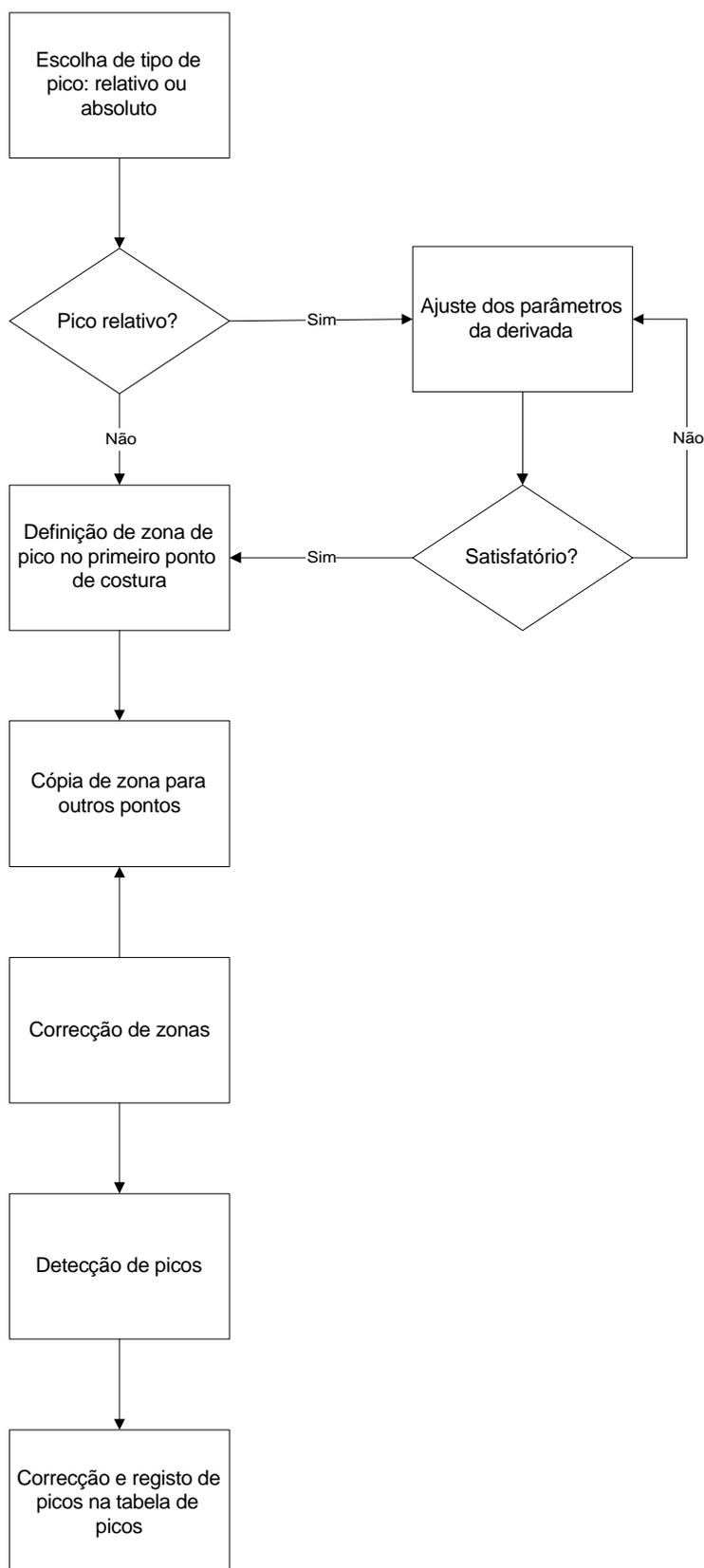


Figura 69: Processo de análise de picos

- O utilizador escolhe o tipo de pico a detectar;
- No caso de picos relativos pode verificar os parâmetros de cálculo da derivada, visualizando-a sobre o sinal que pretende analisar;

- Define no primeiro período do sinal, ou seja, no primeiro ponto de costura dado na aquisição, uma zona em que deve ser detectado o pico;
- Copia essa definição de zona para os restantes períodos do sinal;
- Verifica se todos os picos a detectar se encontram dentro das zonas definidas;
- Inicia a detecção de picos por parte da subrotina desenvolvida;
- Verifica e corrige, caso necessário, os picos detectados;
- Inicia o cálculo e registo dos picos detectados, que serão acrescentados a uma tabela de picos, como será mostrado mais adiante.

Resta apenas uma explicação sobre os controlos do subpainel de detecção de picos para ficar completa esta descrição.



Figura 70: Controlos do subpainel de detecção de picos

A área central dos controlos contém as ferramentas de manipulação de cursores.

O botão “**Par**” acrescenta um par de cursores de cor azul no centro do gráfico, servindo este par de cursores para definir uma zona de detecção de picos. O utilizador pode agora, seleccionando na paleta de controlos de gráfico a ferramenta de arraste de cursores, colocar as zonas conforme deseje. A ordem dos cursores é indiferente, desde que se encontrem no primeiro ponto de costura (primeiro período do sinal, entre 0° e 360°).

Estando definidos as zonas de detecção de picos no primeiro período, podem ser definidas as zonas para o registo inteiro, por cópia, ou *réplica* das já definidas. Esta réplica é feita no botão “**Replicar**”. No final dessa réplica, é possível verificar se as zonas estão correctas. Esta verificação é aconselhável, pois a divisão do sinal em períodos é inexacta, na medida em que a velocidade de costura não é perfeitamente estável. Correções podem ser feitas arrastando os cursores. Podem até ser acrescentadas novas zonas.

No final desta operação, o software entende como uma zona de detecção de picos, cada par de cursores consecutivos. A sua ordem e tipo (cor, tipo de ponto, etc.) são indiferentes, mas deverão ser em número par.

Com os botões “**Apagar**” e “**Apagar Todos**” é possível eliminar o último cursor acrescentado, ou todos os cursores, respectivamente.

O botão “**Cursor**” permite acrescentar um único cursor. Este aparece com cor amarela, semelhante aos cursores que são gerados pelo software quando da detecção de picos. De facto, a intenção deste botão é a inserção manual de um cursor para marcar um início/fim de pico relativo que não tenha(m) sido detectado(s) automaticamente.

Finalmente, com “**Repetir última definição de zona**”, é possível copiar a marcação de zonas feita antes do último processo de detecção de picos, evitando-se a repetição de toda a definição. Esta possibilidade é bastante útil para análises repetitivas, com sinais tirados em condições semelhantes.

A área inferior controla o processo de detecção de picos propriamente dito.

Em “**Tipo de pico**” é feita a escolha do tipo de pico a detectar.

O ajuste da derivada para detecção de picos relativos faz-se, conforme já explicado, nos controlos de k e p . O utilizador pode visualizar a derivada (“**Mostrar derivada**”) ou mesmo registá-la como um qualquer sinal através de “**Registar derivada**”. As unidades de apresentação da derivada são [cN/ms] (partindo do princípio de que a unidade do sinal é [cM]). No âmbito da aplicação apresentada, a derivada é interpretada qualitativamente. Uma apreciação quantitativa só pode ser feita considerando derivadas calculadas com os mesmos factores k e p .

Para iniciar a detecção de picos, depois de verificadas as zonas, utiliza-se o botão “**Definir picos**”. O software coloca cursores sobre os picos que detectou, tendo agora o utilizador a hipótese de verificar a correcção dos mesmos. Para corrigir, ele arrasta os cursores para os seus devidos locais, e acrescenta cursores no início/fim de picos relativos que não tenham sido detectados.

Finalmente, por actuação de “**Registar picos**”, são calculados os instantes temporais de início e fim de pico, bem como a amplitude dos picos marcados pelos cursores. Esta é dada na unidade do sinal analisado (que será, normalmente, cM), enquanto que início e fim aparecem em **milisegundos**. Naturalmente que em picos absolutos só há um instante temporal a assinalar (o instante em que o pico ocorre), que é atribuído ao instante de início, ficando um valor de -1 no fim de pico.

Os picos calculados são guardados numa tabela de picos, acessível através de “**Picos...**”. O número de picos aí registados é indicado em “**Registos de picos**”.

A tabela referida pode ser vista na próxima figura:

Tabela de picos

Nome	Velocidade	Início	Fim	Valor	Início	Fim	Valor
Ag.90RG- T4-1folha 3	3029,840	54,234	55,062	379,154			
Ag.90RG- T4-1folha 4	3029,840	73,899	75,141	222,373			
Ag.90RG- T4-1folha 5	3029,840	93,771	94,530	348,757			
Ag.90RG- T4-1folha 6	3029,840	113,574	114,402	296,764			
Ag.90RG- T4-1folha 7	3029,840	133,377	134,343	319,161			
Ag.90RG- T4-1folha 8	3029,840	153,318	154,146	332,759			
Ag.90RG- T4-1folha 9	3029,840	173,259	174,018	274,366			
Ag.90RG- T4-1folha 10	3029,840	193,062	193,890	295,964			
Ag.90RG- T4-1folha 11	3029,840	212,865	213,624	257,568			
Ag.90RG- T4-1folha 12	3029,840	232,530	233,427	336,759			
Ag.90RG- T4-1folha 13	3029,840	252,333	253,161	241,570			
Ag.90RG- T4-1folha 14	3029,840	272,136	272,826	206,375			

Buttons: **Sair e aceitar**, **Cancelar**, **Gravar...**, **Abrir...**, **Apagar sel.**, **Apagar todos**

Figura 71: Tabela de picos

Cada linha desta tabela contém os registos de picos de um período do sinal. Se o utilizador definiu diversas zonas de detecção de picos num período, estes picos aparecerão numa linha da tabela. Este formato, que é adoptado também na gravação de ficheiros de picos, permite ter na mesma coluna sempre o mesmo pico, período a período, o que poderá ser útil para uma análise posterior no caso de o utilizador fazer uma análise de diversos picos em cada ponto de costura (o que acontece em sinais de tensão de linha).

A indicação da velocidade de costura na aquisição permite o cálculo, a partir do instante temporal, do ângulo de ocorrência do pico no ciclo de formação de ponto.

O nome atribuído ao pico é o nome original do sinal acrescido de um índice correspondente ao período do sinal em que o pico ocorreu.

Esta tabela não é editável, mas podem ser eliminadas linhas. Para tal, deve ser seleccionada pelo menos uma célula da linha a eliminar, premindo-se de seguida o botão **“Apagar sel.”**. Em alternativa, toda a tabela pode ser inicializada por actuação de **“Apagar todos”**.

Estas alterações são aceites se for premido **“Sair e aceitar”**. Caso se pretenda manter o conteúdo anterior da tabela, utiliza-se o botão **“Cancelar”**.

O utilizador pode gravar os seus registos de picos em ficheiros de texto, que podem ser exportados para folhas de cálculo, premindo o botão **“Gravar...”**. À semelhança do que acontece na gravação de ficheiros com sinais, é também aqui possível

acrescentar comentários que aparecerão no cabeçalho do ficheiro (figura 72) e que facilitam a sua identificação.



Figura 72: Gravação de um ficheiro de picos

Quando o utilizador abre um ficheiro de picos, com o botão “**Abrir...**”, tem oportunidade de ver os comentários que acrescentou.

Se optar por abrir o ficheiro tendo já registos de picos na tabela, pode escolher entre substituir os picos existentes ou simplesmente acrescentar os que serão lidos do ficheiro.

III.10.3. Análise espectral

Neste subpainel é possível fazer análises espectrais por cálculo de FFT (Fast Fourier Transform” ou DFT “Discrete Fourier Transform”. Para informação mais detalhada sobre as propriedades, limitações e utilização desta transformada, deverá consultar-se o capítulo IV.4.

O correcto funcionamento deste subpainel pressupõe a existência de informação de sinal sobre *frequência de amostragem* e *velocidade de costura*. De outro modo, não é possível o cálculo e visualização correctas das transformadas que se apresentarão.

O subpainel de análise espectral permite calcular:

- O espectro de potência do sinal;
- Os módulos das componentes espectrais do sinal;
- A fase das componentes espectrais do sinal.

O cálculo da transformada pode ser efectuada sobre o **registo inteiro**, ou sobre cada **período** do sinal individualmente (com evidente limitação da resolução da transformada, conforme descrito no capítulo IV.4.1.2).

Quando se faz o cálculo do espectro sobre cada período do sinal, o resultado serão n espectros - tantos, quantos períodos inteiros o sinal tiver.

Para otimizar o resultado da transformada, o utilizador pode aplicar sobre o sinal uma das seguintes janelas temporais antes do cálculo da transformada:

- Rectangular (não é aplicada qualquer janela);
- Hamming;
- Hanning;
- Triangular;
- Blackman;
- Exact Blackman;
- Blackman-Harris;
- Flat-Top;
- Kaiser-Bessel;
- Cosine-Tapered.



Figura 73: Controlos do subpainel de análise espectral

A figura 73 mostra o controlo do subpainel de análise espectral.

Na área central é feita a escolha de uma janela temporal. O parâmetro *beta* é utilizado somente para moldar a janela de Kaiser-Bessel.

Para fazer uma previsão da janela que vai ser aplicada, pode ser utilizado o botão **“Mostrar Janela”**.

A área inferior contém os controlos da análise espectral a efectuar. Aí o utilizador escolhe o tipo de resultado que quer ver calculado (espectro de potências, módulo ou fase do espectro) e opta por aplicar a transformada sobre o registo inteiro ou sobre cada período do sinal individualmente.

Para ver a transformada sem a registar no banco de registos permanentes será utilizado o **botão “Mostrar transf.”**. O registo efectivo da transformada pode ser obtido actuando o botão **“Registrar transf.”**.

III.10.4. Filtragem digital

Para poder ser utilizado o subpainel de filtragem, é imperativa a existência de informação correcta sobre frequência de amostragem do(s) sinal(ais) a processar.

Este subpainel implementa os seguintes tipos de filtros digitais:

- Butterworth;
- Chebyshev;
- Chebyshev II (Chebyshev inverso);
- Elíptico;
- Bessel.

Cada um destes filtros, de características diferentes, pode efectuar os seguintes tipos de filtragem:

- Passa-baixo
- Passa-alto
- Passa-banda
- Rejeição de banda.

Também neste subpainel é dada ao utilizador a opção de efectuar a análise sobre o registo inteiro ou sobre cada período individualmente. No segundo caso, o utilizador terá ainda duas hipóteses:

- a de receber o resultado dividido em períodos (uma filtragem resultará em tantos sinais quantos períodos inteiros existam no sinal original), ou
- receber um único sinal que resulta da justaposição dos resultados da filtragem a cada período individual.

Em qualquer um dos casos o comprimento (número de amostras do sinal) não será igual ao do sinal original: No primeiro caso, o número de amostras corresponde ao de um só período, no segundo ao de n períodos inteiros contidos no sinal.

Uma diferença fundamental entre uma filtragem aplicada ao registo inteiro ou aos períodos individuais reside o facto de no segundo caso os estados internos dos filtros serem inicializados no início de cada período. O filtro tem, assim, que estabilizar em cada um destes blocos de dados.

Por simulação é possível ver a resposta em frequência (módulo ou fase) do filtro escolhido e na sua configuração actual (ordem, frequências de corte, ripple, atenuação).

A área de controlo deste subpainel pode ser vista na figura 74:

Na área central é feita a configuração do filtro. Dependendo do tipo de filtro e tipo de filtragem, os parâmetros aí ajustáveis estarão ou não acessíveis. No exemplo que se apresenta na figura 74, está seleccionado um filtro passa-baixo do tipo Chebyshev. Sendo passa-baixo, só necessita da indicação de uma frequência de corte, estando

assim o controlo de frequência de corte superior inacessível. Por outro lado, sendo um filtro do tipo Chebyshev, aceita o parâmetro *Ripple na banda passante*, mas não necessita de indicação de atenuação na banda de corte.

Os parâmetros a configurar são, na sua totalidade, os seguintes:

- Tipo de filtro;
- Tipo de filtragem;
- Frequência de corte inferior;
- Frequência de corte superior;
- Ordem do filtro;
- Atenuação na banda de corte;
- Ripple na banda passante.



Figura 74: Controlos do subpainel de filtragem digital

pode na caixa de diálogo que mostra a figura 75 escolher a subdivisão do resultado em períodos ou a sua justaposição de modo a formar um só

Na área inferior são efectuadas as simulações de resposta de um filtro e as filtragens propriamente ditas.

O controlo “Resposta de filtro” serve para o utilizador escolher se deseja simular a resposta em módulo ou em fase do filtro escolhido. Para visualizar a resposta, deve premir o botão “Mostrar resposta”. Esta será visualizada numa escala y em **dB** para a resposta em módulo, **rad** para a resposta em fase, sendo a escala x em **Hz**, linear ou logarítmica conforme escolha na aplete de controlo do gráfico.

Finalmente, deve ser escolhido a aplicação do filtro sobre o registo inteiro ou sobre cada período em individual. O cálculo da filtragem é feito premindo “Mostrar filtragem” ou “Registrar filtragem”. No primeiro caso a filtragem é calculada e visualizada, mas só no último é efectivamente registada.

Se o utilizador tiver optado pela filtragem por períodos,

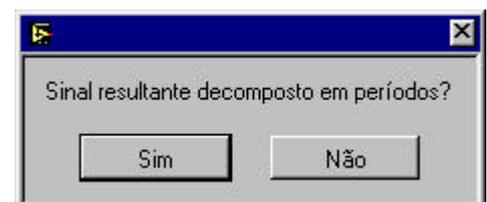


Figura 75: Divisão ou justaposição das filtragens de períodos individuais

sinal.

III.10.5. Miscelâneos – Cálculo de energia de um sinal

De modo a reservar espaço para futuras operações a serem implementadas neste painel de análise, foi criado este subpainel, que neste momento contém somente uma operação, a de cálculo de energia de um sinal.

Para este cálculo, o sinal é dividido em períodos e a energia é calculada para cada um deles. Somente períodos inteiros são considerados.

O botão “Mostrar energia” mostra o resultado desta operação, enquanto que “Registrar energia” fornece ao registo permanente um sinal novo, do tipo 5 (pontos discretos), com tantos pontos quantos períodos inteiros estiverem contidos no sinal.

III.11. Formatos de ficheiros

Existem cinco tipos de ficheiros associados ao software:

- o **ficheiro de configuração** (extensão .cfg);
- **ficheiros de calibração** dos sensores (extensão .cal);
- **ficheiros de sinais simples** (extensão .sew) ;
- **ficheiros de sinais completos** (extensão .sew);
- **ficheiros de picos** (extensão .pco).

Por uma questão de simplicidade e fácil interface com outros programas, todos estes ficheiros são criados em formato texto. A desvantagem deste facto é notória na leitura de ficheiros de sinais extensos, pois a conversão de texto consome algum tempo. No entanto, nesta fase de desenvolvimento do software, considerou-se que seria esta a opção mais vantajosa.

De seguida proceder-se-á a uma análise do conteúdo e formato de cada um destes tipos de ficheiros.

III.11.1. O ficheiro de configuração

O ficheiro de configuração, “*sewtest.cfg*”, contém toda a informação relativa ao funcionamento do software, nomeadamente os parâmetros que o utilizador escolhe no painel de configuração.

Esta informação é indispensável para o bom funcionamento do software, pois é necessária para a programação do hardware de aquisição, para a correcta *escalagem* dos valores de força através dos parâmetros de calibração, etc.

A Vi desenvolvida para a leitura do ficheiro de configuração verifica sempre a existência e correcção do ficheiro em questão, criando um ficheiro por *defeito* caso algum problema surja na leitura inicial.

De seguida apresenta-se o ficheiro criado por defeito pelo software. Este está em formato ASCII, aparecendo em cada linha um dos parâmetros de configuração. Inicialmente são também introduzidos comentários a descrever cada uma das entradas existentes. O utilizador pode, caso necessário, introduzir os seus próprios

comentários, desde que estes apareçam no início e com um asterisco (*) como primeiro caracter.

```

****Ficheiro de configuração do sewtester
****Formato:
*número de device da placa
*ganho para os canais na placa (LAB PC+:igual para todos)
*comprimento de registo
*frequencia de amostragem
*canais a amostrar
*preparação por tempo(0) ou contagem de pontos(1)
*temporização/nºpontos antes da aquisição
*timeout da aquisição
*Pasta/directoria de trabalho
*nome, m, b, endereço de placa, nº de saída na placa,
*ganho externo, tipo de placa e ajuste de zero para cada canal, de 0 a 7
1
1
4000
-1,000000
6,5,4,3,2,1,0
1
10
5
D:\Users\Helder\paper
Canal 0
1,000000
0,000000
11,000000
0
1,015625
0
110,230000
*****(continua para restantes 6 canais)*****

```

Figura 76: Ficheiro de configuração

III.11.2. Ficheiros de calibração

Os ficheiros de calibração são uma simples colecção dos pontos que foram lidos na calibração.

No cabeçalho encontramos informação sobre o canal ao qual estava ligado o sensor calibrado e a data e hora de calibração.

O valor lido de *zero placa** e *b** (ver III.9) são indicados de seguida.

Na parte final ficam gravados os pontos obtidos, encontrando-se os pesos na coluna esquerda, as leituras na coluna direita, encontrando-se as duas separadas por um caracter "TAB".

Não é incluída informação sobre *m**, *b** e o **erro quadrático médio** da calibração para manter o ficheiro o mais simples possível. O utilizador pode a qualquer altura abrir o ficheiro para obter esta informação.

Um exemplo de um ficheiro de calibração é o seguinte:

```
*CAL FILE
*Canal:
5 - Cr.Inferior
*Condições de calibração(Data/hora/ganho ext/ganho placa):
12-11-1997/18:06/9,960937/5
***** Valor zero placa* *****
-1690
***** Valor b* *****
-1000
*****          Pontos          *****
5          1090
10         1240
15         1330
20         1370
(...)
```

Figura 77: Ficheiro de calibração

III.11.3. Ficheiros de sinais simples

Para exportar ficheiros de sinais para programas de outro tipo, como por exemplo folhas de cálculo, podem criar-se ficheiros de sinais simples. A diferença entre estes e os ficheiros completos reside no facto de não existir, no cabeçalho, informação sobre as condições de aquisição dos sinais. Isto implica que a leitura, por parte do software, destes ficheiros não permite recriar totalmente as condições de aquisição, pelo que certos tipos de operações de análise ou visualização dos sinais ficam incorrectas.

Apresenta-se de seguida um excerto de um ficheiro deste tipo:

```
***** SIMPLE DATA FILE *****
Gravado em: 27-09-1996 - 10:47
Área de comentários
----- Dados ---- não apagar este separador
-1438,000000 -1532,000000
-1453,000000 -1544,000000
```

```
-1459,000000 -1555,000000
(...)
```

Figura 78: Ficheiro de sinais simples

Este ficheiro tem no cabeçalho uma área de comentários, comentários esses introduzidos pelo utilizador na caixa de diálogo de gravação de ficheiros (ver III.7.3.3).

Na parte final aparecem os sinais, gravados em colunas, tendo cada uma como cabeçalho o seu nome. Cada coluna está separada da próxima por um carácter "TAB".

As secções estão separadas entre si por uma linha que contém um carácter de controlo (visível como um pequeno rectângulo). Uma listagem dos caracteres de controlo utilizados é dada na tabela 11.

III.11.4. Ficheiros de sinais completos

Neste tipo de ficheiros são guardados não só os comentários do utilizador e os sinais, como também a informação sobre cada um dos sinais (ver III.7.4.3).

Apresenta-se um exemplo de um ficheiro de sinais completo:

```
***** COMPLETE      DATA FILE   ***v1*****
Gravado em: 4/18/97 - 4:00 PM
Tecido 4(Ganga)
Velocidade 3000 rpm, 1 folha
Agulhas B-27 70RG,70FFG e 90RG
----- Info sobre sinais  ---- não apagar este separador -----
***** Info sinal 1 *****
*Data/hora de aquisição
4/18/97-3:26 PM
*Velocidade costura
3023,07
*Ganho da placa
1
*Canal
2
*Nome do Canal
Ag.70RG- T4-1folha
*Calibração:m
1,00
*Calibração:b
0,00
*frequência amostragem
14492,75
```

```
*tipo de sinal
```

```

0
*tipo de janela
0
*comprimento de registo
4096
*Ganho externo
1,250153
*Zero na placa
0
***** Info sinal 2 *****
*Data/hora de aquisição
4/18/97-3:26 PM
*Velocidade costura
3023,07
*Ganho da placa
1
*Canal
2
*Nome do Canal
Ag.70RG- T4-1folha
*Calibração:m
1,00
*Calibração:b
0,00
*frequência amostragem
14492,75
*tipo de sinal
0
*tipo de janela
0
*comprimento de registo
4096
*Ganho externo
1,250153
*Zero na placa
0
----- Dados ---- não apagar este separador
-461,543438 -439,146183
1078,267859 -62,392354
(...)

```

Figura 79: Ficheiro de sinais completo

Os caracteres de controlo utilizados nos ficheiros de sinais enumeram-se na tabela seguinte:

Tipo de caracter de controlo	Código ASCII
Marca de ficheiro de sinais completo	03
Marca de ficheiro de sinais simples	04
Marca de ficheiro de picos	06
Separador cabeçalho- Secção de informação sobre sinais	05
Marca de início de dados de sinais ou picos	01

Tabela 11: Caracteres de controlo em ficheiros de sinais simples ou completos e em ficheiros de picos

Sendo de esperar que haja alterações futuras no formato dos ficheiros completos, resultantes principalmente do acrescento de informação sobre sinais, foi introduzida na primeira linha um número de versão de ficheiro (**V1**). Alguns ficheiros gerados por versões mais antigas do software são já reconhecidos como sendo de uma versão anterior. Nestes, falta por exemplo a informação sobre o **zero placa** (ver III.9.1).

III.11.5. Ficheiros de picos

Os ficheiros de picos são também ficheiros de texto, de fácil leitura em folhas de cálculo.

Conforme apresentado na tabela 11, um caracter de controlo (ASCII 06) marca-o como um ficheiro de picos. O início dos dados (valores de picos) apresenta-se separado por uma linha em que aparece, tal como nos ficheiros de sinais, o caracter de controlo ASCII 01.

Apresenta-se um exemplo de um ficheiro de picos:

```
***** FICHEIRO DE PICOS *****
Gravado em: 25-07-1997 - 14:45
Área de comentários
***** Pontos *****
Nome           Velocidade  Início      Fim          Valor
Ag.90RG        3029,840   14,697     15,318       231,172
Ag.90RG        3029,840   34,362     35,259       404,750
Ag.90RG        3029,840   54,234     55,062       379,154
Ag.90RG        3029,840   73,899     75,141       222,373
(...)

```

Figura 80: Ficheiro de picos

Como já referido em III.10.2, cada linha deste ficheiro contém os picos medidos em cada período do sinal. Se o valor de fim de pico for igual a -1 , o pico descrito é um pico absoluto, que só tem um instante temporal a caracterizá-lo: O instante em que o pico ocorre.

IV. As diversas técnicas de cálculo utilizadas

Neste capítulo pretende-se abordar de um modo um pouco mais pormenorizado as técnicas de cálculo que foram implementadas nos diversos painéis. Tendo o capítulo III sido de descrição do software numa perspectiva de utilização, alguns aspectos de cálculo não foram abordados, pretendendo-se completar essa descrição neste capítulo.

No que diz respeito às técnicas de análise de sinal implementadas no painel de análise, e tendo este trabalho tomado como único objectivo o desenvolvimento de um sistema de aquisição e análise de sinal, não foram realizados ensaios têxteis exaustivos, tendo servido os que foram efectuados somente como base para a validação das técnicas de análise de sinal que foram desenvolvidas. Assim sendo, diversos exemplos de sinais serão apresentados durante este capítulo para exemplificar as possíveis aplicações de cada uma das técnicas de análise.

Das técnicas incluídas só a detecção de picos terá utilização imediata, pois vem facilitar um processo de análise que já tinha vindo a ser executado manualmente, de uma forma mais desagradável e morosa. A análise espectral e a filtragem digital forneceram algumas indicações interessantes na análise de sinais de força sobre a barra de agulha, necessitam contudo de uma exploração mais profunda.

A aplicação destas e outras técnicas de análise (como por exemplo a transformação baseada em *wavelets*) constituirão por certo um tema interessante para futuros trabalhos.

Quanto à visualização gráfica, bastante completa devido às excelentes ferramentas incluídas no LABVIEW, foi complementada com uma modificação de escala x bastante útil e que será o primeiro ponto a ser abordado.

IV.1. Cálculo de escalas

O LABVIEW necessita como entrada para o seu objecto gráfico:

- De um vector ou matriz (caso de múltiplos sinais) com os pontos que constituem o gráfico a visualizar, e que no caso presente é a amostragem efectuada aos sinais provenientes da máquina de costura;
- De uma indicação para a construção da escala x , que pode ter diversas formas.

Para a construção programática de uma escala x , o LABVIEW aceita vários formatos de dados de entrada a um gráfico. O seguinte formato foi escolhido para o desenvolvimento desta aplicação:

- Indicar o início da escala x , $x(0)$;
- Indicar o incremento que corresponde a cada ponto fornecido no vector/matriz de sinais, Dx .

(Um outro formato é a indicação de pares de valores x-y em vectores separados. Este formato é utilizado no painel de calibração por aí dispormos exactamente de pares de valores x-y)

Posto isto, e definindo

- f_a : Frequência de amostragem do sinal;
- v_c : Velocidade de costura média, em **rpm** (rotações por minuto);
- Df : Incremento de frequência em cada ponto da FFT ou DFT (ver IV.4);
- t_r Tempo de uma rotação da máquina;

é fácil o cálculo do incremento para cada tipo de escala:

- Escala em tempo (**milisegundos**)

$$\Delta x = (1 / f_a) \times 1000 \quad (22)$$

- Escala em ângulo de rotação da máquina (**graus**)

O tempo de uma rotação da máquina, t_r , é dado por

$$t_r = \frac{60}{v_c} \quad (23)$$

Numa rotação da máquina, à frequência de amostragem f_a , são amostrados n pontos, em que

$$n = t_r \times f_a \quad (24)$$

Assim sendo, a cada um destes pontos corresponde um incremento de ângulo na escala x de

$$\Delta x = \frac{360}{n} = \frac{360}{t_r \times f_a} = \frac{360 \times v_c}{60 \times f_a} \quad (25)$$

- Escala x em frequência

O incremento Dx neste caso é de Df , um valor que resulta da análise FFT ou DFT e que será abordado em IV.4.

- Escala x em frequência normalizada

A transformada de Fourier de um sinal periódico contém sempre uma componente à frequência fundamental do sinal e harmônicos a frequências que são múltiplos inteiros da fundamental.

Quando se fazem amostragens na máquina de costura a velocidade constante, o sinal resultante apresenta, pois, uma frequência fundamental f_f que corresponde à frequência de rotação da máquina:

$$f_f = \frac{v_c}{60} \quad (26)$$

Para normalizar a escala de frequências, é dividido o incremento frequencial resultante da transformada de Fourier pela frequência fundamental do sinal:

$$\Delta f_n = \frac{\Delta f}{f_f} = \frac{60 \times \Delta f}{v_c} \quad (27)$$

IV.2. Cálculo da velocidade de costura

A seguinte figura mostra a forma de onda obtida na amostragem do sinal de sincronismo:

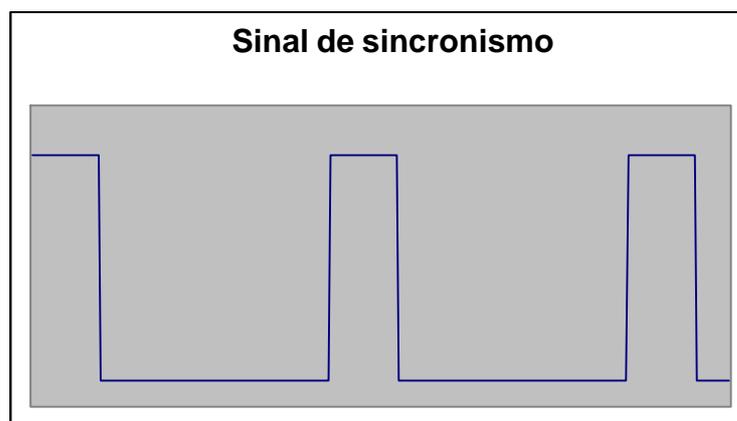


Figura 81: Forma do sinal de sincronismo

O flanco ascendente deste sinal corresponde à passagem da agulha pelo ponto mais baixo do seu curso (ponto morto inferior). Naturalmente que, conhecida a frequência

de amostragem, f_a , é possível calcular a velocidade média de costura durante a aquisição.

O software fá-lo da seguinte forma:

- Percorre o sinal de sincronismo contando uma rotação completa da máquina por cada flanco ascendente do sinal de sincronismo (recorde-se que a aquisição é disparada pelo flanco ascendente do sinal de sincronismo, logo no próximo flanco ascendente completa-se uma volta);
- No final, percorre o sinal de sincronismo em sentido inverso, isto é, do fim para o início, para detectar o ponto em que acabou a última rotação completa da máquina durante a aquisição efectuada.

Este algoritmo fornece assim a informação sobre:

- O número de rotações completas, ou número de períodos completos do sinal de sincronismo, efectuadas pela máquina durante a aquisição, n_{per} ;
- O número de amostras, n_a , colhidas nesses n_{per} períodos à frequência de amostragem f_a .

O cálculo da velocidade efectua-se, pois, segundo a seguinte fórmula:

$$v_c = \frac{60 \times f_a \times n_{per}}{n_a} \quad [\text{rpm}] \quad (28)$$

Embora não seja indicado no painel principal, a VI desenvolvida para este cálculo fornece também como um dos parâmetros de saída o erro do cálculo (o indicador correspondente existe na VI, mas não está ligado).

Apesar de ser possível calcular o erro teoricamente, como será feito, é no entanto pouco útil e significativo esse valor, já que as variações perfeitamente normais de velocidade durante uma amostragem, e o facto de muitas vezes a máquina se encontrar ainda em aceleração, provocam erros instantâneos superiores. O valor de velocidade que o software fornece deve, pois, ser entendido tal e qual como é apresentado neste documento: como um valor *médio*.

Na expressão (28) é visível que o único factor em que poderá haver erro é n_a . Dado que o sinal de sincronismo é amostrado, ou seja, discretizado, a medição de um intervalo de tempo (que é afinal o objectivo da contagem de n_a) está sempre limitado, em termos de exactidão, ao intervalo de amostragem ($1/f_a$). Terá então que admitir-se no início e no fim da contagem um erro de ± 1 amostra (que corresponde à inexactidão de ± 1 intervalo de amostragem na medição de um intervalo de tempo num sinal amostrado). O erro máximo em n_a é assim sempre menor que $2 n_a$.

É pois necessário determinar a variação do valor calculado em função da variação de n_a .

Esta pode ser expressa, por linearização em torno de v_c calculado, e para pequenas variações de n_a :

$$\Delta v_c \cong \frac{dv_c}{dn_a} \times \Delta n_a \quad (29)$$

Assim, o erro absoluto máximo de v_c é dado por

$$\Delta v_c = \frac{60 \times f_a \times n_{per}}{n_a^2} \times \Delta n_a \quad (30)$$

com $\Delta n_a < 2$.

IV.3. Detecção de picos

Tendo já sido definidos os termos de **pico absoluto** e **pico relativo** em III.10.2, será aqui feita uma incursão mais profunda ao algoritmo desenvolvido para encontrar picos relativos.

A detecção de um pico absoluto consiste unicamente em encontrar o valor máximo do sinal na zona de detecção que o utilizador define, merecendo certamente mais atenção o pico relativo.

Como se pode ver na figura 82, o primeiro contacto da agulha com o tecido acontece numa fase em que a força sobre a barra de agulha está a decrescer. Este contacto

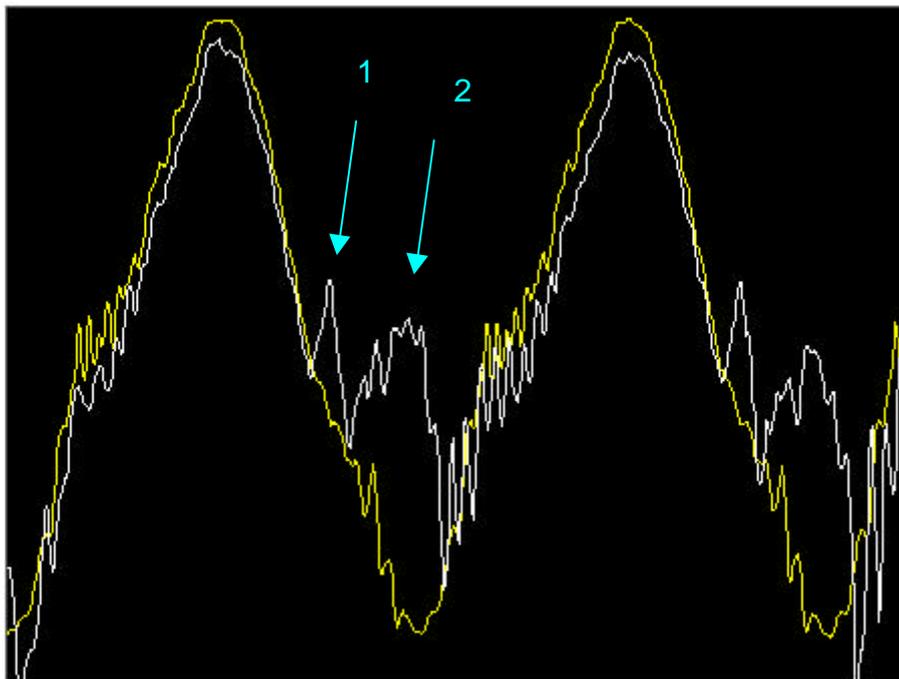


Figura 82: Sinais de força sobre a barra de agulha sem tecido (amarelo) e com tecido (branco)

com o tecido provoca uma inversão da derivada do sinal no pico assinalado na figura 83 por (1).

É objectivo dos investigadores da área têxtil de medir a amplitude desse pico. O facto de a derivada inverter o sinal no seu início e fim foi aproveitado para fazer a detecção automática, facilitando grandemente este trabalho.

O algoritmo de detecção procura nas zonas de detecção definidas pelo utilizador os primeiros dois zeros da derivada do sinal, podendo por isso também detectar picos relativos que são inversos. Este efeito acontece por vezes na saída da agulha, em que a força sobre a barra de agulha está a aumentar e o contacto do olhal da agulha com o tecido provoca uma inversão desse aumento.

O cálculo de uma derivada numérica, na sua forma mais simples, é feito segundo a seguinte fórmula:

$$Der(n) = \frac{y(n) - y(n-1)}{\Delta t} \quad (31)$$

No entanto, este método de cálculo não fornece bons resultados, pois basta um ligeiro ruído para que haja uma oscilação no sinal medido – a derivada inverte o seu sinal e o software detecta um início de pico erradamente.

Para solucionar este problema, foi desenvolvido um algoritmo de cálculo em que a derivada em cada ponto do sinal é uma média de derivadas na vizinhança desse ponto. A expressão (32) mostra como é calculada essa derivada:

$$\frac{dy}{dt}(i) = \frac{\sum_{j=0}^{k-p+1} \frac{y(i - \frac{k}{2} + j + p) - y(i - \frac{k}{2} + j)}{p \cdot \Delta t}}{k - p + 1} \quad (32)$$

Em que

- y : valor do sinal;
- i : índice do sinal em que é calculada a derivada;
- k : número de amostras na vizinhança consideradas para o cálculo da derivada;
- p : distanciamento entre amostras para cálculo da diferença conforme (26);
- Dt : tempo entre duas amostras, recíproco da frequência de amostragem do sinal.

As seguintes figuras podem ajudar a tornar mais simples a compreensão deste método de cálculo, mostrando os pares de pontos que são subtraídos para o cálculo da média da derivada no ponto i em duas configurações de k e p .

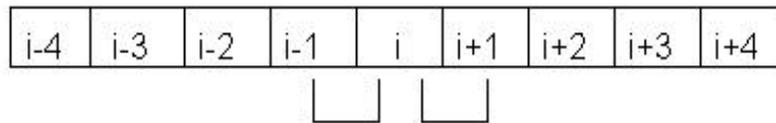


Figura 83: Pares de pontos subtraídos com $k=2$, $p=1$

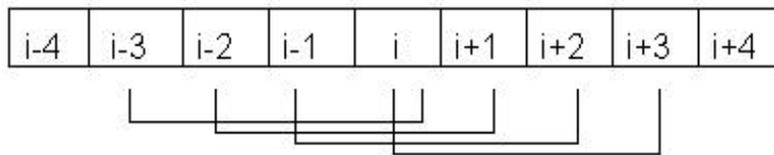


Figura 84: Pares de pontos subtraídos com $k=6$, $p=3$

Como se vê, k determina a “largura” de pontos em torno do ponto i que se inclui no cálculo da média, e p a distância, em termos de índice, entre cada dois pontos subtraídos.

O número de subtrações efectuadas resulta assim como sendo $j = k - p + 1$.

A subrotina que faz o cálculo desta “derivada média móvel” permite efectuar o cálculo com $k=2$ e $p=1$, como valores mínimos. Esta configuração é a mais sensível de todas, apropriada para a detecção de pequenas inversões.

A experimentação prática mostrou que para a maioria dos casos deve aconselhar-se a utilização de $k=10$, $p=2$. A derivada pode, no entanto, ser tornada mais sensível reduzindo-se k . Um aumento de p , por seu lado, dessensibiliza a detecção, pois produz um “abraçamento” mais largo das amostras.

Mas o processo de detecção não acaba aqui, pois esta “suavização” da derivada tem o efeito de provocar a detecção de zeros da derivada em índices que não são necessariamente a localização exacta da inversão do sinal. Este problema é facilmente ultrapassado procurando-se um mínimo ou máximo local do sinal na vizinhança do zero detectado, em $i \pm k/2$ pontos. Se a inversão do sinal da derivada for de positivo para negativo, procura-se um máximo local, e vice-versa.

O cálculo da derivada está implementada na VI “derivada média móvel.vi”, enquanto que o algoritmo de detecção de picos se encontra na VI “detecção de picos.vi”.

IV.4. Análise espectral

A análise espectral baseada na transformada de Fourier é uma técnica com aplicação nos mais diversos domínios científicos, encontrando também o seu lugar em diversas aplicações da Engenharia Têxtil.

A sua capacidade de decompor sinais permite em muitas aplicações de instrumentação separar efeitos que se pretendem medir de outros cuja análise não tem interesse, permitindo realçá-los e medi-los directamente, para assim serem desenvolvidos métodos de medição mais eficazes e directos.

É muitas vezes possível encontrar características de sinais no seu espectro que não seriam detectadas por mera observação da sua evolução temporal, e a decomposição e passagem desse sinal para o domínio das frequências possibilita frequentemente a determinação da origem das mesmas.

A razão de incluir esta técnica de análise no software desenvolvido teve origem na observação do tipo de sinais em presença nesta aplicação. Espera-se que através da análise de Fourier seja possível isolar o efeito da interacção agulha-tecido nos sinais de força sobre a barra de agulha, o que permitiria medir este efeito directamente, separando-o de outras características irrelevantes.

Outra potencial aplicação será a detecção de oscilações do calcador através da detecção de oscilações na força a que ele está sujeito. Estas oscilações têm como consequência um arraste deficiente do material, situação que assim possivelmente pode ser detectada automaticamente.

Quanto aos sinais de tensão de linha, é de prever a utilização da análise espectral para a classificação de padrões de boa e má formação de ponto. Se um ajuste deficiente da máquina, com conseqüente má qualidade de costura, levar à alteração da forma dos sinais de tensão de linha, esta alteração reflectir-se-á nas componentes espectrais do sinal. Situações como esta são mais fáceis de detectar no domínio das frequências, sobretudo no contexto de uma medição e classificação automática.

Os capítulos seguintes fazem uma breve apresentação dos fundamentos, das características e da interpretação da análise espectral, podendo ser utilizados como um “tutorial” para o investigador interessado em aplicar esta técnica sem preocupações com a complexa matemática envolvida.

IV.4.1. Alguns fundamentos da transformada de Fourier

IV.4.1.1. A transformada e o significado do seu resultado. Espectro bilateral e unilateral

A análise de Fourier aplicada a sinais periódicos estacionários ou quasi-estacionários (caso dos sinais obtidos nas medições efectuadas sobre os parâmetros de funcionamento da máquina de costura) é uma técnica que permite decompor o sinal numa soma de sinusóides de diferentes amplitudes, frequências e fases relativas.

Segundo esta teoria, qualquer sinal periódico $g(t)$ pode ser decomposto numa soma que assume a seguinte forma:

$$g(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \times \text{sen}(2 \times p \times k \times f_f \times t + f_k) \quad (33)$$

Esta decomposição é bastante útil nas mais diversas aplicações de processamento de sinal, pois permite clarificar conteúdo de um sinal. Se este resultar de diversos efeitos, que se pretendem separar e isolar, é mais facilmente analisável no domínio das frequências, pois muitas vezes determinado efeito que se pretende investigar manifesta-se só numa determinada zona de frequências (*banda de frequências*). A transformação do sinal nesta forma permite assim mais facilmente analisar esse(s) efeito(s), separando-os de outros que são irrelevantes para a matéria em análise.

A equação (33) mostra que o sinal é decomposto numa soma de uma constante A_0 com sinusóides de amplitude A_k , fase inicial relativa ϕ_k e de frequências f_k que são múltiplas inteiras da frequência f_f . Esta frequência f_f é *frequência fundamental* do sinal, que no caso presente é a frequência de rotação da máquina. As sinusóides que constituem a soma descrita em (33) são chamados *harmónicos* do sinal. O seu índice identifica-as dentro da soma, sendo assim chamados harmónicos de índice k .

O cálculo dos coeficientes G_k de uma transformada de Fourier de um sinal contínuo e periódico, que mais tarde serão relacionados com os coeficientes A_k apresentados em (33), é feito segundo o seguinte integral complexo:

$$G_k = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} g(t) \times e^{-j2\pi \times f_k \times t} dt \quad (34)$$

em que

T : Período de repetição de $g(t)$

f_k : $f_k = f_f \times k$, múltiplo da frequência fundamental

A transformação inversa assume a seguinte forma:

$$g(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} G_k \times e^{j2\pi \times f_k \times t} \quad (35)$$

Tal como já tinha sido referido, a transformada de Fourier do sinal periódico contínuo no tempo é discreta, isto é, contém componentes (*riscas*) nas frequências múltiplas inteiras da frequência fundamental do sinal, bem como na frequência nula.

Outra importante característica da transformada de Fourier visível na equação (35) é a de as componentes se distribuírem por frequências f_k positivas, nula e negativas, ou seja, a transformada de Fourier fornece um espectro *bilateral*. Esta representação contrasta com a que é apresentada em (33), em que a soma contém somente componentes na frequência nula e em frequências positivas.

Pode demonstrar-se que a componente existente na frequência f_k é complexa conjugada da que se coloca na frequência $-f_k$.

A potência² do sinal pode ser calculada no espectro como sendo a soma dos quadrados do módulo de cada componente. Sendo este valor igual na parte negativa como na positiva, metade do espectro é nesta perspectiva redundante, podendo ser negligenciado ao multiplicar-se por 2 a outra metade do espectro de potências.

É assim obtido um espectro *unilateral* de potência (ou de amplitudes, isto é, os módulos de cada componente espectral, por aplicação de raiz quadrada). **No painel de análise do software desenvolvido todos os resultados são fornecidos em**

² A palavra "potência" é utilizada aqui no sentido genérico do quadrado de uma variável, independentemente das unidades dessa variável, relacionado-se com potência física através de uma constante de escala específica caso-a-caso.

formato unilateral. Este formato é aliás utilizado pela maioria dos analisadores de espectro e programas de análise, dado que todos os sinais reais têm um espectro simétrico.

O subpainel de análise espectral fornece espectros unilaterais

- da potência P_k das componentes do espectro unilateral;
- dos módulos M_k das componentes do espectro unilateral;
- da fase ϕ_k das componentes do espectro unilateral.

A relação entre estes valores e os valores de A_k apresentados em (33) são as seguintes:

$$|G_k| = \frac{A_k}{2} \quad (36)$$

$$P_k = 2 \times |G_k|^2 = \frac{A_k^2}{2} \quad ; \text{ para } k > 0 \quad (37)$$

$$M_k = \sqrt{P_k} = \frac{A_k}{\sqrt{2}} \quad ; \text{ para } k > 0 \quad (38)$$

A expressão (37) expressa a transformação de espectro bilateral em espectro unilateral. Em (38) pode ver-se que o módulo da componente do espectro unilateral corresponde ao valor eficaz da sinusóide nessa frequência.

Todas estas relações só se verificam para componentes de frequência não-nula. Para a componente estática (frequência nula), que representa uma constante no sinal, sem variação, verifica-se que

$$|G_0| = A_0 = M_0 \quad (39)$$

Finalmente, para as fases, temos que

$$\angle G_k = f_k \quad ; \text{ para } k > 0 \quad (40)$$

e

$$\angle G_0 = f_0 = 0 \quad (41)$$

A componente contínua do sinal é real, apresentando fase nula.

IV.4.1.2. Resolução frequencial e largura de banda de análise nas DFT's ou FFT's

As expressões (34) e (35) referem-se a sinais periódicos contínuos no tempo. No entanto, no âmbito desta aplicação os sinais disponíveis são discretos, isto é, dispõe-se de amostras de $g(t)$, e não de uma expressão analítica da função $g(t)$.

Este facto tem algumas implicações, embora não tenha influência no resultado dos valores de amplitudes, fases e potências do espectro unilateral que se apresentaram anteriormente.

Concretamente, para um sinal discreto, a equação (34) transforma-se em:

$$G_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} g(t_n) \times e^{-j \frac{2\pi p \times n \times k}{N}} \quad (42)$$

em que

$g(t_n)$: Amostra de $g(t)$ no instante t_n

N : Número de amostras do registo sobre o qual se efectuou a amostragem

podendo escrever-se a transformada inversa do seguinte modo:

$$g(t_n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} G_k \times e^{-j \frac{2\pi p \times n \times k}{N}} \quad (43)$$

A equação (42) descreve o cálculo da chamada **DFT** (*Discrete Fourier Transform*). O cálculo directo do espectro de um sinal a partir desta equação leva a N^2 multiplicações complexas a efectuar, exigindo assim grande tempo de cálculo.

Um algoritmo mais eficiente para o cálculo da transformada de fourier discreta é a chamada **FFT** (*Fast Fourier Transform*). Este algoritmo reduz o número total de multiplicações a efectuar para $N \times \log_2 N$. No caso do cálculo de um espectro num registo temporal de 1024 pontos existe uma redução do número de multiplicações com um factor maior que 100.

A FFT, cuja implementação não se pretende abordar, necessita, no entanto, que o número de pontos do registo seja um múltiplo de 2. No software que foi desenvolvido, é utilizada a FFT se estiver satisfeita esta condição. Caso contrário são utilizados algoritmos DFT optimizados, que porém não são tão eficientes como o da FFT.

É possível mostrar que o cálculo da DFT de um sinal discretizado a uma frequência de amostragem f_a fornece como resultado um espectro periódico no domínio das frequências, em que o período de repetição é exactamente f_a . Isto significa que os coeficientes se distribuem de abcissas que começam em 0 e vão até à frequência de amostragem f_a .

No entanto, a partir de metade da frequência de amostragem (frequência de *Nyquist*), o espectro repete-se, correspondendo essa parte a frequências negativas. Todas as considerações que foram tecidas no que respeita à redundância destes dados mantêm-se. A diferença reside na gama de frequências analisadas: enquanto que anteriormente se consideravam componentes que se estendiam de $+\infty$ a $-\infty$, quando se utiliza a amostragem do sinal obtêm-se somente componentes de 0 a $f_a/2$ e o seu simétrico de frequências negativas.

Eliminando a redundância existente (convertendo-o para um formato unilateral) o resultado de um cálculo de espectro tem um comprimento efectivo (número de pontos) N_e que é metade do comprimento do registo temporal sobre o qual ele foi calculado.

$$N_e = \frac{N}{2} \quad (44)$$

A cada ponto corresponde um incremento de frequência de

$$\Delta f = \frac{f_a}{N} = \frac{f_a}{2N_e} \quad (45)$$

Este Δf corresponde à resolução frequencial da análise (a menos de alguns efeitos de janelas que se abordarão mais tarde). É pois necessário escolher para as amostragens um número de pontos que garanta que essa resolução seja suficiente para distinguir os diversos harmónicos do sinal, que, como já foi referido, distam entre si da frequência fundamental dos sinais – a frequência de rotação da máquina.

A escala de frequências, ou seja, a largura de banda de análise disponível, varia entre 0 e $\frac{f_a}{2} - \frac{f_a}{N}$.

A existência de componentes espectrais num sinal acima de metade da frequência de amostragem não é uma situação permitida, pois esse facto iria provocar o efeito de *aliasing* (que se descreve mais adiante).

IV.4.1.3. Um exemplo simples

Para ilustrar o que se descreveu, apresenta-se a análise do sinal $s(t)$, um sinal eléctrico obtido por soma de

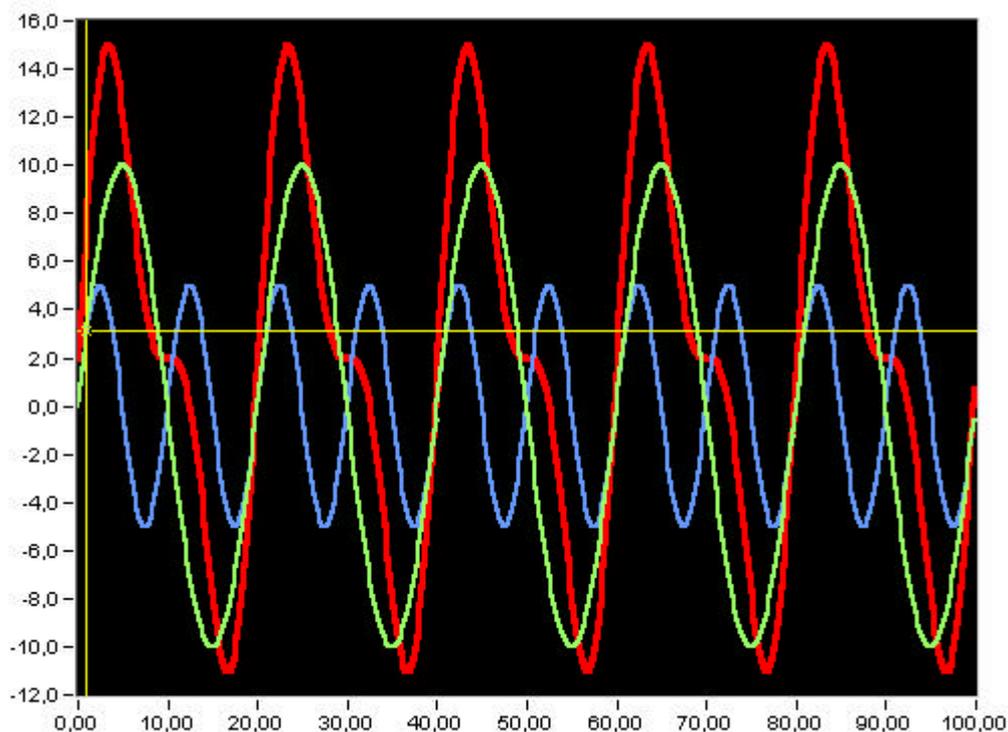


Figura 85: Sinal $s(t)$ (vermelho, escala x em milissegundos, escala y em Volts)

- Uma componente contínua de 2 Volts;

- Uma sinusóide de frequência 50 Hz e amplitude 10 V;
- Uma sinusóide de frequência 100 Hz e amplitude 5 V;

Este sinal foi amostrado a uma frequência de 5000 Hz . A próxima figura mostra o sinal juntamente com as duas sinusóides que o compõem:

O cálculo do módulo do espectro deste sinal fornece o seguinte resultado:

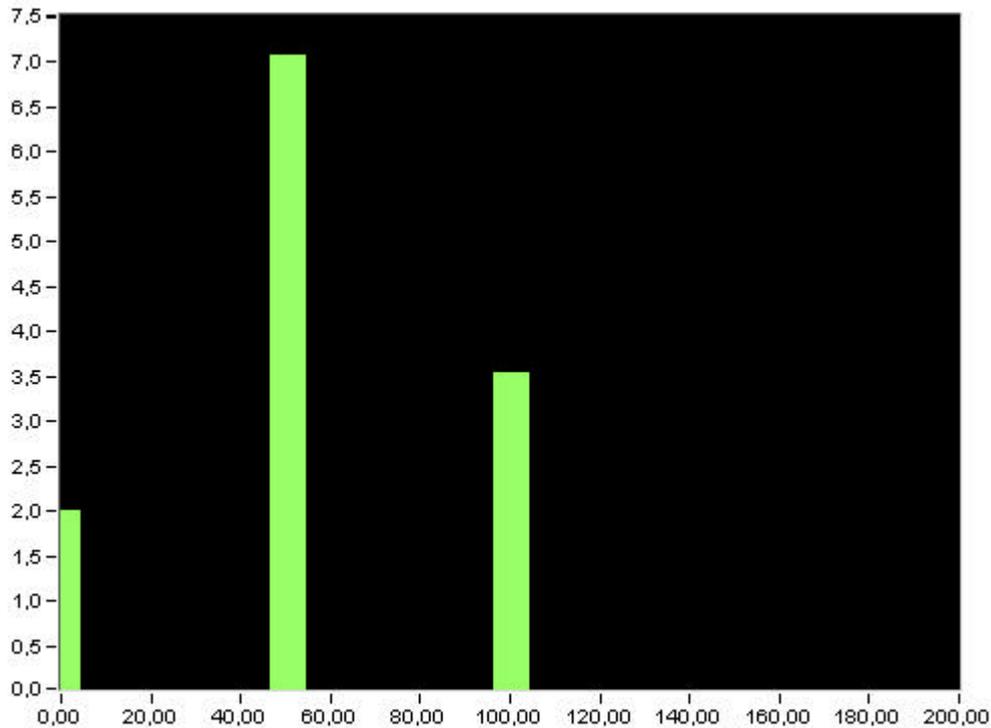


Figura 86: Espectro de $s(t)$ (Escala x em Hz, escala y em Vrms)

Tal como esperado, o sinal apresenta uma componente contínua de 2V e harmônicos aos 50 e 100 Hz, de valor eficaz 7,07 V e 3,54 V respectivamente.

No caso apresentado, calculam-se os módulos das componentes espectrais do sinal. É também possível calcular o espectro de potências, ou seja, a potência do sinal em cada risca (componente espectral) do sinal. Este cálculo resulta simplesmente no quadrado dos valores dos módulos de cada componente espectral.

O cálculo numérico da transformada de Fourier está sujeita a um conjunto de restrições e erros que interessa analisar para que esta técnica seja utilizada da forma mais correcta possível. Essa análise será apresentada nos próximos capítulos.

Note-se que o cálculo da transformada que se apresenta na figura 87 foi efectuado em condições ideais, levando por isso a um resultado exacto. Na prática, porém, raros são os casos em que essa exactidão se verifica.

IV.4.2. Aliasing

O efeito de aliasing deve ser o primeiro a ser apresentado, pois a garantia da sua não-ocorrência é condição fundamental para que a amostragem de um sinal seja uma representação fiel do seu conteúdo.

Segundo o teorema de *Shannon*, a amostragem de um sinal deve ser efectuada a uma frequência *no mínimo duas vezes maior que a componente espectral de frequência mais elevada do sinal*.

Invertendo esta afirmação, deve ser garantido que o sinal não contenha componentes espectrais acima de metade da frequência de amostragem. Esta frequência-limite é chamada *frequência de Nyquist, f_N* .

Normalmente, e devido à limitação da frequência de amostragem dos sistemas de aquisição, são aplicados *filtros anti-aliasing*, que não são nada mais que filtros passa-baixo cuja frequência de corte é ligeiramente inferior à frequência de Nyquist, de modo a eliminar as componentes espectrais que existam acima da frequência de Nyquist (caso do projecto presente). Naturalmente que essa filtragem não deve eliminar componentes interessantes para a análise que se pretende fazer, sendo necessário nesse caso redimensionar o sistema de aquisição de modo a aumentar a frequência de amostragem.

O efeito de aliasing provoca uma interpretação incorrecta da frequência das componentes que se encontram nessa situação. Essa distorção é visível tanto no domínio dos tempos como no domínio das frequências.

Não se pretende neste trabalho fazer uma incursão muito profunda sobre amostragem de sinais e análise espectral. Em termos práticos a figura 87 demonstra perfeitamente como é mal interpretado um sinal que foi amostrado a uma frequência demasiado

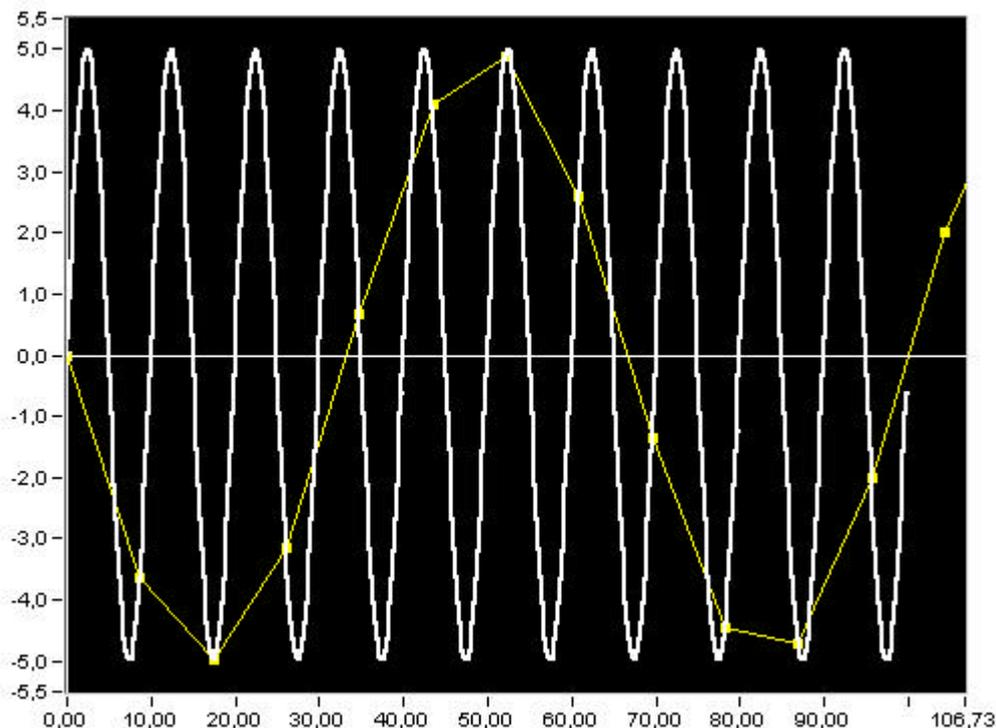


Figura 87: Aliasing em amostragem de sinusóide de 100 Hz a 115 Hz

baixa:

O sinal sinusoidal de 100 Hz é amostrado a somente 115 Hz, sendo interpretado como um sinal de frequência mais baixa que a verdadeira.

Outro exemplo de aliasing, genericamente conhecido, é o das rodas de carros ou carroças, que em filmes (em que há uma amostragem da imagem feita pela câmara) parece rodar muito devagar ou até no sentido inverso.

IV.4.3. Efeito das janelas temporais – Fuga espectral

A transformada de Fourier discreta tem um carácter circular, isto é, a pequena porção do sinal sobre a qual é efectuado o cálculo é “vista” pela transformada como se ela se repetisse para $+\infty$ e $-\infty$ no tempo. Só assim poderá o sinal ser considerado um sinal realmente periódico.

Este facto tem algumas implicações. Se a porção do sinal que se amostra tiver um número inteiro de períodos, então a justaposição dessas mesmas “fatias” não provoca qualquer descontinuidade. Se, no entanto, o número de períodos não for inteiro, então vai haver uma descontinuidade no sinal que provoca distorções. A próxima figura ilustra esse facto:

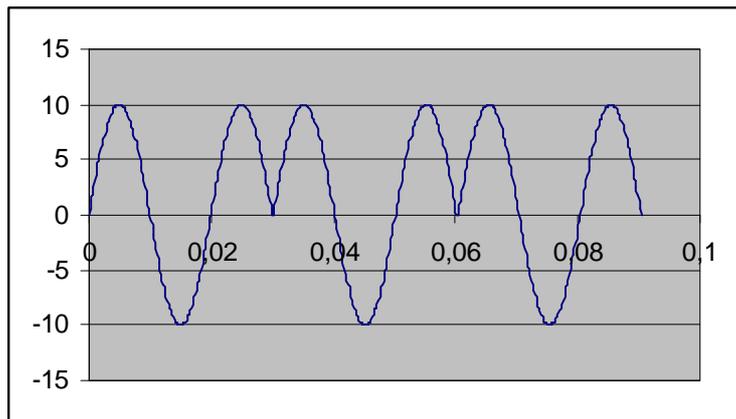


Figura 88: Justaposição de amostragens de um número meio inteiro de períodos do sinal

A introdução desta descontinuidade provoca, de facto, erros no cálculo do espectro do sinal.

No presente trabalho é, ao contrário da maioria dos casos, possível minimizar este problema por afinação da velocidade da máquina, de modo a fazer coincidir o final da amostragem com o seu ponto de início, que está bem definido pelo sinal de sincronismo. Numa situação de controlo on-line, em que a máquina pode funcionar a velocidades variadas, a única forma de contornar o problema seria um ajuste da frequência de amostragem à velocidade de costura. Uma possibilidade para fazer este ajuste seria utilizar *encoders* para comandar as aquisições: Cada impulso do encoder provocaria a aquisição de uma amostra. O número de amostras por rotação da máquina seria, assim, fixo, não dependendo da velocidade.

A justificação matemática destes erros é extensa e algo complexa, não sendo objecto deste trabalho. Convirá, no entanto, referir alguns aspectos necessários para a aplicação prática da análise de Fourier.

A obtenção de um registo de um sinal periódico por amostragem corresponde à multiplicação do sinal (que por definição se estende desde $-\infty$ a $+\infty$ no tempo) por uma janela temporal (que no caso é uma janela *rectangular* ou *uniforme*), como é visível na próxima figura:

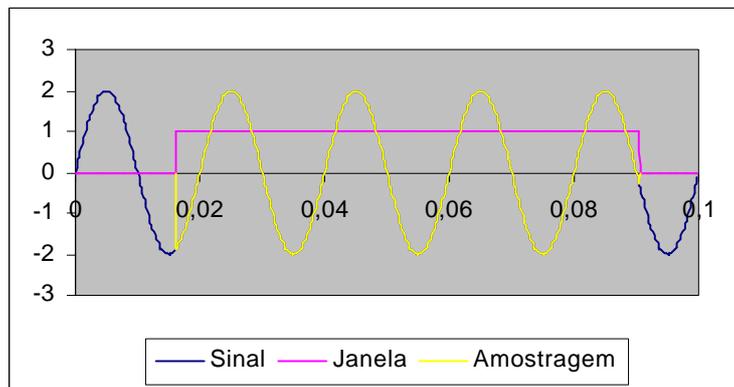


Figura 89: Aplicação de janela temporal na amostragem de um sinal

Demonstra-se que multiplicação de duas funções no domínio dos tempos corresponde a uma operação de *convolução* no domínio das frequências. A operação de convolução entre duas funções $F(f)$ e $H(f)$ é definida do seguinte modo:

$$F(f) * H(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(\Phi) - H(f - \Phi) d\Phi \quad (46)$$

A convolução consiste, pois, numa integração da multiplicação das duas funções, sendo uma delas deslocada continuamente de $d\Phi$.

Sem aprofundar o significado da equação (46), fica demonstrado que é necessário ter em consideração a transformada de Fourier da janela temporal que foi utilizada na amostragem, pois esta irá sem dúvida influenciar o resultado do cálculo da transformada do sinal. No caso de uma janela rectangular, a transformada é uma função do tipo $\left| \frac{\text{sen}(x)}{x} \right|$, podendo mostrar-se que essa função tem zeros espaçados de

$\frac{1}{T}$, em que

$$T = \frac{N}{f_a} \quad (47)$$

ou seja, T é a duração do registo temporal (da amostragem) que se efectuou.

A convolução de uma função no domínio das frequências que seja simplesmente uma risca (chamada um *impulso de Dirac* ou uma *função delta*) tem como resultado uma

função como a que se representa na figura 91, centrada em torno da frequência da risca.

O resultado de uma DFT ou FFT é, no entanto, discreta, e não contínua como a função da figura 91. É importante reconhecer que a DFT é uma amostragem do espectro do sinal, tal como o vector de pontos temporais (amostras) que foram fornecidas para o

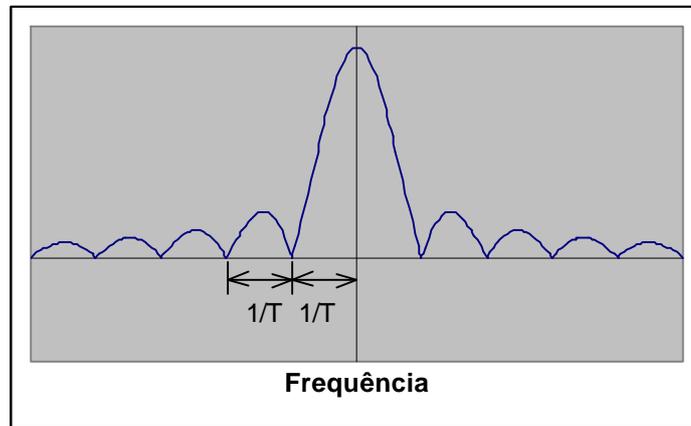


Figura 90: Transformada de Fourier de uma função de janela rectangular

seu cálculo.

Observando-se agora a figura 91, pode ver-se que se a função aí representada for amostrada em intervalos de $\frac{1}{T}$, então como resultado será conseguida uma amostra não nula, no centro da função, e amostras nulas nos restantes pontos, pois os pontos de amostragem coincidem com os zeros dos lobos laterais da função. Este será o caso ideal, em que $\frac{1}{T}$ é um múltiplo inteiro da frequência da risca, ocorrendo quando se amostra um número inteiro de períodos do sinal original.

Porém, se a amostragem do sinal no tempo não contiver um número inteiro de períodos, então o intervalo T não será um múltiplo inteiro da frequência da risca que se pretende detectar. O deslocamento da amostragem do espectro provoca o aparecimento de amostras não nulas na vizinhança da verdadeira frequência da risca, e não é bem entendida a frequência exacta da mesma. O pior caso desta situação ocorre se o número de períodos for meio inteiro e pode ser observado de seguida:

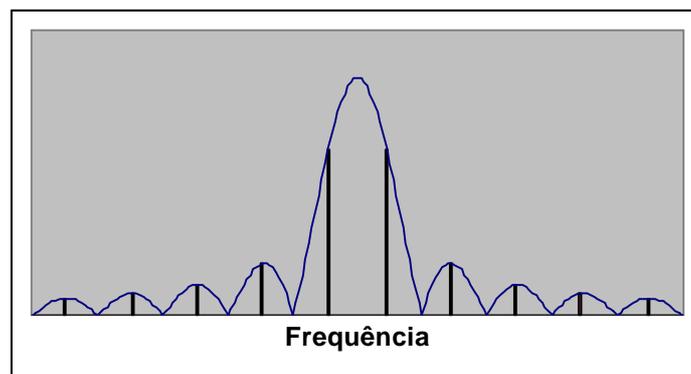


Figura 91: Pior caso da amostragem da função janela

Neste caso, a amostragem do espectro é tal que vai mostrar componentes espectrais em localizações onde não existem componentes, pois os lobos laterais são amostrados no seu ponto máximo. Por outro lado, note-se que se a frequência da risca do espectro do sinal que se analisa está colocada no centro da função transformada da janela, haverá um erro de frequência, pois o espectro não é amostrado em pontos múltiplos da frequência da risca, e haverá também um erro de amplitude.

As figuras 92 e 93 mostram o cálculo do espectro de uma sinusóide pura de 10V de amplitude, 100 Hz de frequência, amostrada num número inteiro e meio inteiro de períodos, ilustrando claramente o efeito da janela temporal.

Enquanto que no primeiro caso o resultado da DFT é exacto (valor eficaz da sinusóide

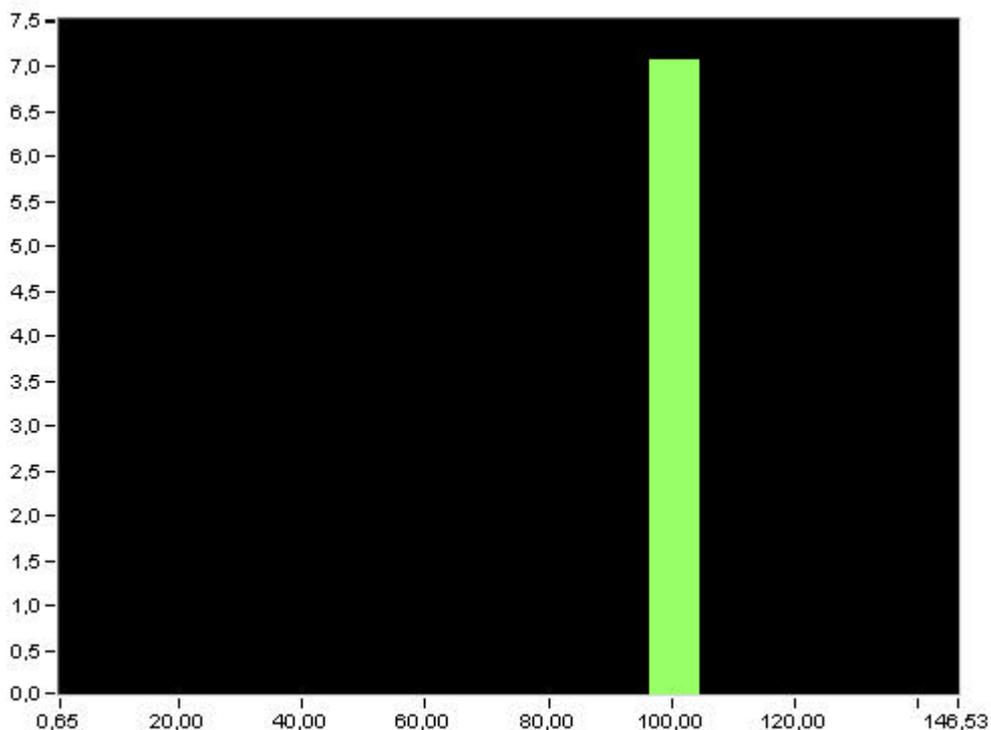


Figura 92: Espectro de sinusóide pura calculada sobre número inteiro de períodos do sinal original

7,07 V, frequência 100 Hz), no segundo assiste-se a um efeito de *fuga espectral*. Esta fuga consiste no aparecimento de potência na vizinhança da frequência em que de facto existe uma componente.

Três erros são visíveis na figura 93:

- A existência de potência em localizações em que não há componentes;
- Um erro de amplitude nas riscas mais próximas da frequência real da sinusóide analisada;
- Um erro de frequência, pois a frequência real de 100 Hz não é detectada.

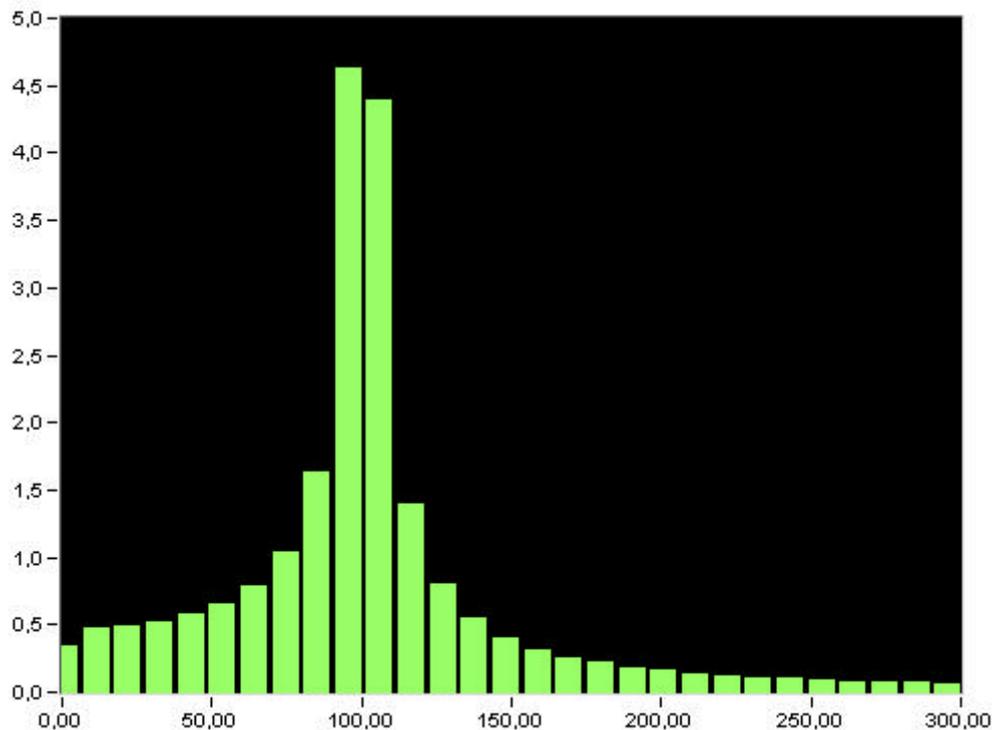


Figura 93: Espectro de senoide pura calculada sobre número meio inteiro de períodos do sinal original e com janela rectangular

Repare-se que a existência de um erro de frequência se demonstra muito facilmente pela relação que existe entre a duração do registo temporal que se efectua e a frequência do sinal original:

A senoide de 100 Hz é amostrada com uma frequência de 5000 Hz. Para um número inteiro de períodos, tomam-se 500 amostras. Assim, a duração do registo temporal é de $T=0,1$ s e a resolução de análise é de $\Delta f=10$ Hz. Esta resolução vai permitir a obtenção de uma amostra do espectro a exactamente 100 Hz.

Para a obtenção de um número meio inteiro de períodos, tomam-se 475 amostras. Com este valor, $\Delta f = \frac{5000}{475} = 10,52631578947$. Este valor de resolução frequencial não permitirá obter uma amostra do espectro exactamente aos 100 Hz.

A minimização dos erros de amplitude e fuga espectral pode ser conseguida ao tentar amostrar-se sempre um número inteiro de períodos do sinal, como já foi referido.

Em alternativa, podem utilizar-se para o cálculo do espectro janelas temporais diferentes da rectangular. Substituindo a janela rectangular por um tipo de janela cujo valor tenda para zero nos extremos do intervalo de amostragem é possível reduzir os efeitos de descontinuidades nesses mesmos extremos. Janelas diferentes da rectangular apresentam lobos laterais mais baixos, e com um decaimento mais rápido da amplitude com a frequência, reduzindo-se assim a fuga espectral. A figura 94 mostra a janela de Hanning (provavelmente o tipo de janela mais utilizada para a

redução dos efeitos descritos). O espectro calculado depois da sua aplicação à sinusóide pode ser visto na figura 95, podendo ser comparado com o que se apresenta na figura 93.

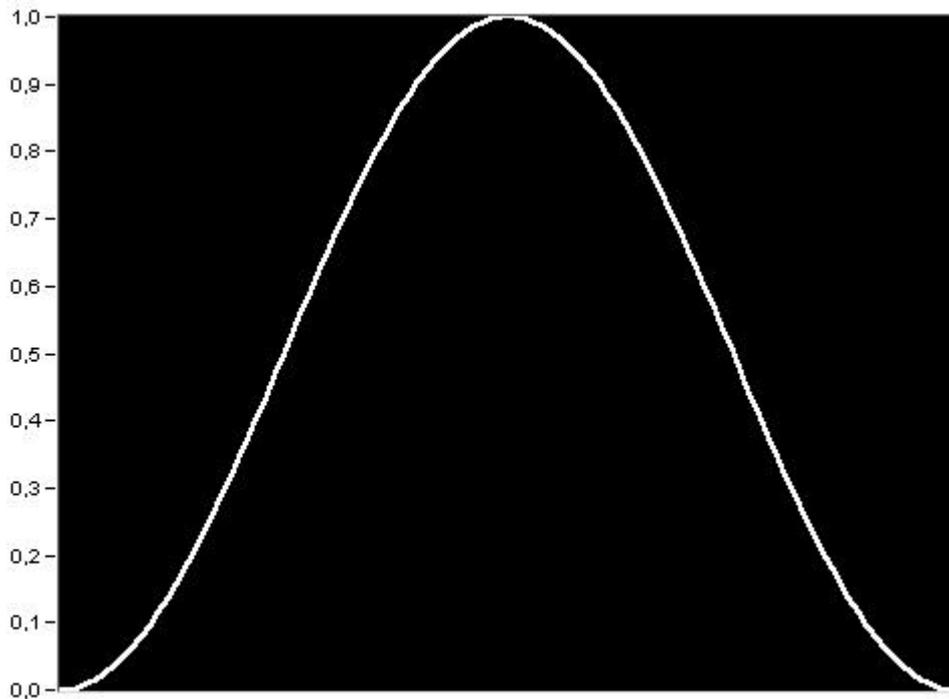


Figura 94: Janela de Hanning

Infelizmente cada uma das diferentes janelas utilizadas tem características próprias, influenciando o resultado do cálculo espectral de maneiras diferentes. Assim, para se poder comparar espectros calculados com diferentes janelas, é necessário efectuar uma correcção das amplitudes obtidas.

Repare-se na figura 95 que a fuga espectral é menor, mas as amplitudes indicadas também o são, apesar de se estar em presença do mesmo sinal original. Na janela de Hanning os lobos laterais são menores e a sua amplitude decai mais rapidamente, mas o lobo principal é mais largo, contribuindo assim para piorar a resolução da análise (esta é de aprox $1,5 \times Df$). Esta largura é denominada *largura de banda de ruído*.

Para comparação de espectros calculados com a mesma janela, a utilização de uma função com janelas que minimizem a fuga espectral tem a vantagem de não se correr o risco de um harmónico importante ficar mergulhado nas fugas de outro com uma amplitude bastante maior.

A análise espectral é objecto de estudo em [10][15][16][17], onde se analisam com toda a profundidade todos os aspectos ligados a este tema, incluindo o efeito das janelas temporais. A tabela 12 resume as características de algumas das janelas disponíveis no programa que foi desenvolvido no âmbito deste trabalho:

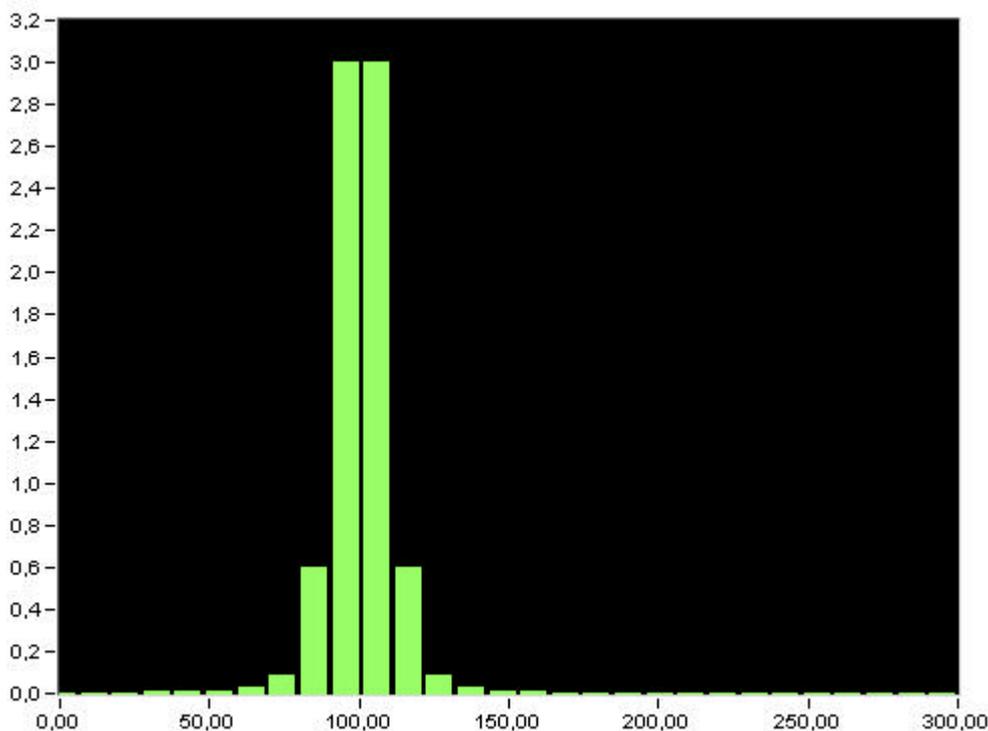


Figura 95: Espectro de senoide pura calculada sobre número meio inteiro de períodos do sinal original com utilização da janela de Hanning

Janela	Nível máximo de lobos laterais (dB)	Decaimento de lobos laterais (dB/década)	Resolução ou largura de banda de ruído(multiplicar por Δf)
Rectangular	-13	20	1
Hanning (Hann)	-32	60	1,5
Hamming	-43	20	1,36
Blackman-Harris	-71	20	1,71
Blackman	-58	60	1,73
Kaiser-Bessel	-69	20	1,8
Flat Top	-44	20	3,77

Tabela 12: Características de janelas temporais

IV.4.4. Análise espectral período a período

O software que se apresenta neste trabalho permite fazer uma análise espectral sobre cada período do sinal individualmente (cada período dos sinais obtidos na máquina de costura corresponde a um ponto de costura).

Para tal, o sinal original é dividido em pequenos blocos, tendo cada bloco a duração de um ponto de costura ou uma rotação da máquina.

O cálculo do comprimento destes blocos, em número de amostras, é feito segundo a seguinte fórmula:

$$N_p = \frac{60 \times f_a}{v_c} \quad (49)$$

Esta divisão tem como objectivo tentar estabelecer uma relação do espectro do sinal com o pico de penetração da agulha em cada ponto de costura. Porém, e embora não tenha sido efectuado um estudo exaustivo destes aspectos, a utilização desta divisão terá à partida o problema da baixa resolução espectral obtida no cálculo da DFT sobre um só período do sinal. De facto, para uma velocidade de costura de 3000 rpm, correspondente a uma frequência de 50 Hz, a resolução de análise é de somente 50 Hz, piorando ainda com o efeito da janela temporal. Assim, será difícil distinguir harmónicos vizinhos. Se, no entanto, o efeito da penetração de agulha puder ser observado numa banda de frequências suficientemente distante do harmónico mais significativo (que é primeiro, o da frequência fundamental do sinal), então esta técnica poderá ser bastante útil para detecção automática da força de penetração da agulha. O seguinte capítulo analisa estes aspectos em maior detalhe.

IV.4.5. Um exemplo prático da aplicação da análise espectral

Numa primeira tentativa de estabelecer uma relação entre os picos de penetração de agulha e os harmónicos gerados, analisaram-se um sinal de força sobre a barra de agulha obtidos com a máquina em operação sem tecido e cinco sinais obtidos na costura (sem linha) de um tecido de ganga grossa e uma agulha de 0,9 mm de diâmetro.

A representação temporal evidencia uma influência significativa da penetração da agulha, como mostra a seguinte figura³:

³ Os valores da escala y não têm significado neste momento, pois o sensor não estava ainda calibrado para fornecer valores de força. No entanto, para o efeito de análise comparativa que se pretendia efectuar neste capítulo, somente era necessária que todas as amostragens se efectuassem nas mesmas condições.

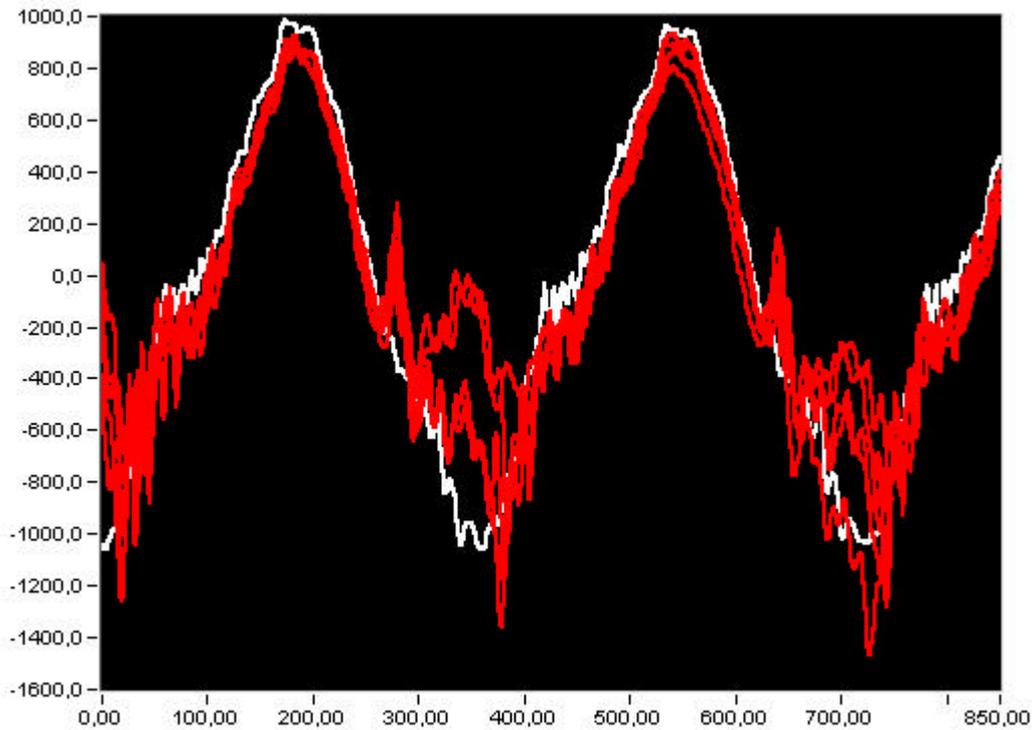


Figura 96: Sinais de força sobre a barra de agulha com tecido (vermelho) e sem tecido (branco). Escala x em graus, escala y sem significado

O espectro dos 5 sinais obtidos na operação da máquina com tecido foram comparados com 5 sinais medidos com a máquina operando sem tecido. Foram detectadas, de facto, diferenças que são reflexo da influência da penetração da agulha:

- Os 1º e 3º harmónicos diminuem com a presença de tecido da máquina. A diminuição do primeiro harmónico explica-se facilmente pelo amortecimento que o tecido produz na componente fundamental da forma de onda, não se tendo encontrado ainda explicação para a diminuição do 3º harmónico;
- Tal como esperado, os harmónicos de ordem superior aumentam na presença do tecido, devido a oscilações e picos provocados pelo mesmo. Assim, foi observado um claro aumento dos harmónicos de ordem 2, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 16 em todas as amostras, tendo sido os harmónicos 5, 6, 9 e 10 aqueles em que esse aumento foi mais acentuado, tendo nesses casos aparecido componentes não nulas em que o sinal obtido sem tecido apresentava valores praticamente nulos.

Demonstra-se assim que é de facto possível detectar no espectro a presença de forças de penetração da agulha.

Tal como descrito em III.10.2, existem dois efeitos que se pretendem separar: o pico inicial de contacto da ponta da agulha com o tecido e a penetração do seu corpo. O primeiro é possível medir directamente no sinal temporal, pela técnica que foi descrita em III.10.2 e IV.3.

Na tentativa de relacionar a amplitude deste pico, de penetração da ponta da agulha, com a amplitude dos harmónicos que sofrem alteração, procurando-se uma relação linear entre ambos os valores, foram calculadas para cada uma das 5 amostragens

com tecido a média das amplitudes de picos de penetração. As 5 amostras foram ordenadas por ordem crescente desta força média e foram comparados os valores dos harmónicos 5, 6, 9 e 10 das respectivas amostragens:

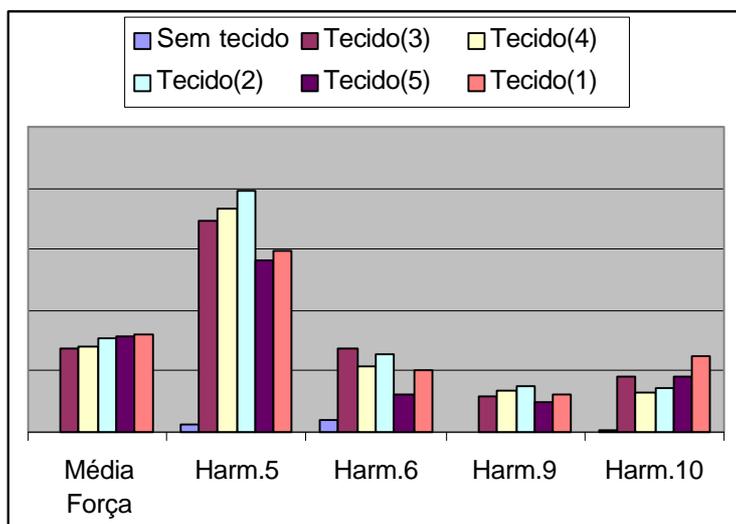


Figura 97: Força média do pico inicial de penetração e valor de alguns harmónicos do espectro de 5 amostragens efectuadas com tecido

É visível, nesta figura, o aumento dos referidos harmónicos com a presença do tecido, mas não é possível estabelecer uma relação entre o valor do pico de penetração e o valor de qualquer dos harmónicos em análise. Note-se que os harmónicos 9 e 10 são de amplitude tão reduzida nas amostragens efectuadas sem tecido que não aparecem sequer neste gráfico.

A segunda tentativa para estabelecer uma relação entre o que é observado no sinal temporal e no seu espectro foi tentar incluir na comparação a duração do pico de penetração. Assim, calculou-se o produto *força x duração do pico*, efectuando-se a mesma comparação com os valores dos harmónicos:

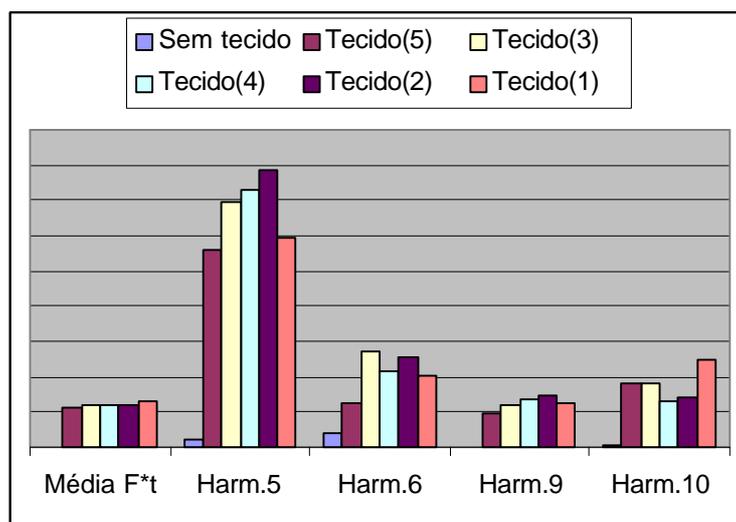


Figura 98: Média de produto força do pico inicial de penetração x duração e valor de alguns harmónicos do espectro de 5 amostragens efectuadas com tecido

Também desta forma não é possível estabelecer qualquer tipo de relação.

No entanto, este tipo de análise revela-se promissora, pois o efeito da agulha não se limita à penetração inicial da sua ponta, sendo por isso compreensível que esta primeira abordagem, tão simples quanto possível, não forneça os resultados desejados. Um estudo mais cuidado e extensivo poderá, certamente, levar a resultados mais interessantes.

O passo seguinte é a tentativa de subdividir o sinal em períodos, calcular o espectro de cada um deles e aplicar o mesmo tipo de estudo. Como já foi referido, a resolução espectral fica bastante limitada quando é feito o cálculo do espectro de um só período, ficando assim fundidos as amplitudes de harmónicos vizinhos. Mas mesmo assim é encorajador o resultado obtido, sendo necessário aqui considerar bandas de frequências em vez de harmónicos individuais.

A figura 99 mostra dois períodos de uma das amostras em que no primeiro há uma interacção grande (1º caso, azul), no segundo uma interacção pequena (2º caso, verde) entre agulha e tecido:

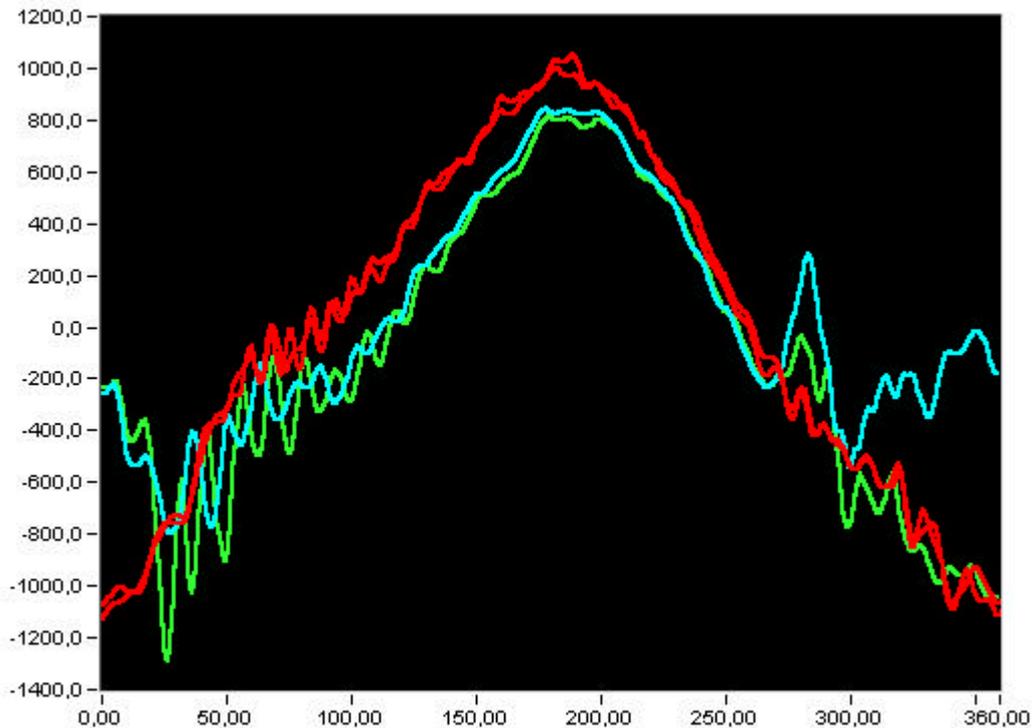


Figura 99: Dois períodos de uma amostra, em que houve grande e pequena interacção da agulha com o tecido (azul e verde respectivamente), em comparação com sinal obtido sem tecido

A dependência da amplitude do módulo do espectro com a interacção que houve entre agulha e tecido, à semelhança do que acontece na análise sobre o registo completo, fica registada na figura 100:

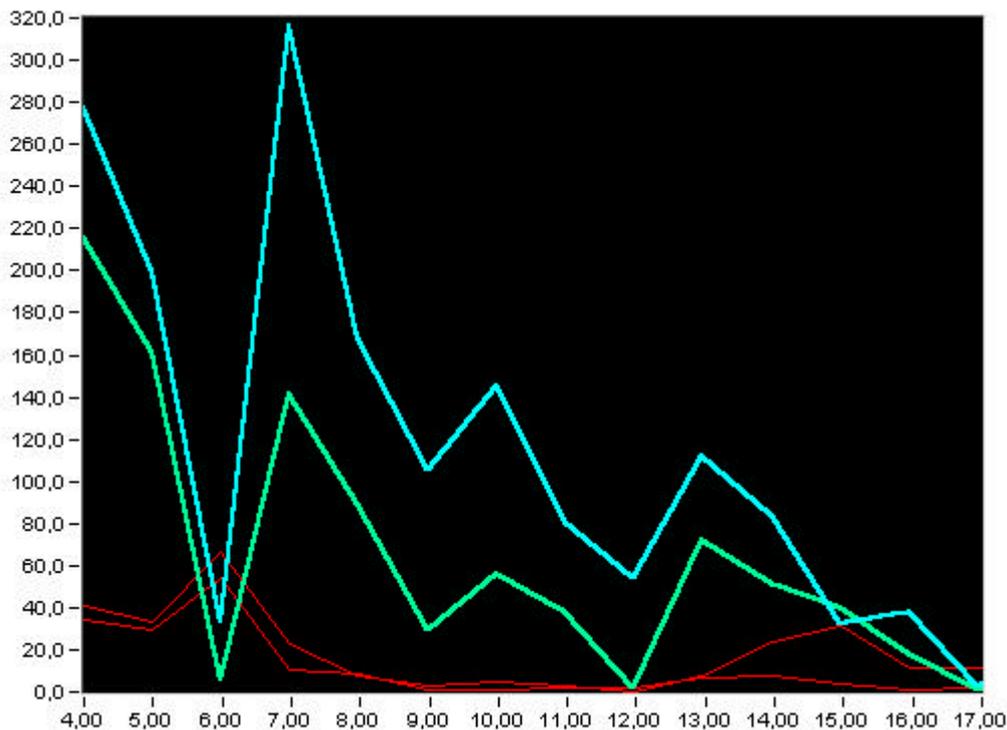


Figura 100: Harmônicos 4 a 17 do espectro dos sinais da figura anterior em comparação com espectro de dois períodos de sinal obtido sem tecido

Note-se no entanto que a subdivisão em períodos efectuada desta forma acabou por dividir uma penetração de agulha a meio, pois o início da amostragem efectua-se com a agulha no seu ponto mais baixo. A aplicação desta análise será mais fácil se o sincronizador da máquina de costura for afinado de tal forma a fornecer o impulso de início de aquisição quando a agulha estiver fora do tecido.

IV.4.6. Análise espectral e outras técnicas

A análise espectral revela-se uma técnica da qual se esperam bons resultados no esforço de automatizar completamente a medição da interacção agulha-tecido. Para se conseguir este objectivo será necessária uma investigação cuidada e extensiva, que permita relacionar completamente os efeitos a estudar e as suas repercussões no espectro do sinal. No estabelecimento dessas relações, será certamente muito útil a utilização do subpainel de filtragem digital, que com as suas ferramentas permite eliminar bandas de frequência, podendo-se assim estabelecer uma relação entre os efeitos no domínio dos tempos com as características do espectro do sinal.

Para a extracção das características pretendidas deste sinal é também previsível a utilização de outras técnicas de análise. Sendo a análise de Fourier uma decomposição em componentes sinusoidais, podem considerar-se outro tipo de decomposições para esta tarefa.

Uma técnica que tem fornecido bons resultados em inúmeras aplicações é a decomposição do sinal utilizando “*wavelets*”. Esta consiste na correlação do sinal com uma gama de sinais-base em diferentes escalas de tempo e frequência. A escolha do sinal-base, denominado por “*mother wavelet*” é feita em vista do tipo de característica que se procura no sinal. Assim, poderão definir-se *mother wavelets* adaptadas à detecção dos efeitos que se descreveram anteriormente. Embora no decurso deste trabalho tenha sido feita uma pequena incursão aos fundamentos desta técnica, o assunto não foi explorado pela sua extensão e complexidade, que tornariam este trabalho demasiado prolongado.

Outra técnica que poderá eventualmente levar a resultados, e que será mais rápida e facilmente implementada, é a análise cepstral. Esta análise permite procurar periodicidades no espectro de um sinal fazendo o espectro de um espectro (com uma operação anterior em que são amplificados os harmónicos de menor valor através da aplicação de um logaritmo). O sentido de tentar encontrar-se esta periodicidade consiste no facto de frequentemente um factor estranho a um determinado sinal (caso da presença de tecido na força sobre a barra de agulha) gerar uma família completa de harmónicos. A observação do espectro do sinal pode assim não levar a resultados conclusivos, pois a informação espalha-se por uma banda de frequências, misturando-se com outros efeitos. A análise cepstral poderá possivelmente concentrar esta informação numa só risca (rahmónico)⁴.

IV.5. Filtragem digital

O subpainel de filtragem digital permite ao utilizador efectuar operações de filtragem sobre os sinais obtidos de modo a tentar eliminar do sinal bandas de frequência em que não haja informação útil, recebendo como resultado um sinal que contém somente os efeitos que se pretendem estudar.

Assim, o utilizador pode, por exemplo, tentar filtrar o efeito da aceleração da barra de agulha em sinais de força sobre a mesma. Para tal, deve caracterizar um sinal que tenha sido amostrado sem presença do tecido. O conteúdo espectral desse sinal é irrelevante para o estudo que se pretende efectuar. O sinal que resulta da operação de filtragem poderá conter somente os efeitos da interacção tecido-agulha, sendo mais fácil de analisar, tanto no domínio dos tempos como no domínio das frequências.

Toda a técnica de análise espectral que foi apresentada no capítulo anterior poderá eventualmente tornar-se mais simples quando efectuada sobre sinais filtrados.

É de notar que também aqui é possível aplicar a operação de análise (neste caso a filtragem), sobre o registo completo ou sobre cada período do sinal individualmente.

No caso de se aplicar a filtragem sobre cada período individualmente, são efectuadas tantas filtrações quantos períodos inteiros houver no sinal que se adquiriu. Os estados internos do filtro são inicializados no início da filtragem de cada bloco de dados individual. O utilizador pode obter o resultado de cada uma das filtrações em sinais individuais ou num só sinal por justaposição dos mesmos.

⁴ Na análise cepstral, as designações são convertidas: cepstro-espectro; rahmónico-harmónico, quefrência-frequência, lifragem-filtragem. A escala de quefrências é dada em tempo.

A filtragem digital, embora implementada no software desenvolvido, é uma técnica que foi ainda pouco explorado no decurso deste trabalho. Este capítulo limitar-se-à a apresentar um resumo das características dos diversos tipos de filtros e filtrações disponíveis ao utilizador.

IV.5.1. Tipos de filtragem

É possível no subpainel de análise efectuar 4 tipos de filtragem:

- **Passa-baixo:** Eliminação de componentes espectrais que se situam acima da frequência de corte definida;
- **Passa-alto:** Eliminação de componentes espectrais que se situam abaixo da frequência de corte definida;
- **Passa-banda:** Eliminação de componentes espectrais que se situam fora do intervalo definido pela frequência inferior e superior de corte;
- **Rejeição de banda:** Eliminação de componentes espectrais que se situam dentro do intervalo definido pela frequência inferior e superior de corte.

É de salientar que a definição das frequências de corte não é arbitrária. Duas condições deverão ser cumpridas:

- A frequência de corte superior deve ser maior que a inferior;
- Nenhuma das duas frequências de corte pode exceder metade da frequência de amostragem do sinal (frequência de Nyquist).

IV.5.2. Tipos de filtros

Um filtro multiplica cada componente espectral por um determinado ganho (reciprocamente, pode dizer-se que tem determinada atenuação) e desloca essa componente no tempo de uma determinada fase.

Idealmente, um filtro deveria

- Rejeitar todas as componentes espectrais na banda de corte (ganho nulo para essas componentes)
- Não afectar as componentes situadas na banda passante (ganho unitário na banda passante);
- Ter fase linear, isto é, deslocar cada componente espectral de uma fase proporcional à sua frequência, evitando-se assim o que é chamado de *distorção de fase*.

Entende-se por *banda passante* de um filtro a banda de frequências que não devem ser afectadas pela filtragem (“que passam”) e por banda de corte a banda de frequências cujas componentes espectrais devem ser eliminadas.

A característica de um filtro ideal, em termos do seu ganho, está representada na próxima figura:

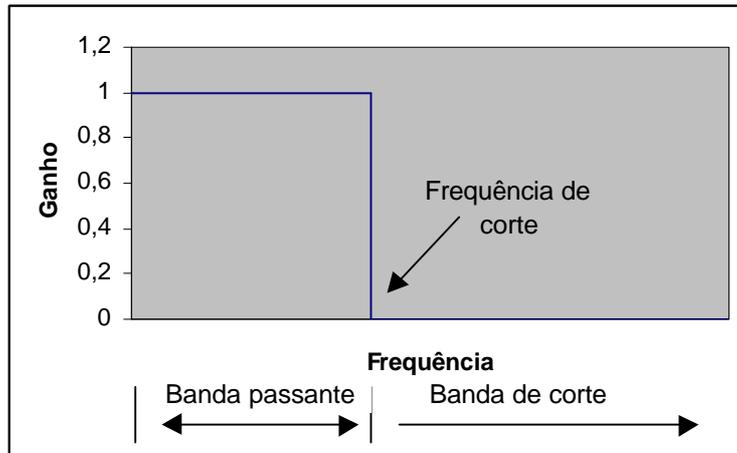


Figura 101 : Ganho de um filtro ideal

(O ganho de filtros é normalmente dado em dB (decibéis), que é uma unidade logarítmica obtida pela seguinte fórmula:

$$20 \times \log(A) \quad (50)$$

em que

A: Ganho do filtro.

Nesta unidade, um ganho unitário corresponde a 0 dB, e uma diminuição de 20 dB corresponde à diminuição do ganho de um factor de 10.

Naturalmente que os filtros reais, sejam eles analógicos ou digitais, não têm respostas ideais. Assim, convém referir rapidamente as características dos filtros disponíveis, que são os seguintes:

- Butterworth
- Chebyshev
- Chebyshev II
- Elíptico
- Bessel

Todos estes filtros são filtros do tipo IIR (Infinite Impulse Response). A sua utilização tem como vantagem a rapidez de execução e um gasto e memória inferior. Em contrapartida, a sua resposta de fase não é tão linear quanto a de filtros do tipo FIR (Finite Impulse Response).

Para verificar a resposta de um filtro o utilizador pode utilizar o botão “Mostrar resposta”, podendo visualizar o ganho ou a fase da mesma. A rotina que calcula esta resposta é fornecida nas livrarias de análise do LABVIEW, tendo sido adaptada para uso no software que se desenvolveu. A resposta é obtida por cálculo do espectro da

resposta temporal do filtro a um impulso (um sinal cujo valor é 1 em $t=0$, 0 em $t > 0$). Esta rotina será objecto de análise em capítulo próprio.

Em comum a todos os filtros digitais está o facto de necessitarem de um determinado número de amostras para que a sua resposta estabilize. Este número de amostras é proporcional ou igual à ordem do filtro.

IV.5.2.1. Filtros tipo Butterworth

Os filtros do tipo Butterworth caracterizam-se por uma resposta suave (plana) na banda passante e de corte, em que as componentes de todas as frequências sofrem a mesma atenuação.

A partir da frequência de corte, a atenuação do filtro aumenta suavemente. A taxa de aumento desta atenuação com a frequência (que corresponde à taxa de diminuição do ganho) é determinada pela ordem do filtro. Quanto maior for a ordem, mais rapidamente o ganho diminui com a frequência. Para ordens altas, o filtro aproxima-se de um filtro ideal em termos de atenuação, mas a fase torna-se menos linear.

A seguinte figura mostra a simulação da resposta de um filtro passa-baixo do tipo Butterworth de ordem 10, com uma frequência de corte de 100 Hz. A escala y é em dB (decibéis), 0dB na banda passante corresponde a um ganho de 1, ou seja, ausência de atenuação.

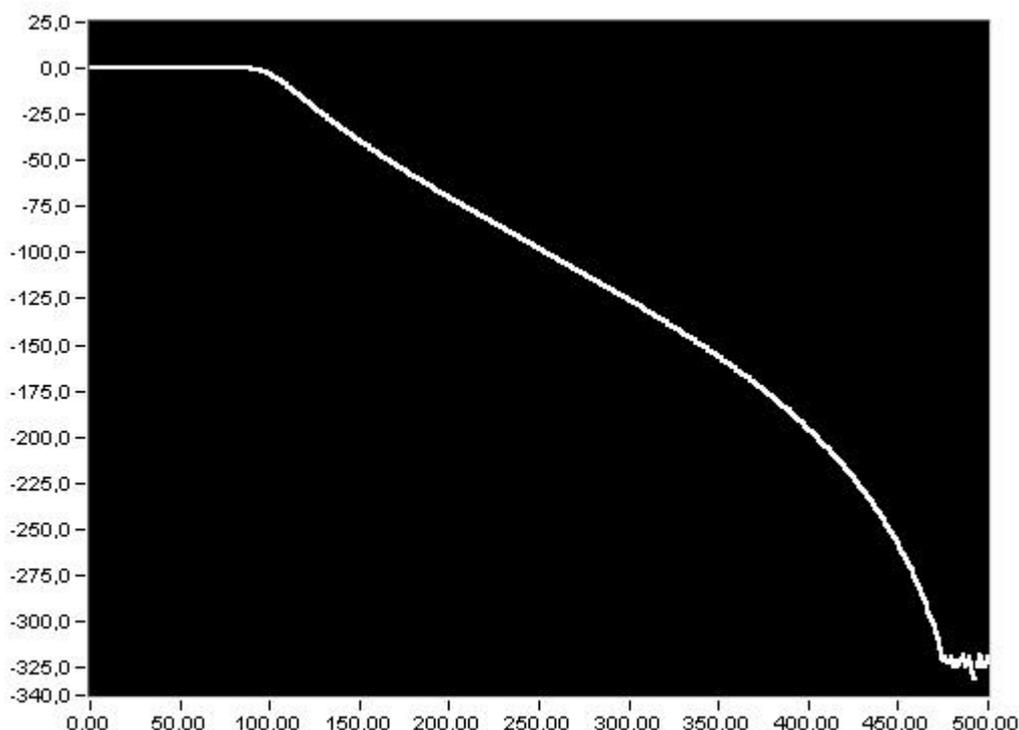


Figura 102: Resposta de filtro passa-baixo Butterworth de ordem 10, frequência de corte 100 Hz

IV.5.2.2. Filtros tipo Chebyshev

O filtro Chebyshev garante uma diminuição mais rápida do ganho a partir da frequência de corte, permitindo assim reduzir o erro resultante de o sinal filtrado conter ainda componentes espectrais não desejadas.

Em contrapartida, a sua resposta não é tão suave na banda passante. Existe uma oscilação de ganho dependente da frequência, denominada de *ripple*. O ripple máximo que se deseja pode ser fixado, e quanto maior for, maior poderá ser a taxa de decaimento do ganho.

Na próxima figura pode observar-se a resposta de um filtro passa-baixo Chebyshev de ordem 10, frequência de corte 100 Hz com um ripple máximo na banda passante definido como 5 dB. Perto da frequência de corte a atenuação cresce mais rapidamente neste tipo de filtro do que em filtros Butterworth.

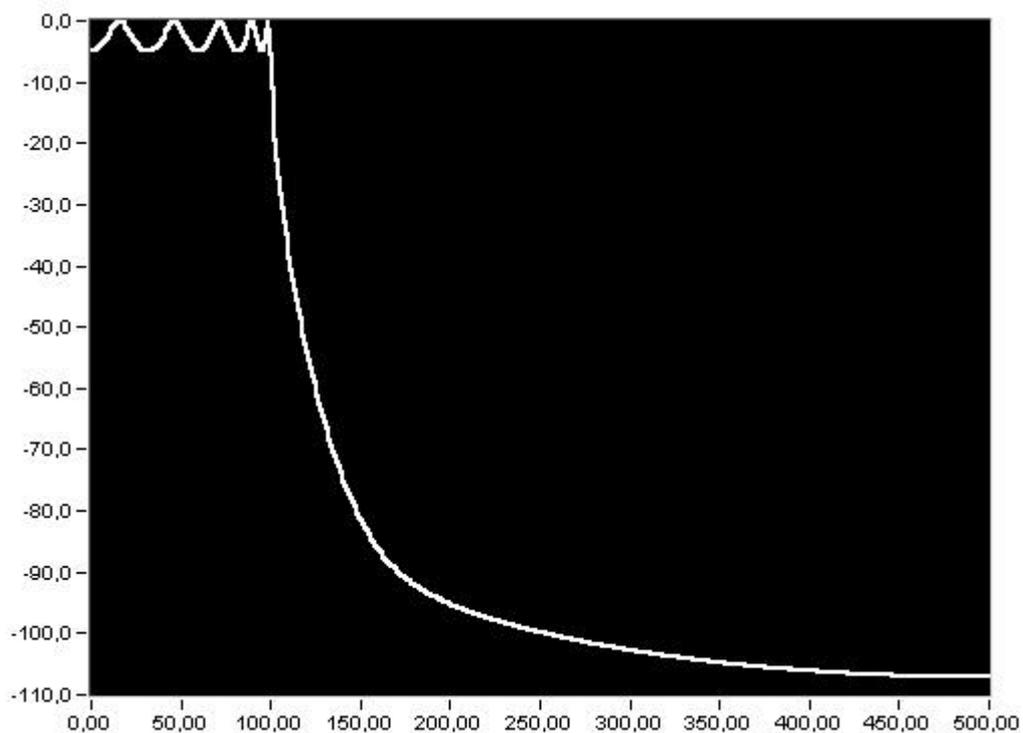


Figura 103: Resposta de filtro passa-baixo Chebyshev de ordem 10, frequência de corte 100 Hz e ripple máximo da banda passante de 5 dB e

IV.5.2.3. Filtro tipo Chebyshev II (Chebyshev inverso)

Este tipo de filtros tem um comportamento inverso ao do filtro Chebyshev no que diz respeito ao ripple: Este vem distribuído pela banda de corte, apresentando o filtro uma resposta plana na banda passante. O decaimento rápido do ganho a partir da frequência de corte mantém-se como vantagem.

A seguinte figura mostra a resposta de um filtro passa-baixo Chebyshev inverso nas mesmas condições das respostas apresentadas para o filtro Chebyshev. Note-se que

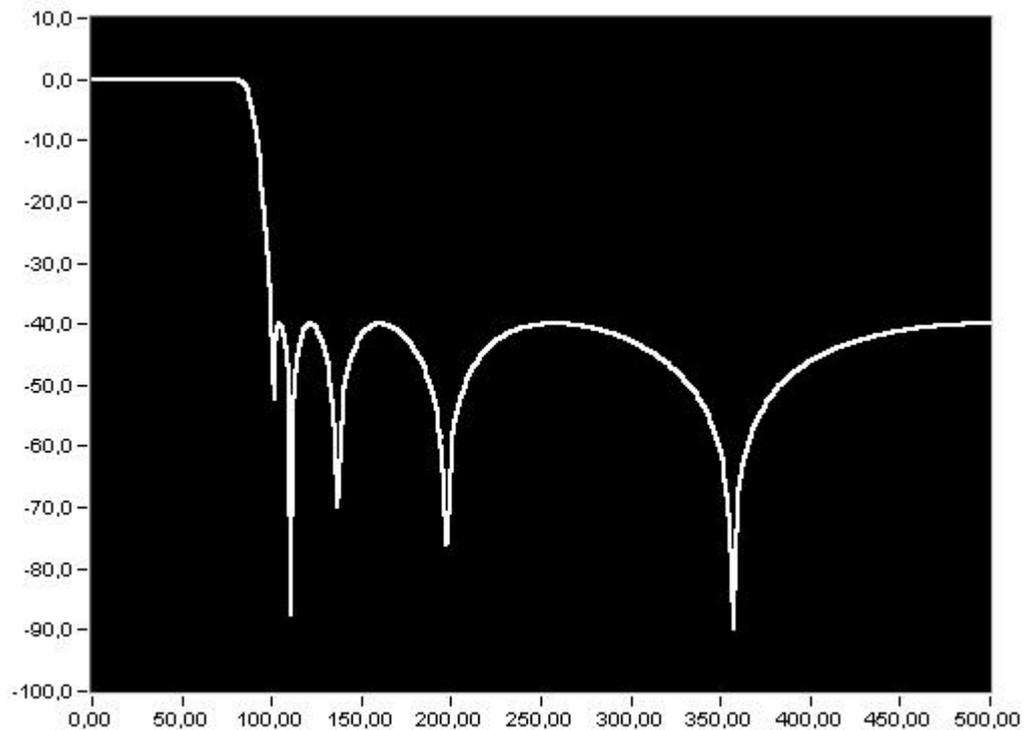


Figura 104: Resposta de filtro passa-baixo Chebyshev inverso de ordem 10, com frequência de corte 100 Hz e atenuação mínima de 40 dB

neste tipo de filtro é definida uma atenuação mínima na banda de corte em vez de um ripple máximo na banda passante.

IV.5.2.4. Filtro tipo Elíptico

Os filtros do tipo Elíptico distribuem o ripple da sua resposta pelas bandas passante e de corte. Comparados com filtros Butterworth e Chebyshev da mesma ordem, garantem uma transição mais rápida junto à frequência de corte (dependendo da configuração), sendo por isso bastante utilizados. A seguinte figura mostra a resposta típica de um filtro passa-baixo deste tipo:

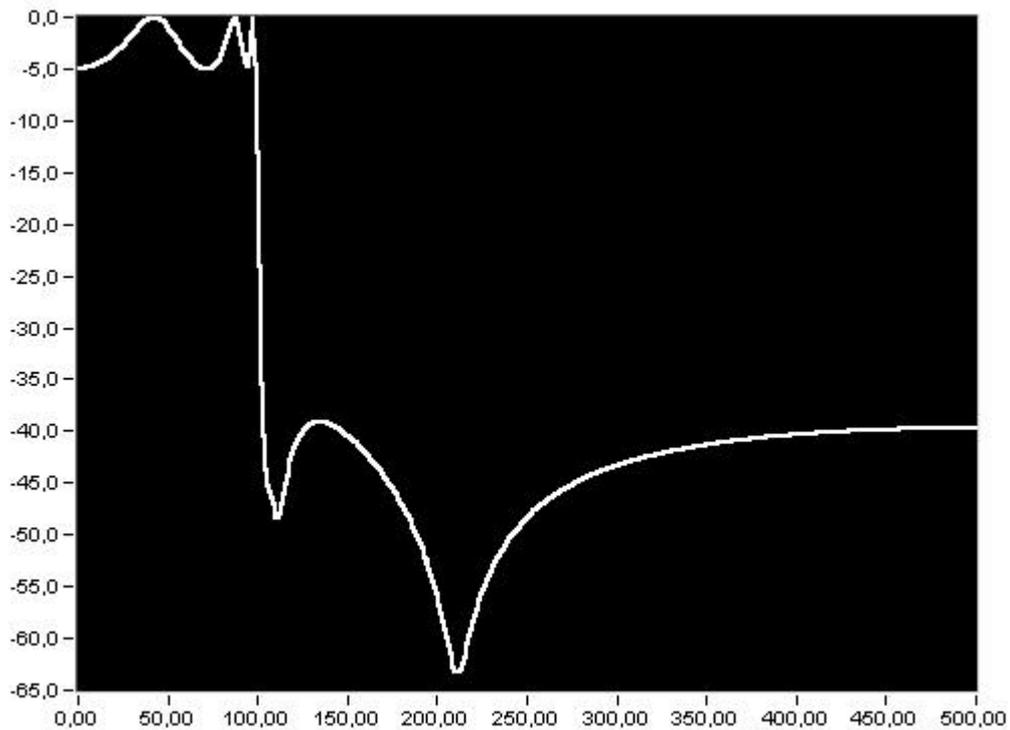


Figura 105: Resposta de filtro passa-baixo Elíptico de ordem 10, frequência de corte 100 Hz, ripple máximo 5 dB e atenuação mínima 40 dB

Na utilização deste tipo de filtros é necessária a indicação de um ripple máximo na banda passante e de uma atenuação mínima na banda de corte.

IV.5.2.5. Filtros tipo Bessel

Os filtros tipo Bessel têm uma resposta suave e plana nas bandas passante e de corte, semelhante à resposta dos filtros tipo Butterworth.

A sua grande vantagem reside no facto de apresentar uma fase quase linear na banda passante, o que permite evitar distorções não-lineares de fase, que ocorrem em situações em que componentes espectrais de frequências diferentes são deslocadas de fases diferentes.

Este facto é particularmente notório em filtros de ordens altas. Os filtros tipo Bessel permitem manter uma fase quase linear mesmo em ordens altas, mas a sua transição de banda passante para banda de corte é menos rápida que a dos demais filtros.

As duas próximas figuras mostram a resposta de fase de filtros Bessel e Elíptico de igual ordem. É de salientar que o filtro Bessel mantém a sua fase quase linear mesmo na vizinhança da frequência de corte, ao contrário dos restantes filtros do tipo IIR.

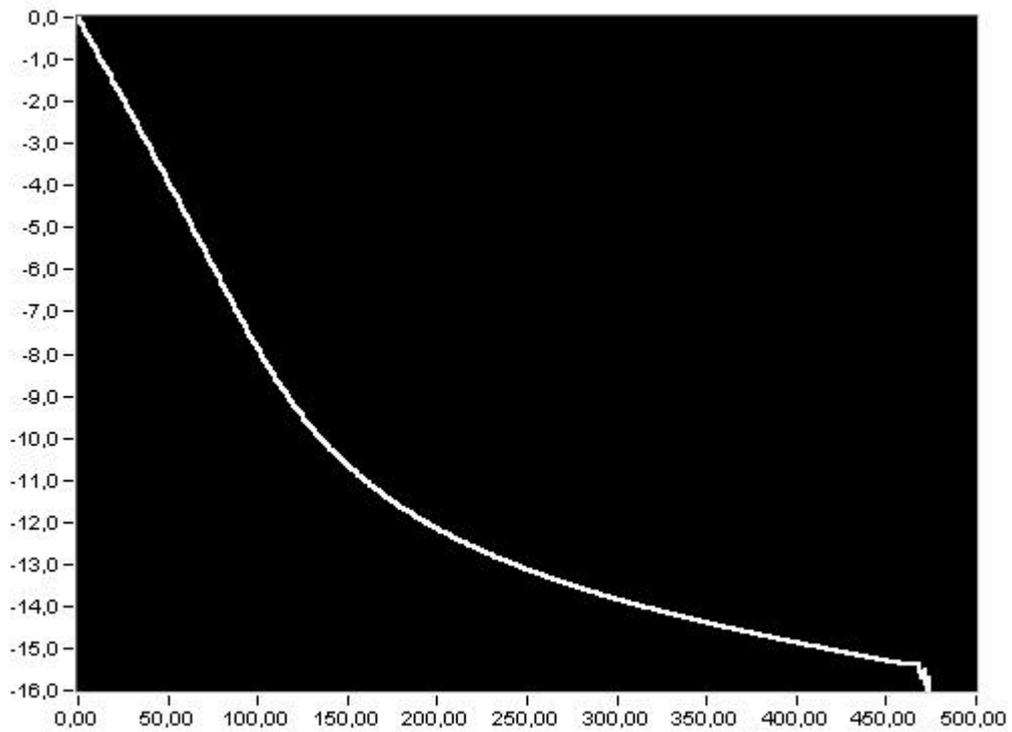


Figura 106: Fase de filtro passa-baixo Bessel de ordem 10, frequência de corte 100 Hz. Escala y en radianos

O gráfico de ganho de um filtro deste tipo está representado na próxima figura:

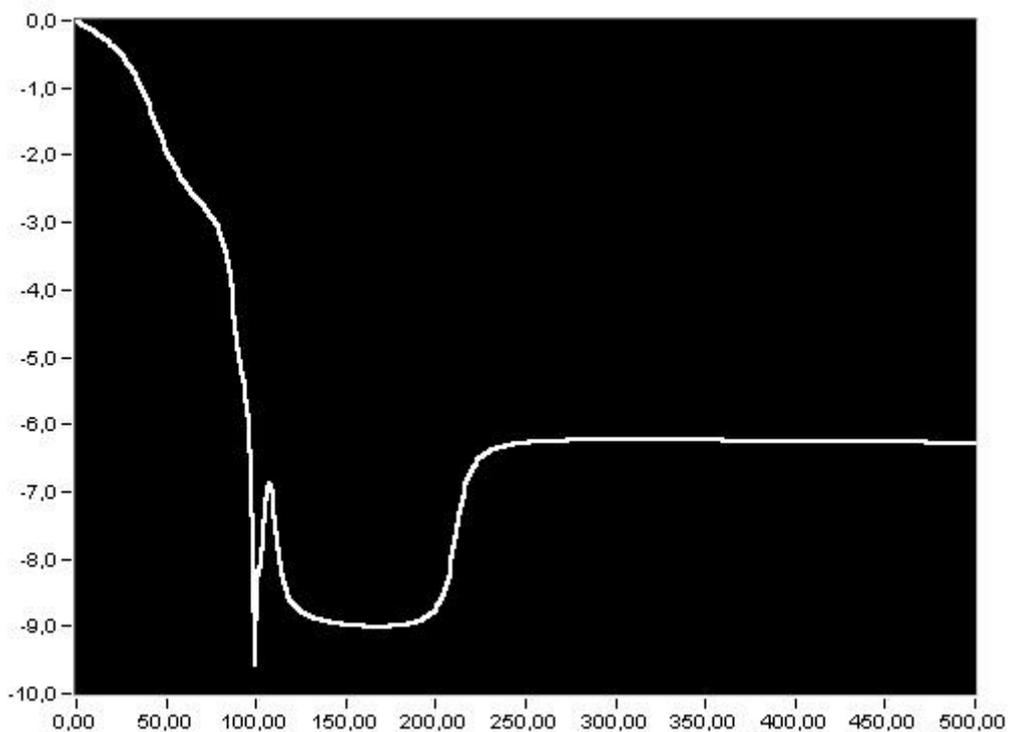


Figura 107: Fase de filtro passa-baixo Elíptico de ordem 10, frequência de corte 100 Hz. Escala y en radianos.

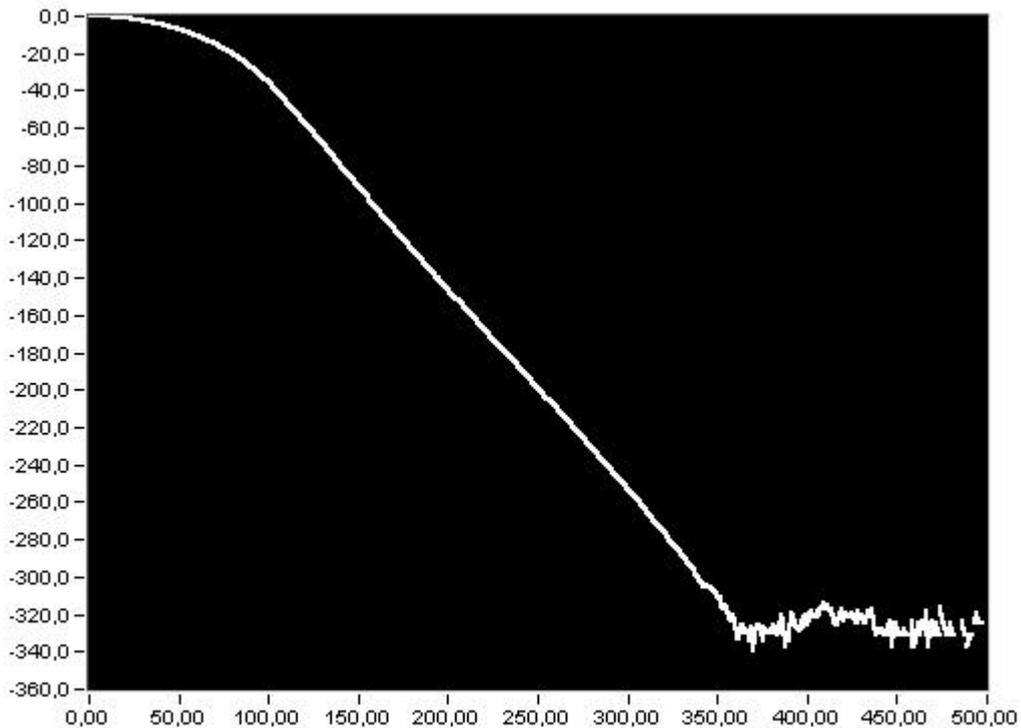


Figura 108: Resposta de filtro passa-baixo Bessel de ordem 10, frequência de corte 100 Hz

IV.5.3. Simulação da resposta de filtros

Os gráficos de resposta de filtros apresentados no capítulo anterior foram obtidos no *Painel de Análise* através do botão “**Mostrar resposta**”.

A simulação aí implementada está baseada no facto de a resposta em frequência de um filtro ser o espectro da sua resposta a um impulso.

A subrotina aplica ao filtro escolhido, na configuração definida pelo utilizador (frequências de corte, ordem, atenuações, ripple) um vector de 1024 pontos. Este vector contém no seu elemento de índice 0 um valor de 1, e um valor nulo em todos os restantes elementos.

De seguida é calculado o espectro da resposta do filtro a esse impulso, e convertido para uma notação polar (módulo e fase), sendo o módulo depois apresentado em dB, a fase em radianos.

Como em todos os cálculos de espectro, a resolução frequencial é de

$$\Delta f = \frac{f_a}{N} \quad (51)$$

(sendo neste caso $N=1024$) e estende-se desde 0 até $\frac{f_a}{2} - \frac{f_a}{N}$.

A subrotina utiliza como frequência de amostragem a frequência de amostragem do sinal seleccionado nos registos permanentes. Para obter boas resoluções desta

simulação, deve ser escolhido um sinal que tenha uma frequência de amostragem baixa, mas superior às frequências de interesse, pois as frequências de corte devem ser sempre menores que $\frac{f_a}{2}$.

IV.6. Cálculo de energia de um sinal

Para complementar o painel de análise com mais uma ferramenta que permita analisar resultados de amostragens ou de filtragens sobre essas amostragens foi implementado no subpainel de operações miscelâneas uma rotina de cálculo de energia de um sinal.

Esta rotina divide o sinal em períodos e para cada um destes períodos calcula a energia segundo a seguinte fórmula:

$$\sum_{i=0}^{k-1} A_k^2 \times \Delta t \quad (52)$$

em que

k : Comprimento, em nº de amostras, de um período do sinal

A_k : Amostra k do sinal adquirido

Δt : Tempo de uma amostra (intervalo de amostragem), $\Delta t = \frac{1}{f_a}$

É necessário dizer que o termo energia deve ser entendido como o integral de uma variável que é quadrada – para se poder dimensionar esta energia como uma energia física deve ter-se em conta a unidade em que o sinal A é baseado.

V. Sumário e Conclusões

V.1. Sumário

Neste trabalho foi realizado o desenvolvimento de um sistema de medição dinâmica de parâmetros de funcionamento de uma máquina corta-e-cose industrial, tendo o projecto tomado como base de partida um sistema já existente.

No que respeita ao hardware, pretendeu-se melhorar a sua exactidão e precisão, e especialmente o seu comportamento dinâmico, característica fundamental tendo em vista a natureza dos parâmetros a medir. Para tal, foram estudadas cuidadosamente as especificações necessárias para os sensores e para os circuitos de condicionamento, tendo este estudo resultado na construção, por parte de uma firma especializada, de sensores de força para medição da tensão de linha desenhados especialmente para a aplicação, e num conjunto de especificações para o desenvolvimento do hardware. O respectivo projecto foi desenvolvido por um aluno estagiário do curso de Engenharia Electrónica Industrial sob supervisão do autor deste trabalho e seus orientadores.

Ainda no que diz respeito ao hardware, foi introduzido um conjunto de funcionalidades não existente, e foi implementada a sua montagem física num suporte adequado a um funcionamento fiável.

O software foi desenvolvido em conformidade com as necessidades dos investigadores da área têxtil.

Foi utilizado um ambiente de programação específico de aplicações de instrumentação, tendo assim sido possível implementar um conjunto de ferramentas de aquisição, visualização gráfica, análise e armazenamento dos sinais em estudo integradas num só pacote.

A inclusão de ferramentas de análise “standard” e o desenvolvimento de módulos de software capazes de efectuar tarefas de análise específicas da aplicação, bem como as potentes ferramentas de visualização gráfica disponíveis, possibilitarão aos investigadores desta área atingir um maior rendimento na obtenção de resultados e na preparação de uma eventual detecção automática das características dos sinais em estudo. Assim, e no esforço de facilitar este estudo, algumas rotinas desenvolvidas permitem automatizar determinadas tarefas de medição efectuadas manualmente antes deste trabalho.

Noutros casos foram apresentadas alternativas aos métodos utilizados até ao momento, na forma de técnicas de análise utilizadas extensivamente em outras áreas científicas. Os fundamentos teóricos subjacentes a essas técnicas foram abordados neste documento, tendo sido efectuado também trabalho que permitiu validar a sua utilidade e exemplificar a sua utilização.

V.2. Resultados e conclusões

Tendo este projecto visado a introdução de melhorias ou de novas funcionalidades em diversos elementos do sistema de medida, apresentam-se os resultados do trabalho segundo cada um dos referidos elementos

V.2.1. Sensores

O estudo cuidadoso das características dos sensores a utilizar resultou na manutenção dos sensores de força piezoelétricos já existentes, e na especificação e aquisição de novos sensores para a tensão de linha.

No que diz respeito à medição da força sobre a barra de agulha e calcador com sensores piezoelétricos, conclui-se que:

- Apesar de os sensores apresentarem frequências de ressonância muito superiores à largura de banda esperada do sinal⁵, a medição dos efeitos de penetração da agulha em tecidos com velocidades de costura superiores a 3000 pontos por minuto fica comprometida pela resposta dinâmica do sensor ou do conjunto mecânico barra de agulha-sensor. A utilização de outros tipos de sensores carece de um estudo do sensor e alteração mecânica da máquina extensivos; não havendo perspectivas certas de se conseguir rapidamente melhorar esta característica, e sendo o seu restante funcionamento eficaz, optou-se por continuar a utilização deste tipo de sensores;
- Os sensores piezoelétricos são incapazes de medir fenómenos estáticos, funcionando o conjunto sensor-condicionador como um filtro passa-alto. Este problema é particularmente grave na medição da força do calcador, em que há valores estáticos e médios interessantes para a análise. Em geral, esta característica traduz-se na impossibilidade de se obter valores absolutos de força, devendo ter-se em conta que os valores obtidos são valores relativos.
- As restantes características deste tipo de sensores são satisfatórias; a sua precisão e exactidão é alta, o seu comportamento dinâmico adequado para velocidades baixas a médias, a sua montagem na máquina é correcta na barra de agulha, necessitando de revisão no calcador.

A análise dos sensores de tensão de linha antigos mostrou a necessidade de serem desenvolvidos novos dispositivos para esta função. O conjunto de especificações resultantes desta análise foi respeitado pelo fabricante dos sensores, tendo resultado em dispositivos com as seguintes características:

- Sensibilidade suficiente para permitir um condicionamento simples e com boa relação sinal-ruído;
- Boa linearidade;
- Baixa histerese;
- Flexão residual desprezável e por isso boa estabilidade de zero;
- Maximização da largura de banda através da maximização da frequência de ressonância, respeitando o compromisso deste valor com uma sensibilidade

⁵ A resposta em frequência exacta do sensor não é especificada pelo fabricante. Assumindo que o comportamento é o de um sistema de 2ª ordem, a largura de banda deveria chegar até perto da frequência de ressonância (cerca de 200kHz) sem atenuação significativa.

adequada⁶. Os testes efectuados permitem concluir que a resposta dinâmica melhorou em relação aos sensores anteriores, só uma experimentação prática poderá mostrar se este aspecto necessita ser estudado com ainda maior rigor.

V.2.2. Hardware de condicionamento

O estudo e especificação do hardware resultaram em circuitos com todas as funcionalidades necessárias para a aplicação em vista, devidamente montados em placa de circuito impresso, protegidos e blindados por uma caixa metálica que serve como seu suporte. A sua exactidão e resposta dinâmica foram estudadas e testadas de forma a garantir que fossem no mínimo melhores que as dos sensores. As seguintes funcionalidades e componentes foram introduzidos em todos os canais de condicionamento:

- Ganho programável;
- Regulação manual de zero e regulação manual complementar de ganho;
- Filtros passa-alto comutáveis;
- Filtros anti-aliasing nas saídas.

Na placa de condicionamento dos sensores piezoelétricos, e devido às características particulares destes, foi ainda introduzido um detector de pico e respectivos elementos de controlo para facilitar a calibração dos sensores.

Foi ainda incluído um circuito de isolamento e condicionamento para o sinal de sincronismo proveniente do motor da máquina, sinal que é fundamental para a correcta iniciação das aquisições e para o cálculo da velocidade de costura.

V.2.3. Software

O software para a aplicação foi desenvolvido num ambiente LABVIEW, ambiente de programação gráfica da National Instruments vocacionado para aplicações de instrumentação, que permitiu a implementação de um grande conjunto de funcionalidades que seriam mais difíceis e morosas de por em prática com um pacote de programação convencional.

As funções do software desenvolvido dividem-se em 5 grupos fundamentais:

- Aquisição e controlo do hardware de aquisição e externo de condicionamento;
- Calibração do sistema de medida;
- Visualização de sinais;
- Análise de sinais;
- Armazenamento de sinais em ficheiros.

⁶ A frequência de ressonância e a sensibilidade do sensor estão relacionadas com as dimensões da barra utilizada, a melhoria de um dos parâmetros reflecte-se numa perda no outro.

Relativamente ao software existente, praticamente todas as funcionalidades que se descrevem de seguida são novas.

V.2.3.1. Aquisição e controlo do hardware de aquisição e externo de condicionamento

A aquisição de sinais é facilitada pela preparação de uma aquisição por temporização ou por contagem de pontos. O utilizador pode agora escolher um método de preparação e acelerar convenientemente a máquina de costura antes de a aquisição ser iniciada. O problema de sincronização do início da aquisição com o ciclo de costura está convenientemente resolvido com a utilização do sinal de sincronismo como sinal de trigger para a aquisição.

A velocidade de costura é medida automaticamente, sendo um parâmetro fundamental não só a título informativo, como também para a conversão de escalas.

Quando é efectuada uma aquisição, é associado ao sinal um conjunto de informação importante, que caracteriza as condições de aquisição (no que diz respeito ao hardware de aquisição como também ao hardware externo de condicionamento e à velocidade da máquina). Esta informação permite o cálculo de valores de força, o cálculo de escalas de tempo, frequência e ângulo e uma caracterização geral do sinal. Dado ela ser fundamental para definir completamente o sinal, é armazenada juntamente com o sinal, seja na memória, seja quando é feita a gravação do sinal num ficheiro.

Relativamente ao controlo do hardware de aquisição e de condicionamento, o utilizador tem um controlo total sobre a sua configuração. Para tal, dispõe de um painel de configuração em que pode ajustar todos os parâmetros. Para facilitar esse ajuste, foi disponibilizado também um painel tipo “osciloscópio”, em que os parâmetros podem ser ajustados e o resultado deste ajuste se reflecte imediatamente nos sinais, que são visualizados *on-line*.

V.2.3.2. Calibração do sistema de medida

Para uma fácil calibração do sistema de medida, foi criado um painel de calibração. Neste painel a tarefa de calibrar o sistema é automatizada tanto quanto possível, sendo no entanto disponibilizados ao utilizador todos os dados obtidos durante o processo.

O controlo do hardware é feito automaticamente, tornando-se transparente para o utilizador todos os pormenores de programação do mesmo (especialmente no que respeita à utilização de detectores de pico em sensores piezoeléctricos).

Os factores de calibração são calculados automaticamente, podendo ser assumidos imediatamente pelo software para o cálculo de valores de força nas aquisições seguintes.

V.2.3.3. Visualização de sinais

Através do painel de osciloscópio, é possível a observação *on-line* dos sinais provenientes da máquina. No entanto, esta função normalmente só se torna útil para configurar o hardware.

Na aquisição efectiva de sinais, em que estes são registados em memória, é muito mais importante considerar as ferramentas de visualização disponibilizadas pelos objectos gráficos do LABVIEW e também aquelas que foram criadas explicitamente.

Os objectos de visualização gráfica do LABVIEW permitem, entre outras funções, as seguintes:

- Efectuar zooms de diversos tipos;
- Alterar cores, tipos de linhas, tipos de enchimentos, tipos de pontos, etc. dos traçados nos gráficos;
- Visualizar legendas para os gráficos;
- Introduzir cursores nos traçados;
- Modificar a forma e representação das escalas;

Para complementar estas ferramentas, foram introduzidas algumas funções específicas para a aplicação, e que permitem

- Recalcular a escala dos xx de tempo para graus (significando 360 graus um ciclo de costura completo);
- Recalcular a escala dos xx de frequência para número de harmónico (caso de representação de espectros de sinais);
- Introduzir na legenda os nomes dos sinais que o próprio utilizador atribuiu;
- Ajustar os limites da escala x e avançar ou retroceder nela de forma a representar um ponto de costura de cada vez.

Todas estas funções permitem uma facilidade e potência de visualização gráfica que não existe em folhas de cálculo disponíveis no mercado, pois foi talhada para a análise visual dos sinais em presença.

V.2.3.4. Análise de sinais

A introdução de ferramentas de análise neste sistema visou dois objectivos:

- A automatização de determinadas tarefas de análise que vinham a ser efectuadas manualmente;
- A introdução de ferramentas de análise de sinais utilizadas noutras áreas técnico-científicas e a sua experimentação, de modo a determinar-se até que ponto poderão vir a ser úteis no processamento dos sinais em presença com vista a uma automatização do processo de detecção de características dos sinais.

Algumas tarefas de análise que tinham vindo a ser efectuadas manualmente pelos investigadores da área têxtil consistem na detecção da amplitude e localização de picos. Estes picos surgem em duas formas diferentes: Picos resultantes da perturbação de um sinal pela sobreposição de um efeito suplementar (caso da penetração da agulha) e picos absolutos do próprio sinal (caso das tensões de linha). Para esta tarefa foram desenhadas rotinas que permitem acelerar significativamente o processamento dos sinais, fornecendo resultados em formato apropriado para posterior avaliação.

A tentativa de utilizar ferramentas de decomposição tais como análise FFT e filtragem digital advém da natureza periódica dos sinais. A sua decomposição poderá levar à

obtenção de técnicas de classificação que possibilitem uma monitorização automática dos parâmetros de costura.

As experiências efectuadas com a FFT em sinais de força sobre a barra de agulha revelaram alguns resultados esperados, tendo sido mostrado que a presença de tecido no funcionamento da máquina produz o aparecimento de efeitos que se manifestam em determinada zona de frequências. Uma caracterização exacta do sinal poderá ser conseguida através de estudos mais profundos e a combinação de várias técnicas. No painel de análise foram ainda implementados vários tipos de filtros digitais, bem como uma simples rotina de cálculo de energia de um sinal decomposto em períodos. Futuramente será de considerar o estudo de outras técnicas, tal como a decomposição por wavelets.

V.2.3.5. Armazenamento de sinais em ficheiros

Para a leitura e escrita de ficheiros foi escolhido um formato de texto puro. Esta opção é menos vantajosa em termos de velocidade, mas prima pela simplicidade e pela facilidade com que é possível exportar ou importar dados.

Os ficheiros gravados por este software incluem não só os dados adquiridos pelo placa de aquisição, mas também a informação que está associada a cada sinal e que se descreveu anteriormente. Assim é possível caracterizar completamente os sinais que são gravados.

Dado que normalmente é bastante grande a quantidade de ensaios realizados, o utilizador pode introduzir em cada ficheiro um comentário descritivo do conteúdo do mesmo; este comentário é visualizado aquando da abertura do ficheiro e facilita a identificação do mesmo.

É possível gerar ficheiros só com dados de sinais para utilização noutros programas, e é também possível ler ficheiros provenientes de outros programas, embora naturalmente com algumas restrições .

V.3. Futuros desenvolvimentos

As sugestões para a continuação deste projecto relacionam-se por um lado com o desenvolvimento do equipamento, por outro com a continuação da experimentação têxtil no intuito de conhecer o processo de costura e conseguir a sua monitorização e controlo automáticos.

O desenvolvimento do hardware dependerá muito da evolução das especificações do próprio projecto face a resultados futuros.

De imediato, será necessário criar lugar para a introdução de dispositivos que sejam capazes de medir deslocação do calcador (através de LVDT's) e consumos de linha (dispositivo a desenvolver).

Caso a análise FFT se revelar útil, o sincronizador actual poderá ser substituído por um modelo mais completo, que permita fazer um controlo da frequência de amostragem de modo a evitar fugas espectrais.

A resposta em frequência dos diversos sensores deverá ser estudada com maior rigor de modo a permitir fazer medidas a velocidades mais altas.

A médio prazo é de prever a inclusão de actuadores para fechar uma malha de controlo. Esta fase dependerá, naturalmente, da obtenção de resultados suficientes para uma primeira implementação de um controlador.

Em relação ao software surge como tarefa imediata a modificação de alguns módulos de modo a poderem ser calculados valores de deslocação medidos pelo LVDT que será introduzido no mecanismo do calcador.

De seguida surgirá a necessidade de criar a comunicação com um dispositivo de medida de consumos de linha, tendo esta informação que ser acrescentada aos sinais adquiridos.

Outras pequenas modificações aparecerão com o decorrer do projecto, especialmente no que respeita a rotinas de processamento de sinal que poderão ser incluídas no painel de análise.

Em caso de se decidir por uma actualização mais abrangente do software, aconselha-se a que haja uma revisão de alguns aspectos, tais como:

- A uniformização das estruturas de dados, nomes e tipos de variáveis utilizadas nas diversas VI's ;
- A uniformização da interface ao utilizador (por exemplo substituição dos controlos de registos de sinais existentes no painel principal por controlos de lista como o do painel de análise);
- A criação de subVI's em algumas VI's de modo a simplificar alguns diagramas de blocos e modularizar mais o programa.

Em termos de técnicas de processamento de sinal, terá que se avançar mais na experimentação prática para se poder concluir acerca da sua utilidade e aplicabilidade. Será também esta experimentação que poderá criar um conhecimento que permita considerar a inclusão de outras técnicas além das que foram já implementadas.

O equipamento criado apoiou-se no conhecimento adquirido em trabalhos anteriores, com o qual foi possível melhorar os métodos e a eficiência da medição e caracterização de alguns parâmetros de costura.

Só uma fase de investigação extensa poderá fornecer dados suficientes para atingir o objectivo final de monitorização e controlo do processo. A variedade de parâmetros com influência é enorme, pelo que o planeamento das experiências é particularmente complexo. Os estudos deverão contemplar diferentes factores de configuração e afinação da máquina (tensão nas linhas, velocidade de costura, densidade de ponto, pressão no calcador, tipo de agulha, tipo e ajuste da alimentação e tipo de linha, entre outros) e também diferentes materiais e suas características.

Este conhecimento aprofundado, facilitará o estabelecimento de condições de funcionamento ideais para os diversos factores, condição necessária para o desenvolvimento de automatismos de controlo que contribuam para equipamentos mais fiáveis e flexíveis, em termos de produção e qualidade.

VI. Bibliografia

- [1] Jones, R.J.R.; Munden; D.L. - **A Study of the Mechanics and Geometry of the 2-Thread Chainstitch: Part 1 - An Instrument for Measuring Static Needle and Loper Thread Tension.** "Clothing Research Journal", 1980;
- [2] Jones, R.J.R., Munden, D.L. - **A Study of the Mechanics and Geometry of the 2-Thread Chainstitch: Part 2 - The Development of an Apparatus for the Measurement of Dynamic Thread Tension.** "Clothing Research Journal", 1980;
- [3] Ferreira, F.B.N.; Harlock, S.C.; Grosberg, P. - **A Study of Thread Tensions on a Lockstitch Sewing Machine (Part I).** "International Journal of Clothing Science and Technology", Volume 6, Number 1, pp. 14-19, 1994. U.K.: MCB University Press;
- [4] Ferreira, F.B.N.; Harlock, S.C.; Grosberg, P - **A Study of Thread Tensions on a Lockstitch Sewing Machine (Part II).** "International Journal of Clothing Science and Technology", Volume 6, Number 5, pp. 26-29, 1994. U.K.: MCB University Press;
- [5] Ferreira, F.B.N.; Harlock, S.C.; Grosberg, P. - **A Study of Thread Tensions on a Lockstitch Sewing Machine (Part III): Further Stitch Formation Analysis.** "International Journal of Clothing Science and Technology", Volume 6, Number 5, pp. 39-42; 1994. U.K.: MCB University Press;
- [6] Ferreira, F.B.N.- **A Study of Thread Tensions on a Lockstitch Sewing Machine.** Universidade de Leeds, 1991. (Tese de Doutoramento);
- [7] Greenberg, N. G. - **An instrument for measurement of thread dynamic tension characteristics during the sewing operation - Part 2.** "Clothing Research Journal", Nº 2, p. 77., 1975;
- [8] Barrett, G.R.; Clapp, T.G.; Titus, K.J. - **An On-Line Fabric Classification Technique Using a Wavelet-Based Neural Network Approach.** "Textile Research Journal" pp 521-527, Agosto 1996;
- [9] Salgado, J.P.; Fernandes, P. - **Automatização do Processo de Costura.** Universidade do Minho, 1993. (Dissertação de Licenciatura);
- [10] Carlson, A. Bruce - **Communications Systems - An Introduction to Signals and Noise in Electrical Communication.** 2ªed. USA: McGraw-Hill, 1975;
- [11] Rocha, A.M. - **Contribuição para o controlo automático dos parâmetros de costura: Estudo da dinâmica da penetração da agulha e da alimentação do tecido.** Universidade do Minho, 1996. (Tese de Doutoramento).
- [12] Carvalho, M. - **Estudo das Tensões nas Linhas na Máquina de Costura Corta-e-Cose.** Universidade do Minho, 1996. (Dissertação de Mestrado);
- [13] Rocha, A.M.; Lima; M.F., Souza; E.J., Araújo, M.D. - **Estudo da Dinâmica do Processo de Costura numa Máquina de Corta-e-cose;** "Robótica e Automatização", nº 9; 1992;

- [14] Carvalho, H. M. T. - **Estudo de Medição e Controlo de Tensões de Linha numa Máquina de Costura Overlock**. Universidade do Minho, 1995 (Trabalho da disciplina Tecnologia das Confecções, Mestrado em Engenharia Têxtil);
- [15] Randall, R.B; Tech,B - **Frequency Analysis**. 3ªed. Bruel&Kjaer, 1987 (Livro técnico da firma Bruel&Kjaer);
- [16] Fahy, K.; Pérez, E - **Fast Fourier Transforms and Power Spectra in LABVIEW**. 1994 (Application Note 040 da firma National Instruments);
- [17] Harvey, Audrey F; Cerna, Michael - **Fundamentals of FFT-based Signal Analysis and Measurement in LABVIEW and LABWINDOWS**. 1994 (Application Note 041 da firma National Instruments)
- [18] Notingk, B.E. - **Instrumentation Reference Book**. Londres: Butterworths, 1990
- [19] **LABVIEW Analysis VI Reference Manual**. Austin,U.S.A.: National Instruments,1996 (Manual de utilização);
- [20] **LABVIEW User Manual**. Austin,U.S.A.: National Instruments,1996 (Manual de utilização)
- [21] Doebelin, Ernest O. - **Measurement Systems - Application and design**. New York: McGrawHill, 1983
- [22] Rocha, A.M.; Ferreira, F.N.; Araújo, M.D., Monteiro J.L., Couto, C.C., Lima, M. - **Mechatronics in Apparel - Control, Management and Innovation on the Sewing Process**. Proceedings of the 3rd International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice, Universidade do Minho, 1996;
- [23] Mahr, W. - **Messen und Verarbeiten von Ladesignalen piezoelektrischer Druckaufnehmer**. Reimpresso por KISTLER, do original em "Technisches Messen" N° 4/1982, Munique: Oldenburg
- [24] Fernandes, P.N.A.S.L. - **Instrumentação de uma máquina de costura (Automatização do processo)**. Universidade do Minho, 1993 (Dissertação de licenciatura)
- [25] Jones, R.J.R.- **Review of previous work on the factors affecting the thread dynamic tension characteristics on a lockstitch sewing machine, Part 1**. "Clothing Research Journal", 1975;
- [26] Araújo, M.D.; Little, T.L., Rocha, A.M.; Ferreira, F.B.N. - **Sewing Dynamics: Towards Intelligent Sewing Machines**. NATO ASI on Advancements and Applications of Mechatronics Design in Textile Engineering, Turquia, 1992.;
- [27] Andrade, D.F - **Sistema de condicionamento para sensores em máquina de costura industrial**, Universidade do Minho (Dissertação de licenciatura, data prevista de publicação Janeiro 1998);
- [28] Window, A.L.; Holister,G.S. - **Strain Gauge Technology**. Londres: Applied Science Publishers, 1982;
- [29] Carvalho, M.; Ferreira, F.B.N. - **Study of Thread Tensions on an Overlock Sewing Machine** Proceedings of the 3rd International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice, Universidade do Minho; 1996;
- [30] **The Fundamentals of OVERLOCK SEWING MACHINES** PEGASUS SEWING MACHINE MFG. CO., LTD; 1989.;

- [31] Araújo, M.D., Rocha, A.M., Ferreira, F.B.N. - **The Technology of Advanced Sewing Machines**. Proceedings of the VI th International Izmir Textile Symposium, Izmir, 199.;

VII. Índices de figuras e tabelas

VII.1. Índice de figuras

FIGURA 1: MÁQUINA CORTA-E-COSE	10
FIGURA 4: ARRASTE INFERIOR SIMPLES	12
FIGURA 5: DIAGRAMA DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS	13
FIGURA 6: ASPECTO GERAL DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE SINAL ANTIGO (FOTO).....	14
FIGURA 7: SENSORES DE TENSÃO DE LINHA DE LAÇADEIRAS (FOTO)	15
FIGURA 8: SENSOR DE TENSÃO DE LINHA	15
FIGURA 9: CONFIGURAÇÃO MECÂNICA DOS SENSORES ANTIGOS	19
FIGURA 10: SENSOR DE TENSÃO DE LINHA DE PETR SKOP	21
FIGURA 11: APOIO PARA SENSOR.....	22
FIGURA 12: IMPERFEIÇÕES NO MOVIMENTO DA BARRA DE AGULHA	24
FIGURA 13: ESTRUTURA DO HARDWARE	29
FIGURA 14: FORMATO DE PALAVRA DE ENDEREÇO/FUNÇÃO	30
FIGURA 15: DIAGRAMA DE BLOCOS DA PLACA TIPO EXTENSÓMETROS.....	33
FIGURA 16: FORMATO DA PALAVRA DE DADOS PARA COMUTAÇÃO DE PASSA-ALTOS NA PLACA TIPO EXTENSÓMETROS.....	35
FIGURA 17: DIAGRAMA DE BLOCOS DE PLACA TIPO PIEZOELÉTRICOS	39
FIGURA 18: FORMATO DA PALAVRA DE DADOS PARA CONTROLO DE MULTIPLEXERS PLACA TIPO EXTENSÓMETROS	43
FIGURA 19: CONTROLOS: NUMÉRICO, DE TEXTO, VECTOR E CLUSTER.....	47
FIGURA 20: LISTAS.....	48
FIGURA 21: CONTROLOS DE GRÁFICO	48
FIGURA 22: MENUS	49
FIGURA 23: CONTROLOS DE COR, BOTÃO.....	49
FIGURA 24: INDICADOR	49
FIGURA 25: BOTÃO DE AJUDA	49
FIGURA 26: POP-UP MENU DE UM CONTROLO NUMÉRICO.....	50
FIGURA 27: POP-UP MENU DE UM VECTOR	50
FIGURA 28: ESTRUTURA DO SOFTWARE	52
FIGURA 29: PAINÉIS A PARTIR DO MENU GRÁFICO.....	53
FIGURA 30: O PAINEL DE CONFIGURAÇÃO.....	54
FIGURA 31: PAINEL PRINCIPAL	58
FIGURA 32: PREPARAÇÃO DE AQUISIÇÃO POR CONTAGEM DE ROTAÇÕES DA MÁQUINA (PONTOS).....	59
FIGURA 33: PREPARAÇÃO DE AQUISIÇÃO POR CONTAGEM DECRESCENTE DE TEMPO.....	59
FIGURA 34: CAIXA DE DIÁLOGO PARA ESCOLHA DO NOME DE FICHEIRO A ABRIR.....	61
FIGURA 35: CAIXA DE DIÁLOGO PARA IMPORTAÇÃO DE UM FICHEIRO DE SINAIS.....	62
FIGURA 36: CAIXA DE DIÁLOGO PARA LEITURA DE UM FICHEIRO DE SINAIS COMPLETO.....	62
FIGURA 37: CAIXA DE DIÁLOGO PARA LEITURA DE UM FICHEIRO DE SINAIS SIMPLES.....	63
FIGURA 38: PREVISÃO DO CONTEÚDO DE UM FICHEIRO	63
FIGURA 39: CAIXA DE DIÁLOGO PARA A GRAVAÇÃO DE FICHEIROS DE SINAIS.....	64
FIGURA 40: CONTROLO DOS REGISTOS DE ENTRADA.....	66
FIGURA 41: CONTROLO DOS REGISTOS PERMANENTES	66
FIGURA 42: ESCOLHA DE TIPO DE ESCALA X	70
FIGURA 43: PALETE DE CONTROLO DO GRÁFICO.....	71
FIGURA 44: MENU DE CONTROLO DE ESCALA	72
FIGURA 45: MENU DE ZOOM	72
FIGURA 46: CONTROLO DO CURSOR	72
FIGURA 47: MENU DE CONTROLO DO CURSOR	73
FIGURA 48: ASSOCIAÇÃO DO CURSOR A SINAIS.....	73
FIGURA 49: POP-UP MENU DO GRÁFICO	74
FIGURA 50: MENU DA LEGENDA DO GRÁFICO	74
FIGURA 51: PAINEL DE IMPRESSÃO DE GRÁFICOS	76
FIGURA 52: PAINEL DE OSCILOSCÓPIO	77

FIGURA 53: RECTA DE CALIBRAÇÃO	80
FIGURA 54: DIAGRAMA DE BLOCOS DO SISTEMA DE MEDIDA	80
FIGURA 55: PAINEL DE CALIBRAÇÃO DE SENSORES	83
FIGURA 56: LEITURA DE FORÇA APLICADA	84
FIGURA 57: LEITURA DE ZERO PLACA*	84
FIGURA 58: LEITURA DE B^*	84
FIGURA 59: IMPRESSÃO DE GRÁFICOS DE CALIBRAÇÃO	86
FIGURA 60: CORRECÇÃO DE ZERO	87
FIGURA 61: CORRECÇÃO DE M	88
FIGURA 62: ESCOLHA DE UM TIPO DE ANÁLISE	88
FIGURA 63: ÁREA COMUM A TODOS OS SUBPAINÉIS	88
FIGURA 64: PICO ABSOLUTO	90
FIGURA 65: SINAIS SOBRE A BARRA DE AGULHA, COM TECIDO (BRANCO), SEM TECIDO (AMARELO)	91
FIGURA 66: PICO RELATIVO	92
FIGURA 67: DETECÇÃO INCORRECTA - DERIVADA DEMASIADO SENSÍVEL	93
FIGURA 68: DETECÇÃO CORRECTA	93
FIGURA 69: PROCESSO DE ANÁLISE DE PICOS	94
FIGURA 70: CONTROLOS DO SUBPAINEL DE DETECÇÃO DE PICOS	95
FIGURA 71: TABELA DE PICOS	97
FIGURA 72: GRAVAÇÃO DE UM FICHEIRO DE PICOS	98
FIGURA 73: CONTROLOS DO SUBPAINEL DE ANÁLISE ESPECTRAL	99
FIGURA 74: CONTROLOS DO SUBPAINEL DE FILTRAGEM DIGITAL	101
FIGURA 75: DIVISÃO OU JUSTAPOSIÇÃO DAS FILTRAGENS DE PERÍODOS INDIVIDUAIS	101
FIGURA 76: FICHEIRO DE CONFIGURAÇÃO	103
FIGURA 77: FICHEIRO DE CALIBRAÇÃO	104
FIGURA 78: FICHEIRO DE SINAIS SIMPLES	105
FIGURA 79: FICHEIRO DE SINAIS COMPLETO	106
FIGURA 80: FICHEIRO DE PICOS	107
FIGURA 81: FORMA DO SINAL DE SINCRONISMO	111
FIGURA 82: SINAIS DE FORÇA SOBRE A BARRA DE AGULHA SEM TECIDO (AMARELO) E COM TECIDO (BRANCO)	113
FIGURA 83: PARES DE PONTOS SUBTRAÍDOS COM $k=2$, $P=1$	115
FIGURA 84: PARES DE PONTOS SUBTRAÍDOS COM $k=6$, $P=3$	115
FIGURA 85: SINAL $s(t)$ (VERMELHO, ESCALA X EM MILLISEGUNDOS, ESCALA Y EM VOLTS)	120
FIGURA 86: ESPECTRO DE $s(t)$ (ESCALA X EM HZ, ESCALA Y EM VRMS)	121
FIGURA 87: ALIASING EM AMOSTRAGEM DE SINUSÓIDE DE 100 HZ A 115 HZ	122
FIGURA 88: JUSTAPOSIÇÃO DE AMOSTRAGENS DE UM NÚMERO MEIO INTEIRO DE PERÍODOS DO SINAL	123
FIGURA 89: APLICAÇÃO DE JANELA TEMPORAL NA AMOSTRAGEM DE UM SINAL	124
FIGURA 90: TRANSFORMADA DE FOURIER DE UMA FUNÇÃO DE JANELA RECTANGULAR	125
FIGURA 91: PIOR CASO DA AMOSTRAGEM DA FUNÇÃO JANELA	125
FIGURA 92: ESPECTRO DE SINUSÓIDE PURA CALCULADA SOBRE NÚMERO INTEIRO DE PERÍODOS DO SINAL ORIGINAL	126
FIGURA 93: ESPECTRO DE SINUSÓIDE PURA CALCULADA SOBRE NÚMERO MEIO INTEIRO DE PERÍODOS DO SINAL ORIGINAL E COM JANELA RECTANGULAR	127
FIGURA 94: JANELA DE HANNING	128
FIGURA 95: ESPECTRO DE SINUSÓIDE PURA CALCULADA SOBRE NÚMERO MEIO INTEIRO DE PERÍODOS DO SINAL ORIGINAL COM UTILIZAÇÃO DA JANELA DE HANNING	129
FIGURA 96: SINAIS DE FORÇA SOBRE A BARRA DE AGULHA COM TECIDO (VERMELHO) E SEM TECIDO (BRANCO). ESCALA X EM GRAUS, ESCALA Y SEM SIGNIFICADO	131
FIGURA 97: FORÇA MÉDIA DO PICO INICIAL DE PENETRAÇÃO E VALOR DE ALGUNS HARMÓNICOS DO ESPECTRO DE 5 AMOSTRAGENS EFECTUADAS COM TECIDO	132
FIGURA 98: MÉDIA DE PRODUTO FORÇA DO PICO INICIAL DE PENETRAÇÃO X DURAÇÃO E VALOR DE ALGUNS HARMÓNICOS DO ESPECTRO DE 5 AMOSTRAGENS EFECTUADAS COM TECIDO	132
FIGURA 99: DOIS PERÍODOS DE UMA AMOSTRA, EM QUE HOUVE GRANDE E PEQUENA INTERACÇÃO DA AGULHA COM O TECIDO (AZUL E VERDE RESPECTIVAMENTE), EM COMPARAÇÃO COM SINAL OBTIDO SEM TECIDO	133
FIGURA 100: HARMÓNICOS 4 A 17 DO ESPECTRO DOS SINAIS DA FIGURA ANTERIOR EM COMPARAÇÃO COM ESPECTRO DE DOIS PERÍODOS DE SINAL OBTIDO SEM TECIDO	134
FIGURA 101 : GANHO DE UM FILTRO IDEAL	137
FIGURA 102: RESPOSTA DE FILTRO PASSA-BAIXO BUTTERWORTH DE ORDEM 10, FREQUÊNCIA DE CORTE 100 HZ	138

FIGURA 103: RESPOSTA DE FILTRO PASSA-BAIXO CHEBYSHEV DE ORDEM 10, FREQUÊNCIA DE CORTE 100 HZ E RIPPLE MÁXIMO DA BANDA PASSANTE DE 5 DB E	139
FIGURA 104: RESPOSTA DE FILTRO PASSA-BAIXO CHEBYSHEV INVERSO DE ORDEM 10, COM FREQUÊNCIA DE CORTE 100 HZ E ATENUAÇÃO MÍNIMA DE 40 DB.....	140
FIGURA 105: RESPOSTA DE FILTRO PASSA-BAIXO ELÍPTICO DE ORDEM 10, FREQUÊNCIA DE CORTE 100 HZ, RIPPLE MÁXIMO 5 DB E ATENUAÇÃO MÍNIMA 40 DB	141
FIGURA 106: FASE DE FILTRO PASSA-BAIXO BESSEL DE ORDEM 10, FREQUÊNCIA DE CORTE 100 HZ. ESCALA Y EM RADIANOS ..	142
FIGURA 107: FASE DE FILTRO PASSA-BAIXO ELÍPTICO DE ORDEM 10, FREQUÊNCIA DE CORTE 100 HZ. ESCALA Y EM RADIANOS.	142
FIGURA 108: RESPOSTA DE FILTRO PASSA-BAIXO BESSEL DE ORDEM 10, FREQUÊNCIA DE CORTE 100 HZ.....	143

VII.2. Índice de tabelas

TABELA 1: CÓDIGOS DE FUNÇÃO PARA PLACA TIPO EXTENSÓMETROS	30
TABELA 2: CÓDIGOS DE FUNÇÃO PARA PLACA TIPO PIEZOELÉTRICOS	30
TABELA 3: BITS DA PALAVRA DE CONTROLO DE MULTIPLEXERS EM PLACA TIPO EXTENSÓMETROS.....	36
TABELA 4: FACTORES DE CALIBRAÇÃO PARA SISTEMA EXTENSIOMÉTRICO	38
TABELA 5: FACTORES DE CALIBRAÇÃO PARA SISTEMA PIEZOELÉTRICO	43
TABELA 6: BITS DA PALAVRA DE CONTROLO DE MULTIPLEXERS EM PLACA TIPO PIEZOELÉTRICOS	44
TABELA 7 : TIPOS DE SINAIS.....	68
TABELA 8: TIPOS DE JANELAS TEMPORAIS PARA FFT.....	69
TABELA 9 : TIPOS DE ESCALAS X E SUAS CARACTERÍSTICAS.....	71
TABELA 10: TIPOS DE OPERAÇÕES DE ANÁLISE E ALTERAÇÕES RESULTANTES NO NOME E TIPO DE SINAL.....	89
TABELA 11: CARACTERES DE CONTROLO EM FICHEIROS DE SINAIS SIMPLES OU COMPLETOS E EM FICHEIROS DE PICOS	107
TABELA 12: CARACTERÍSTICAS DE JANELAS TEMPORAIS	129