



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Paulo André Carvalho Ribeiro

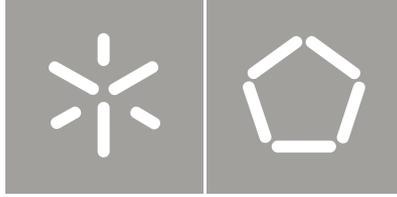
Sistema de Monitorização para uma  
Máquina de Moldação Rotacional

Sistema de Monitorização para uma  
Máquina de Moldação Rotacional

Paulo André Carvalho Ribeiro

UMinho | 2010

Outubro de 2010



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Paulo André Carvalho Ribeiro

## Sistema de Monitorização para uma Máquina de Moldação Rotacional

Tese de Mestrado  
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao  
Grau de Mestre em Engenharia Electrónica Industrial e Computadores

Trabalho efectuado sob a orientação do  
Professor Doutor Jaime Francisco Cruz Fonseca

## **AGRADECIMENTOS**

Ao longo de todo o meu percurso académico várias pessoas contribuíram para o meu desempenho que culminou com este projecto, para as quais quero deixar um agradecimento.

Quero agradecer aos meus familiares, ao meu pai António Ribeiro à minha mãe Maria Carvalho, ao meu irmão Bruno Ribeiro por todo o esforço e apoio que me deram durante todos estes anos do meu percurso académico.

Ao Departamento de Electrónica Industrial (DEI) da Escola de Engenharia da Universidade do Minho pela formação e condições que me foram dadas.

Ao meu orientador, Doutor Jaime Fonseca, por todo o apoio e orientação dada ao longo do projecto, permitindo que este projecto se torna-se numa aplicação industrial.

Ao Doutor António Pontes do Departamento de Engenharia Polímeros pelo apoio e a possibilidade de realizar este projecto, e também ao aluno Luís Costa.

Aos meus colegas e amigos, pelas ajudas dadas, questões construtivas e companheirismo em todos os momentos. A todos um grande obrigado por tudo.



## RESUMO

O processo de moldação rotacional é usado na indústria de polímeros para a produção de peças em material polimérico (plástico), sendo mais indicado para produzir objectos ocios e/ou de grandes dimensões.

Para produzir peças de uma forma mais eficiente, melhorando a sua qualidade, diminuindo o tempo de fabrico e baixando o custo de produção, desenvolveram-se sistemas para monitorizar alguns dos parâmetros mais importantes do processo de fabrico.

Mas os sistemas existentes no mercado para este tipo de processo monitorizam somente a temperatura, e não a deformação da peça durante a sua produção.

Tendo em consideração este facto relevante, foi objectivo deste trabalho o desenvolvimento de um sistema capaz de monitorizar no processo de fabrico por rotomoldação, a temperatura e a deformação. A monitorização é feita por um computador com ligação sem fios ao equipamento de aquisição a ser instalado na máquina de moldação rotacional.

Para a monitorização no PC foi desenvolvido uma aplicação em LabVIEW que estabelece comunicação com o equipamento de aquisição de dados, recolhendo os valores dos sensores.

Isto envolveu o cumprimento de alguns requisitos para desenvolver a aplicação, como guardar os valores medidos num ficheiro Excel, visualização gráfica dos mesmos e a possibilidade de alterar o tempo de aquisição.

O equipamento de aquisição desenvolvido tem por base um autómato CJ1M-CPU11 da OMRON, com cartas que permite a ligação de termopares para medir a temperatura e a ligação de extensómetros para medir deformações.

A comunicação sem fios entre o computador e o autómato está a cargo de módulos XBee que implementam o protocolo ZigBee, estes módulos estão configurados para funcionar como uma ligação física por rs232 simulando uma ligação por cabos.

Foram realizados testes de todo o sistema, e os resultados permitiram concluir que o sistema cumpre os requisitos propostos, não existindo nenhuma anomalia até ao momento.



## **ABSTRACT**

The process of Rotational Molding is used in the Polymer Industry to manufacture plastic items, usually with hollow and/or large shapes.

In order to enhance the efficiency and quality of the produced items, while decreasing production time and costs, the industry has developed systems to monitor some of the most important parameters driving the molding process.

However such systems currently only monitor the temperature of the polymer material and not its geometrical deformation during the molding process.

Therefore the objective of this work was to develop a computer system able to monitor both parameters.

The computer system consists of a PC running a LabVIEW application that was developed to perform the data processing and the PC is connected via a wireless link to sensors installed on the casting machine.

Beyond data processing, the developed application satisfied other requirements such as saving the acquired data to an Microsoft Excel file, visualizing it graphically and adjusting the acquisition frequency.

The acquisition system is based on an OMRON CJ1M-CPU11 Programmable Controller mounted with thermocouples and extensometers connection cards.

The wireless communication between the PC and the PLC is implemented using XBee RF Modules configured to simulate physical RS232 end points.

The entire system has been validated through tests that demonstrated that all the proposed requirements were met and no issue has been discovered so far.



# ÍNDICE

<b>Capítulo 1</b> .....	1
1 Introdução .....	1
1.1 Objectivos do Trabalho .....	2
1.2 Requisitos do Sistema .....	3
1.2.1 Software.....	3
1.2.2 Hardware .....	4
1.3 Organização da Tese .....	4
<b>Capítulo 2</b> .....	7
2 Estado da Arte.....	7
2.1 História da Moldação Rotacional .....	8
2.2 Moldação Rotacional – O Processo .....	8
2.2.1 Vantagens .....	11
2.2.2 Limitações .....	12
2.3 Sistemas de Monitorização .....	13
2.3.1 Rotolog 3.0™ .....	13
2.3.2 TempLogger™ .....	14
2.3.3 Oven Tracker RadioPaq .....	16
2.3.4 K-Paq™ .....	18
2.4 Conclusões .....	20
<b>Capítulo 3</b> .....	21
3 Comunicação de dados .....	21
3.1 Protocolo ZigBee .....	21
3.1.1 Topologias de rede .....	23
3.1.2 Aspectos técnicos .....	24
3.1.1 Arquitectura do protocolo ZigBee .....	25
3.2 Protocolo FINS.....	27
3.3 Conclusões .....	32
<b>Capítulo 4</b> .....	33
4 Hardware utilizado e suas configurações / parametrizações .....	33
4.1 Descrição da máquina de Moldação Rotacional .....	33

4.2	Visão geral sobre o Sistema .....	39
4.3	Autômato OMRON CJ1M-CPU11 .....	41
4.4	Sistema de medição CJ1W-F159 .....	42
4.4.1	Descrição Física do hardware.....	43
4.4.2	Instalação.....	45
4.4.3	Configuração .....	48
4.5	Sistema de medição CJ1W-TC001 .....	55
4.5.1	Descrição física do hardware.....	56
4.5.2	Instalação.....	59
4.5.3	Configuração .....	61
4.6	Comunicação sem fios XBee .....	65
4.6.1	Descrição Física do hardware.....	66
4.6.2	Instalação.....	68
4.6.3	Configuração .....	69
4.7	Conclusões .....	72
<b>Capítulo 5</b>	.....	<b>73</b>
5	Software desenvolvido.....	73
5.1	Software desenvolvido no CX-Programmer .....	73
5.1.1	Aplicação de aquisição de dados no autômato .....	74
5.2	Software desenvolvido em LabVIEW .....	76
5.2.1	Algoritmos de monitorização .....	79
5.2.2	Ambiente gráfico para monitorização .....	80
5.3	Tramas de comunicação.....	84
5.4	Conclusões .....	86
<b>Capítulo 6</b>	.....	<b>87</b>
6	Testes e Resultados.....	87
<b>Capítulo 7</b>	.....	<b>89</b>
7	Conclusões e Trabalho Futuro .....	89
7.1	Conclusões .....	89
7.2	Trabalho Futuro.....	91
	Referências .....	93
	Bibliografia.....	97

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Máquina de Moldação Rotacional .....	2
Figura 2 Processo de Moldação Rotacional – A: Load; B: Heat; C: Cool; D: Unload ....	9
Figura 3 Máquina de moldação rotacional de três braços .....	11
Figura 4 Exemplo de produtos fabricados por moldação rotacional .....	11
Figura 5 RotoLog 3.0 System.....	13
Figura 6 RotoLog 3.0 – Montagem da Unidade de leitura no molde.....	13
Figura 7 TempLogger™ - Software .....	14
Figura 8 TempLogger™ – Unidade Base\ Unidade de Leitura.....	15
Figura 9 Oven Tracker RadioPaq – Software.....	16
Figura 10 Oven Tracker RadioPaq – (A) Tpaq21 Data Logger \ (B) Transmitter and Receiver.....	16
Figura 11 Oven Tracker RadioPaq – Thermal Barrier .....	17
Figura 12 K-Paq System.....	18
Figura 13 K-Paq – Visão geral do Sistema .....	18
Figura 14 Topologia de rede em Estrela.....	23
Figura 15 Topologia de rede em Malha.....	24
Figura 16 Topologia de rede em Árvore .....	24
Figura 17 Bandas de frequência de operação .....	25
Figura 18 Camadas da Arquitectura Protocolar ZigBee.....	25
Figura 19 Arquitectura do protocolo ZigBee .....	27
Figura 20 Trama de comando FINS .....	27
Figura 21 Trama de envio para aceder á memória do comando FINS .....	29
Figura 22 Campos finalizadores da trama de comando do protocolo FINS.....	30
Figura 23 Exemplo de calculo do FCS .....	30
Figura 24 Trama de resposta FINS.....	31
Figura 25 Máquina de Moldação Rotacional – Descrição .....	34
Figura 26 Máquina de Moldação Rotacional – Fixação do Molde .....	35
Figura 27 Máquina de Moldação Rotacional – Fecho do Molde .....	35
Figura 28 Máquina de Moldação Rotacional – Forno.....	36
Figura 29 Máquina de Moldação Rotacional – Câmara de arrefecimento .....	36
Figura 30 Máquina de Moldação Rotacional – Câmara de arrefecimento (água).....	37

Figura 31 Máquina de Moldação Rotacional – Câmara de arrefecimento (ar) .....	37
Figura 32 Máquina de Moldação Rotacional – Painel de controlo .....	38
Figura 33 Máquina de Moldação Rotacional – Painel de controlo (opções).....	38
Figura 34 Sensores colocados no molde – Termopar e Extensômetro.....	39
Figura 35 Visão geral do sistema desenvolvido .....	40
Figura 36 Autómato OMRON CJ1M-CPU11 .....	41
Figura 37 Sistema de medição da UNIPULSE (CJ1W-F159) .....	42
Figura 38 UNIPULSE CJ1W-F159 – Painel Frontal .....	43
Figura 39 UNIPULSE CJ1W-F159 – Painel Frontal (Unit Number Select Switch).....	44
Figura 40 UNIPULSE CJ1W-F159 – Painel Frontal (Terminal block) .....	45
Figura 41 Ponte de Wheatstone .....	46
Figura 42 Ponte de Wheatstone (ligação com um extensômetro) .....	47
Figura 43 UNIPULSE CJ1W-F159 – Terminal block .....	47
Figura 44 UNIPULSE CJ1W-F159 – Ponte de wheatstone (ligação).....	48
Figura 45 UNIPULSE CJ1W-F159 – Início da Configuração .....	48
Figura 46 UNIPULSE CJ1W-F159 – Instalação.....	49
Figura 47 UNIPULSE CJ1W-F159 – Configuração .....	49
Figura 48 UNIPULSE CJ1W-F159 – Alocação de memória.....	50
Figura 49 UNIPULSE CJ1W-F159 – DIP switch .....	52
Figura 50 UNIPULSE CJ1W-F159 – Parâmetro ‘Balance weight value’ .....	53
Figura 51 UNIPULSE CJ1W-F159 – Parâmetro ‘Capacity’ .....	53
Figura 52 UNIPULSE CJ1W-F159 – Parâmetro ‘Decimal place’ .....	53
Figura 53 Sistema de medição da OMRON (CJ1W-TC001).....	55
Figura 54 OMRON CJ1W-TC001 – Painel Frontal.....	56
Figura 55 OMRON CJ1W-TC001 – Painel Frontal (Unit Number Select Switch) .....	57
Figura 56 OMRON CJ1W-TC001 – Painel Frontal (Input Type Select Switch).....	58
Figura 57 OMRON CJ1W-TC001 – Painel Frontal (DIP Switch).....	59
Figura 58 OMRON CJ1W-TC001 – Terminal block.....	60
Figura 59 OMRON CJ1W-TC001 – Termopares (Ligação) .....	60
Figura 60 OMRON CJ1W-TC001 – Início da Configuração .....	61
Figura 61 OMRON CJ1W-TC001 – Instalação .....	61
Figura 62 OMRON CJ1W-TC001 – Número de unidade.....	62
Figura 63 OMRON CJ1W-TC001 – Configuração dos Parâmetros .....	62
Figura 64 OMRON CJ1W-TC001 – Alocação de memória .....	63

Figura 65 Digi XBee/XBee Pro.....	65
Figura 66 XBee / XBee Pro – Dimensões .....	67
Figura 67 XBee / XBee Pro – Antenas.....	68
Figura 68 XBee/XBee-Pro – rs232 Interface Board.....	68
Figura 69 X-CTU – Software de configuração .....	69
Figura 70 XBee – X-CTU Configuração.....	70
Figura 71 Estrutura da Frame no modo API .....	71
Figura 72 Estrutura específica da Frame no modo API.....	71
Figura 73 CX-Programmer – Janela Principal .....	73
Figura 74 Funcionamento da aplicação de aquisição de dados .....	74
Figura 75 Programa de aquisição em ladder .....	75
Figura 76 Ambiente gráfico da ferramenta desenvolvimento da National Instruments, o LabVIEW.....	76
Figura 77 LabVIEW – Front Panel .....	77
Figura 78 LabVIEW – Block Diagram.....	78
Figura 79 LabVIEW – vi Hierarchy .....	78
Figura 80 Diagrama de funcionamento do software de monitorização.....	79
Figura 81 Janela inicial de configuração .....	81
Figura 82 Janela para visualização gráfica dos parâmetros a monitorizar .....	82
Figura 83 Janela para visualização do conteúdo a ser guardado no ficheiro Excel .....	83
Figura 84 Trama de comunicação .....	84
Figura 85 Tramas de comando – LabVIEW.....	84
Figura 86 Trama de comando – Campo Command.....	85
Figura 87 Trama de resposta – Campo Command .....	85
Figura 88 Trama de resposta – Campo dados.....	85
Figura 89 Curvas e patamares de temperatura.....	87
Figura 90 Evolução das temperaturas durante o processo de moldação rotacional (Temp. Desmoldagem = 60°C).....	88



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 TempLogger™ – Especificações técnicas .....	15
Tabela 2 Barreira térmica, características de operação .....	17
Tabela 3 Oven Tracker RadioPaq – Especificações técnicas .....	17
Tabela 4 K-Paq™ - Especificações técnicas .....	19
Tabela 5 Comparação entre os diferentes sistemas .....	20
Tabela 6 UNIPULSE CJ1W-F159 – Painel Frontal (LEDs).....	43
Tabela 7 UNIPULSE CJ1W-F159 – Painel Frontal (Unit Number Select Switch) .....	44
Tabela 8 UNIPULSE CJ1W-F159 – Painel Frontal (DIP switch) .....	45
Tabela 9 UNIPULSE CJ1W-F159 – Parâmetros configuráveis.....	51
Tabela 10 OMRON CJ1W-TC001 – Painel Frontal (LEDs) .....	56
Tabela 11 OMRON CJ1W-TC001 – Painel Frontal (Unit Number Select Switch).....	57
Tabela 12 OMRON CJ1W-TC001 – Painel Frontal (Input Type Select Switch) .....	58
Tabela 13 OMRON CJ1W-TC001 – Painel Frontal (DIP switch).....	59
Tabela 14 OMRON CJ1W-TC001 – Parâmetros configuráveis .....	64
Tabela 15 XBee / XBee PRO ZNET 2.5 – Especificações .....	66
Tabela 16 XBee / XBee Pro – Pinos.....	67



## LISTA DE ACRÓNIMOS E SIGLAS

A	→	Ampere
API	→	<i>Application Programming Interface</i>
BCD	→	<i>Binary Coded Decimal</i>
CSMA-CA	→	<i>Carrier Sense Multiple Access – Collision Avoidance</i>
CPU	→	<i>Central Processing Unit</i>
DIP	→	<i>Dual In-line Package</i>
DLL	→	<i>Dynamic-link library</i>
FINS	→	<i>Factory Interface Network Service</i>
FCS	→	<i>Frame Check Sequence</i>
Hz	→	Hertz
ISM	→	<i>Industrial, Scientific and Medical</i>
LabVIEW	→	<i>Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench</i>
LED	→	<i>Light-Emitting Diode</i>
MAC	→	<i>Medium Access Control</i>
OSI	→	<i>Open Systems Interconnection</i>
PLC	→	<i>Programmable Logic Controller</i>
PC	→	<i>Personal Computer</i>
PCB	→	<i>Printed Circuit Board</i>
PID	→	<i>Proportional Integral Derivative</i>
PHY	→	<i>Physical Layer</i>
rs232	→	<i>Recommended Standard 232</i>
rs485	→	<i>Recommended Standard 485</i>
RF	→	<i>Radio frequency</i>
rpm	→	<i>Revolutions per minute</i>
V	→	Volt



# Capítulo 1

## 1 INTRODUÇÃO

Hoje em dia a monitorização de processos de fabrico têm uma grande importância, devido ao controlo de qualidade, á tentativa de reduzir custos, e para um melhor desempenho de produção, ou seja, para ter uma maior vantagem competitiva. Assim todos os parâmetros que possam ser lidos e sejam relevantes para o processo de fabrico são monitorizados.

Esta monitorização inicialmente era feita no local de uma forma visual por um operador experiente, mas com a evolução dos processos de fabrico que tendem a ficar mais complexos e com ciclos de fabrico menores, emergiu a necessidade de monitorizar os processos de uma forma mais eficiente.

Como consequência desta conjuntura começaram-se a usar sistemas de aquisição, monitorização, e gravação de dados para realizar estas tarefas que têm a necessidade de ser realizadas de uma forma rápida e robusta, para que a resposta a eventuais problemas seja eficiente. Para isso a informação relevante tem que chegar preferencialmente em tempo real e sem erros, passou-se então a usar sistemas electrónicos como PLC's, sistemas embebidos, PC's, entre outros.

O uso destes diversos equipamentos permitiu então a que tarefas de monitorização e de controlo sejam realizadas com mais eficácia melhorando a resposta a erros ou problemas de fabrico.

No caso dos processos que envolvem materiais poliméricos, como é o caso do trabalho apresentado nesta tese, em que o fabrico envolve aquecimento e consequentemente arrefecimento do polímero, leva a que diferentes variáveis que influenciam directamente a qualidade do produto final têm que ser monitorizadas.

Variáveis como o tempo de aquecimento e arrefecimento podem levar a uma optimização do tempo de fabrico, ou temperatura máxima durante o aquecimento que pode levar á degradação térmica do polímero. [1]

## 1.1 OBJECTIVOS DO TRABALHO

Neste trabalho foi proposto o desenvolvimento de um sistema de monitorização para uma máquina de moldação rotacional do Departamento de Engenharia de Polímeros da Universidade do Minho, Figura 1.



Figura 1 Máquina de Moldação Rotacional

Este tipo de máquinas é utilizado para fazer peças de material polimérico através do aquecimento, rotação e arrefecimento de um molde com o formato da peça a produzir. Estas fases de fabrico têm uma grande importância na obtenção de um produto final de qualidade.

Durante a fase de aquecimento se se aquecer durante muito tempo ou com temperaturas muito altas o polímero pode sofrer degradação térmica, se a rotação não for feita em um ou mais eixos as paredes da peça a fabricar não ficam com uma espessura uniforme, e se o arrefecimento for muito rápido podem ocorrer deformações.

Assim devido aos problemas apresentados anteriormente leva-nos a monitorizar este processo de fabrico.

As grandezas físicas que se pretendem monitorizar são a temperatura do ar no interior do molde, a temperatura do próprio molde, e a temperatura do ar no exterior do

molde, pretende-se também monitorizar quanto é que a peça encolhe/deforma no interior do molde durante o arrefecimento.

Para a medição das temperaturas são usados termopares, e para a medição do encolhimento da peça é usado um extensômetro.

O sistema de aquisição e monitorização a desenvolver deverá registar as temperaturas e o encolhimento da peça, e monitorizar a evolução das mesmas em tempo real. Para adquirir a informação foi utilizado um autómato programável que faz o interface com os sensores anteriormente referidos.

Para mostrar e armazenar a informação previamente adquirida foi desenvolvida uma aplicação em LabVIEW que corre num computador pessoal.

A comunicação entre o autómato e o computador é por *wireless* tendo sido escolhido para o efeito módulos de Zigbee.

O desenvolvimento deste trabalho seguiu os passos apresentados de seguida:

- 1) Estudo da máquina de moldação rotacional;
- 2) Programação do autómato para incorporação dos termopares e do extensômetro;
- 3) Desenvolvimento do programa em LabVIEW para monitorização e gravação dos valores;
- 4) Testes e validação das aplicações desenvolvidas.

## **1.2 REQUISITOS DO SISTEMA**

### **1.2.1 SOFTWARE**

O sistema de monitorização para uma máquina de moldação rotacional possui vários requisitos relativos ao *software*, mais precisamente no respeitante à informação que será apresentada ao operador e como esta deve ser guardada para efeitos de histórico para posterior análise e estudo. Os principais requisitos foram os seguintes:

- Visualização gráfica da medição dos sensores;
- Possibilidade de escolha do sensor a ser visualizado;

- Visualização numa tabela os dados recebidos dos sensores e do tempo decorrido em segundos e em minutos;
- Gravação dos dados num ficheiro de Excel, identificando cada sensor com um nome que pode ser mudado;
- Indicação se a informação recebida está correcta;
- Escolha do tempo de aquisição de dados com um mínimo de 1segundo;

### **1.2.2 HARDWARE**

Relativamente ao *hardware* requerido pelo sistema de monitorização para uma máquina de moldação rotacional foi feita referência à forma de como o sistema deveria ler a temperatura, que temperatura ler e a deformação da peça. Os principais requisitos foram os seguintes:

- A aquisição dos dados é feita através de um autómato;
- Medição da temperatura do processo de moldação;
- Medição da deformação da peça no processo de moldação;
- Comunicação entre o módulo de medição / aquisição de dados e o PC por ZigBee;

### **1.3 ORGANIZAÇÃO DA TESE**

Os temas abordados apresentados nesta tese estão divididos em seis capítulos, organizados da seguinte forma.

No segundo capítulo é inicialmente abordado a história do processo de moldação rotacional, mostrando as vantagens e limitações

No terceiro capítulo é efectuada uma descrição dos protocolos usados na comunicação entre o autómato e o computador, mostrando os aspectos relevantes ao trabalho desenvolvido.

No quarto capítulo é descrito o desenvolvimento do sistema como a sua implementação, considerando todos os equipamentos utilizados descrevendo cada um fisicamente e mostrando no que envolveu a sua instalação e configuração.

No quinto capítulo é efectuada uma apresentação do *software* usado para a programação da aplicação gráfica de monitorização e da aplicação de aquisição, de seguida é explicado no que constituem as aplicações desenvolvidas. Por fim são explicadas as tramas de comunicação implementadas.

O sexto capítulo termina com as conclusões da análise da implementação do sistema de moldação rotacional e perspectivas futuras do trabalho descrito nesta tese.



## Capítulo 2

### 2 ESTADO DA ARTE

Actualmente o desenvolvimento de sistemas de monitorização de tarefas e processos quer sendo feitas por máquinas ou por humanos têm uma grande importância, quer para um melhor controlo de qualidade, e para uma redução de custos, e também para uma produção mais eficiente, ou seja, para ter uma maior vantagem competitiva.

Por isso são desenvolvidos diversos equipamentos para ajudar a monitorizar as diversas tarefas, como equipamentos para medir distâncias, temperaturas, forças, Ph, pressão, entre outros.

Com a evolução destes equipamentos houve uma rápida evolução em sistemas de monitorização, aumentando o número de processos que são monitorizados provocando também a evolução dos sistemas de comunicação entre os sistemas de medição e os equipamentos de gestão, monitorização e gravação de dados como por exemplo um computador.

Os sistemas de comunicação de dados tradicionalmente são feitos por meio de cabos, mas houve uma grande evolução nas comunicações passando de comunicação por cabos para comunicação sem fios, com o aparecimento do Wi-Fi, Bluetooth ou Zigbee.

Porem para trabalhar no meio industrial a comunicação sem fios tem que obedecer a certos requisitos, como ser um meio de comunicação robusto, fiável, e flexível, isto devido a vários factores como os dados terem de ser transmitidos e chegarem ao destino de forma consistente, e sem erros.

Neste capítulo inicialmente será mostrada uma perspectiva histórica do processo de moldação rotacional, depois será descrito em pormenor o processo de moldação rotacional, explicando depois quais eram os requisitos do sistema quer a nível de *software* quer a nível de *hardware*.

No final serão abordados alguns dos sistemas de monitorização existentes no mercado.

## **2.1 HISTÓRIA DA MOLDAÇÃO ROTACIONAL**

Em 1855 foi documentado a primeira rotação biaxial e aquecimento por R. Peters. Em 1905 a F.A Voelke usou este método para o esvaziamento de objectos de cera, levando posteriormente ao uso do mesmo processo no fabrico de ovos e doces de chocolate em 1910, isto foram algumas das situações que ajudaram ao desenvolvimento do processo de moldação rotacional. [1]

O uso de polímeros plásticos foram introduzidos ao processo de moldação rotacional no início de 1950, mas inicialmente era pouco usado por ser um processo de fabrico lento e era restrito a um pequeno número de plásticos. Uma das primeiras aplicações foi no fabrico de cabeças de bonecas, levando posteriormente à criação de outros brinquedos de plástico.

Devido ao sucesso que este processo teve, levou ao aumento da sua procura para o fabrico de produtos como cones de sinalização de estrada, bóias, tanques de plástico, canoas, entre outros. Com este aumento de popularidade originou o desenvolvimento de equipamentos de fabrico maiores com novos sistemas de aquecimento, provocando um aumento do número de produtos que podiam ser fabricados. [2]

O principal objectivo do uso da moldação rotacional era criar uma consistência na espessura das paredes e densidade das peças fabricadas.

## **2.2 MOLDAÇÃO ROTACIONAL – O PROCESSO**

O processo de moldação rotacional (ou rotomoldação) é um processo de alta temperatura, baixa pressão, e é usado para o fabrico de peças ocas de polímero/plástico normalmente de uma grande dimensão.

O processo de fabrico por moldação rotacional inicia-se por se fixar um molde com a forma da peça a ser produzida, no braço da máquina de moldação, na Figura 2 é apresentado todo o processo de fabrico, constituído por os quatro passos que envolvem realmente o fabrico. [1]

**O fabrico por moldação rotacional consiste em quatro passos distintos:**

- Carregar o molde com uma quantidade de polímero pré-determinado em forma de líquido, pó, ou granulado (Figura 2A);

○ O molde é aquecido no interior do forno enquanto roda, até que o polímero derreta e adira às paredes do molde. O molde tem que ser rodado em dois ou mais eixos com velocidades diferentes, para prevenir que o polímero se distribua de uma forma não uniforme (Figura 2B);

○ Depois de aquecido o molde passa para uma câmara de arrefecimento onde é sujeito a uma combinação de ar forçado e pulverização de água para proceder ao arrefecimento do molde, podendo durar algum tempo.

A peça tem que estar a uma temperatura aceitável para que possa ser retirado do molde pelo operador em segurança, e também para que a peça não seja danificada. Esta ao arrefecer vai encolher no interior do molde permitindo que seja retirado com facilidade (Figura 2C);

○ O último passo é retirar a peça do molde (Figura 2D).

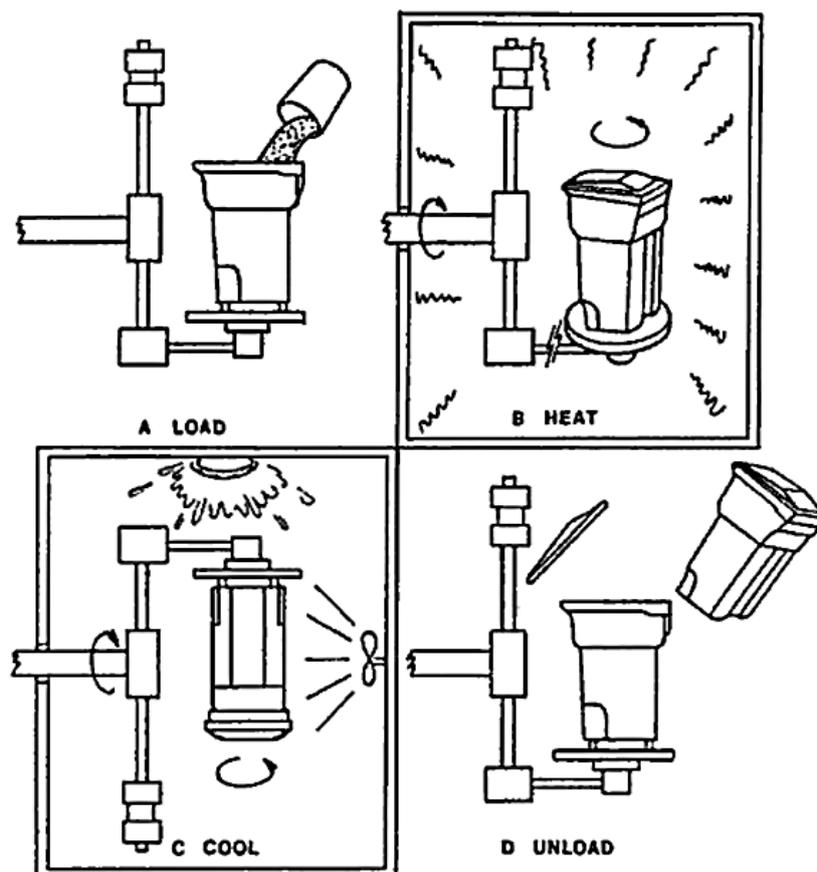


Figura 2 Processo de Moldação Rotacional – A: Load; B: Heat; C: Cool; D: Unload [1]

O molde no caso deste projecto é aquecido por um forno usando resistências eléctricas, mas pode também ser aquecido por infravermelhos ou chama (através de combustão de gás). O forno pode também ser aquecido através da circulação de sais inorgânicos ou óleo quente envolvendo o molde sendo bastante eficiente, contudo existem alguns problemas a ele associado tais como contaminação do polímero ou risco de incêndio.

O tempo que o molde passa no forno é crítico, durante muito tempo o polímero começa a degradar-se, durante pouco tempo no forno o polímero pode não estar completamente fundido.

O arrefecimento do molde é feito através do arrefecimento do exterior do molde podendo ser efectuado com ar, água ou os dois em simultâneo.

O arrefecimento a água apresenta uma vantagem importante que é a redução do tempo de ciclo que é normalmente um dos problemas deste tipo de processo. Contudo, devido à grande velocidade deste arrefecimento, poderão surgir defeitos nas peças finais, tais como deformações/empenos.

Só nos últimos anos é que este processo de fabrico deixou de ser meramente empírico, controlado por operadores experientes e muitas vezes por tentativa e erro. O operador tinha que determinar pela sua experiencia quanto tempo era necessário o molde estar no forno, qual era a temperatura necessária, e também quando a peça estava fria o suficiente para ser removida do molde.

Mas nos últimos anos a tecnologia evoluiu, fazendo com que a temperatura do processo possa ser monitorizada, diminuindo em grande parte o procedimento de tentativa-erro.

Estes desenvolvimentos na tecnologia permitiram reduzir o tempo de fabrico (tempo de ciclo), e melhorar a qualidade final dos produtos produzidos.

A configuração de uma máquina de moldação rotacional também representa um factor importante na diminuição do tempo de ciclo, como podemos ver na Figura 3. Assim em vez de termos só um braço com um molde fabricando uma peça de cada vez, temos três braços em que cada um tem um molde, podendo cada braço estar numa fase de fabrico diferente.

Ou seja, ao mesmo tempo que num braço é retirada a peça pronta do molde e carregado de novo com o polímero, está um segundo braço com um molde no forno e

também um terceiro braço está na câmara de arrefecimento, tornando assim este processo muito mais eficiente.

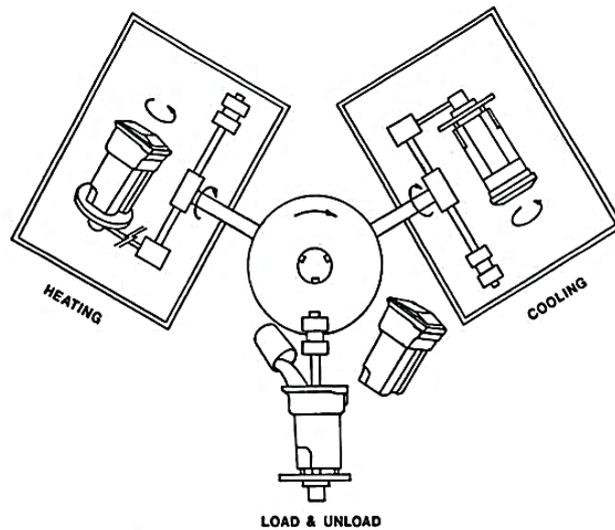


Figura 3 Máquina de moldação rotacional de três braços [1]

### 2.2.1 VANTAGENS

O processo de moldação rotacional apresenta vantagens quando as peças a moldar são ocas o que em alguns produtos tem o benefício de ter um menor peso, como por exemplo no caso dos brinquedos. No entanto em determinados produtos as peças serem ocas é um elemento crítico para a sua funcionalidade, como por exemplo recipientes ou tanques de armazenamento.

A Figura 4 mostra uma grande variedade de produtos com diversos tamanhos, que podem ser fabricados usando o processo de moldação rotacional.



Figura 4 Exemplo de produtos fabricados por moldação rotacional [3]

Outra vantagem é que as peças fabricadas por este processo têm cantos e arestas fortes, em comparação com os outros processos de fabrico como a termoformação de

parede dupla ou a moldação por sopro, que têm a desvantagem dos cantos e arestas serem mais fracos, a espessura das paredes não serem uniformes, provocam mais *stress* no polímero, e o tamanho das peças que podem ser produzidas é limitado.

Na rotomoldação o tamanho do produto a ser fabricado só é limitado pelo tamanho do forno, que em casos particulares é construído um forno maior para acomodar um molde para uma peça maior.

No caso da moldação por sopro os moldes e o equipamento são mais caros que na moldação rotacional, porque os moldes na rotomoldação não precisam de tanto cuidado no seu desenho por ser um processo de baixa pressão ao contrário dos anteriores. Ou seja, em processos de fabrico para alta pressão tipicamente existe um aumento no custo de projecto e fabrico dos moldes.

Por fim outra grande vantagem é que no processo descrito o material desperdiçado é quase inexistente e isto contribui para uma redução dos custos, que nos outros processos de fabrico mencionados constitui uma desvantagem, isto quer dizer que todo o polímero que é colocado no molde sai todo como produto final. [1]

### **2.2.2 LIMITAÇÕES**

O processo de moldação rotacional tem algumas limitações que o diferenciam de outros processos de moldação.

Como este processo de fabrico é feito a baixa pressão provoca que em algumas situações é difícil o polímero chegar a algumas áreas do molde, mas isto é atenuado usando polímeros de boa qualidade, e se o polímero estiver num estado líquido ou esteja em forma de pó fino que flua como um líquido.

Mas esta última solução introduz outra desvantagem que é um aumento do custo do material polimérico, fazendo que o custo total de fabrico também aumente.

Outra limitação encontra-se nos próprios moldes, que ao contrário de outros processos que é só a peça tem que arrefecer antes de ser retirada, na rotomoldação a peça e o molde têm que arrefecer aumentando assim o tempo de ciclo.

Um tempo de aquecimento longo e as altas temperaturas também são uma limitação podendo provocar a degradação térmica do polímero, isto faz com que alguns polímeros não possam ser usados por não terem a resistência térmica necessária para longos ciclos de aquecimento. [1]

## 2.3 SISTEMAS DE MONITORIZAÇÃO

### 2.3.1 ROTOLOG 3.0™

O sistema de monitorização RotoLog foi inicialmente desenvolvido através de estudos feitos na Queen's University em Belfast, mas actualmente o sistema é comercializado e desenvolvido pela Ferry Industries.

O RotoLog foi o pioneiro dos sistemas de monitorização para rotomoldação permitindo a leitura e registo das temperaturas no interior do molde, no interior do forno e do próprio molde, Figura 5. O registo das temperaturas é feito por um computador com um *software* próprio e em tempo real, os dados são transmitidos por rádio frequência da unidade de leitura para o PC que está ligado ao receptor de RF por rs232.



Figura 5 RotoLog 3.0 System [4]

O sistema de monitorização RotoLog é constituído por uma unidade de recepção, uma unidade transmissão, quatro protecções de gelo para o *hardware* de leitura que é montado no molde devido às altas temperaturas, Figura 6A, e software específico compatível com Windows 2000. [5]

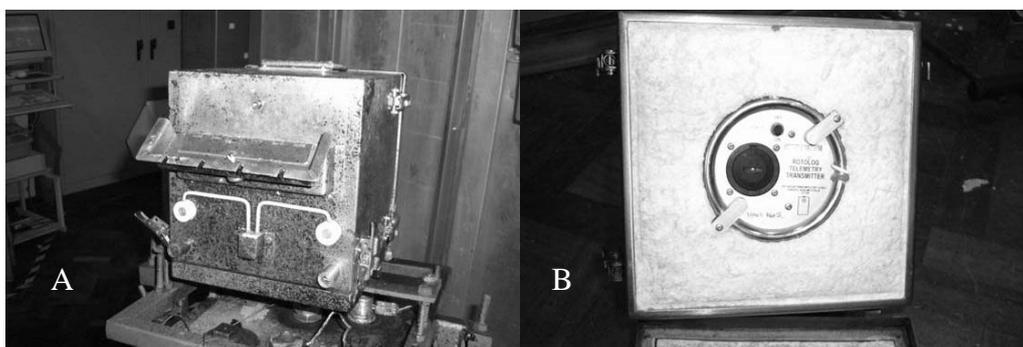


Figura 6 RotoLog 3.0 – Montagem da Unidade de leitura no molde [5]

A unidade transmissora que está em rotação em uníssono com o molde durante o ciclo de fabrico, é constituída pelo transmissor RF mas também com electrónica que permite a leitura das temperaturas. Este equipamento está protegido por gelo no interior de uma caixa de metal, oferecendo boa protecção para a as altas temperaturas no interior do forno, Figura 6B.

Os sensores usados para medir as diversas temperaturas foram termopares, devido á sua capacidade de aguentar altas temperaturas dependendo do tipo a ser escolhido.

### 2.3.2 TEMPLOGGER™

A empresa RotoSolutions foi fundada em 2004 é sediada na África do Sul, desenvolve e produz equipamentos de monitorização e controlo do processo fabrico de Roto Moldação.

O TempLogger™ é uma das soluções desenvolvidas, é constituída por um *software* para monitorização, gravação e comparação de temperaturas de fabrico na rotomoldação que é instalado num PC, Figura 7.

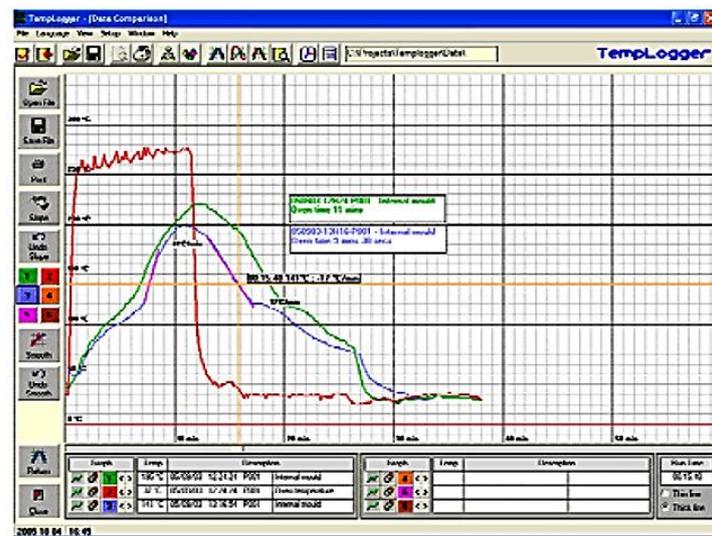


Figura 7 TempLogger™ - Software [6]

O sistema é também constituído por uma unidade base que está ligada ao PC por rs232, e comunica com a unidade de leitura via rádio frequência, Figura 8.



Figura 8 TempLogger™ – Unidade Base\ Unidade de Leitura [6]

Estes sistemas em conjunto constituem o equipamento TempLogger™ de monitorização que é um sistema portátil montado no molde para medir a temperatura no interior e no exterior do molde através de termopares do tipo K.

O *hardware* pode operar em temperaturas de 300°C durante 60min, com quatro canais de leitura de temperatura, seis alarmes, e seis relés para controlo da máquina.

Tabela 1 TempLogger™ - Especificações técnicas [6]

<b>Temperature measurement</b>	
Range	-20°C to 550°C
Accuracy	±2°C
Resolution	±0.5°C
Number of channels	4 K-type thermocouples per station
<b>Transceiver units</b>	
Wireless communication	Multiple frequencies in 433Mhz band ISM license free in all countries
RF remote link range	30 Metres from inside the oven
Power supply	2 x 1,5V AA batteries 1500 hour operation with lithium batteries
Number of stations	1 to 6 per machine, 4 channels per station
<b>Heat insulation box</b>	
Dimensions	280 mm x 185 mm x 185 mm
Weight	7,5 kg
Material	Stainless steel frame
Operating time	3 x 60 minutes at 300 °C followed by replacement of cooling pack
Protection rating	IP65 protection against dust ingress and water

### 2.3.3 OVEN TRACKER RADIOPAQ

A Datapaq é uma empresa fundada em 1984 que desenvolve e produz sistemas de leitura e registo de temperaturas em meios hostis como por exemplo fornos.

O Oven Tracker RadioPaq, é um sistema de telemetria para leituras em tempo real por rádio frequência, constituído por um *software* de leitura e registo que está instalado num PC permitindo a visualização das temperaturas medidas em tempo real, como também a comparação das leituras com perfis pré-determinados antes mesmo do processo de fabrico ter finalizado, Figura 9.

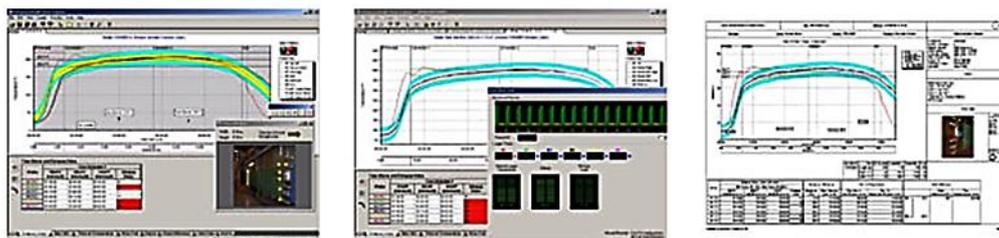


Figura 9 Oven Tracker RadioPaq – Software [7]

Este equipamento é constituído também pelo Tpaq21, Figura 10A, que é um dispositivo que faz a leitura e registo das temperaturas, e envia as temperaturas para o computador por rádio frequência através de um transmissor de RF, Figura 10B.

O Tpaq21 tem a vantagem de fazer *backup* dos dados, ou seja, ao efectuar a leitura este grava os dados na memória interna e envia também por wireless, e mesmo se o computador não receba ou não registe os dados estes estão salvaguardados na memória interna do Tpaq21.

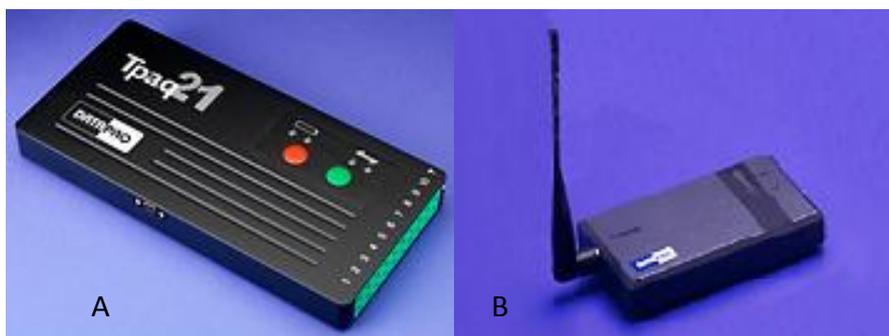


Figura 10 Oven Tracker RadioPaq – (A) Tpaq21 Data Logger \ (B) Transmitter and Receiver [7]

Os dados são transmitidos por RF através de um transmissor e um receptor, em que as frequências de operação são seleccionáveis pelo utilizador proporcionando uma melhor qualidade de sinal de rádio. Para uma melhor configuração do sistema de rádio

frequência o receptor tem um indicador de sinal, e *software* de diagnóstico incorporado para uma configuração rápida e eficiente.

Um elemento importante é a protecção térmica, Figura 11, para o *hardware* que está instalado junto do forno estando sujeito a temperaturas elevadas, e para isso o Oven Tracker RadioPaq vem com uma caixa em aço que oferece uma protecção térmica até 14 horas, dependendo a que temperatura estiver sujeito, Tabela 2.



Figura 11 Oven Tracker RadioPaq – Thermal Barrier [7]

Tabela 2 Barreira térmica, características de operação [7]

<b>Temperature</b>	100°C	150°C	200°C	250°C	300°C
<b>Duration</b>	14.5 hours	6.5 hours	4.5 hours	3.5 hours	3.0 hours

Na Tabela 3 é mostrada uma visão geral sobre as diversas características que compõem o sistema de telemetria da Datapaq.

Tabela 3 Oven Tracker RadioPaq - Especificações técnicas [7]

<b>Temperature measurement</b>	
Range	-100°C to 1,370°C
Accuracy	±0.3°C
Resolution	0.1°C
Number of channels	10 Type K
<b>Transceiver units</b>	
Wireless communication	433.075 – 433.450MHz
RF remote link range	200m
Power supply	12 DC via communication cable
<b>Heat insulation box</b>	
Dimensions	130mm x 220mm x 292mm
Weight	6.2kg
Material	Stainless steel frame
Operating time	up to 14 hours

### 2.3.4 K-PAQ™

A 493K é uma empresa que desenvolve e produz dispositivos para a indústria de moldação rotacional com sede em Inglaterra.

Esta empresa possui várias soluções para monitorização e controlo do processo de rotomoldação, uma das soluções é o K-Paq, Figura 12, que se caracteriza por medir e registar a temperatura do molde e a pressão do ar no seu interior.

Os dados medidos são transmitidos por rádio frequência para uma central de controlo onde são registados e analisados em tempo real.

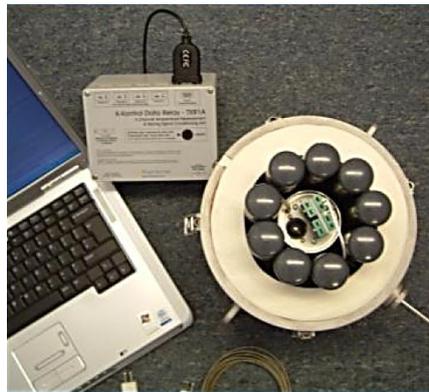


Figura 12 K-Paq System [8]

O dispositivo de medição/transmissão do sistema K-Paq é colocado no molde em que mede a pressão do ar por um tubo de ventilação e a temperatura através de termopares do tipo K, enviando esses dados para o computador por RF, Figura 13. Isto é feito em tempo real permitindo observar as diversas variáveis do processo pelo operador e corrigir qualquer erro ou defeito imediatamente melhorando a qualidade final do produto.

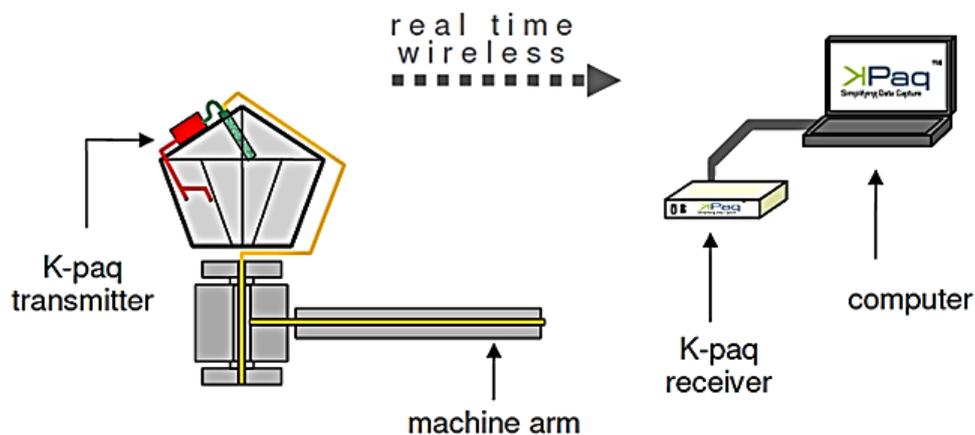


Figura 13 K-Paq – Visão geral do Sistema [8]

O K-Paq é um equipamento de fácil e rápida fixação, devido ao uso de suportes descartáveis que fixam directamente aos suportes do molde, não tendo assim um grande tempo de *set-up*.

Para a protecção do equipamento fixado junto ao molde que está sujeito a altas temperaturas o K-Paq vem equipado com cartuchos de refrigerante, Figura 12, sendo capaz de proteger o *hardware* de temperaturas até 350°C, e é selado consoante a norma IP65 para ser usado até se o molde for arrefecido a água.

Tabela 4 K-Paq™ - Especificações técnicas [8]

<b>Temperature measurement</b>	
Range	0°C to 350°C
Accuracy	±4°C
Resolution	±0.5°C
Number of channels	4 Differential No. of Channels Thermocouples
<b>Pressure measurement</b>	
Range	0 - 0.5 x 10 <sup>5</sup> N/m <sup>2</sup> (0 - 0.5Bar; 0 - 7P.S.I)
Accuracy	±0.007 x 10 <sup>5</sup> N/m <sup>2</sup> (0.007Bar; 0.1 P.S.I.)
Resolution	0.007 x 10 <sup>5</sup> N/m <sup>2</sup> (0.007Bar; 0.1 P.S.I.)
Number of channels	1 Gauge Pipe Line Connected to Pressurised Mould
<b>Transceiver units</b>	
Wireless communication	417.900-418.100MHz, 433.720- 434.120MHz, 800Mhz
RF remote link range	30 Metres
<b>Heat insulation box</b>	
Dimensions	200mm (Diameter); 300mm (Length)
Weight	8kg
Material	Stainless Steel
Operating time	5 cycles of 20 minutes at 350C (662°F) immediately followed by forced cooling cycle and changing of ice packs
Protection rating	IP65 protection against dust ingress and water

## 2.4 CONCLUSÕES

Neste capítulo foi mostrado um estudo dos diversos sistemas de monitorização para o processo de fabrico de moldação rotacional.

Algumas das características estudadas são comuns a todos os sistemas de monitorização, como a medição de temperatura, a comunicação entre o módulo de medição e o módulo de registo (PC) que é efectuado por *wireless*, e a visualização dos dados em tempo real.

Mas embora os sistemas pareçam semelhantes existem algumas características que se evidenciam, como a medição da pressão do ar no interior do molde que somente o K-Paq tem esta funcionalidade, e que mais nenhum dos sistemas estudados a possui.

No sistema proposto esta funcionalidade não faz parte dos objectivos a serem concretizados, somente a medição de temperaturas e a medição de deformações fazem parte dos objectivos para o trabalho apresentado nesta tese.

A característica que é mais relevante para o trabalho realizado no âmbito desta tese é a medição de deformações, em comparação aos outros sistemas estudados que não possuem esta característica. Por último o tempo de utilização é uma característica que não pode ser descartada, que nos equipamentos estudados depende do tipo de isolamento podendo ser gelo ou outro tipo de isolamento, mas no sistema proposto o tempo de utilização só depende do tipo e qualidade dos termopares.

Na Tabela 5 é apresentada uma comparação entre os diferentes sistemas.

Tabela 5 Comparação entre os diferentes sistemas

	<b>Sistema proposto</b>	<b>RotoLog3.0™</b>	<b>TempLogger™</b>	<b>Oven Tracker RadioPaq</b>	<b>K-Paq™</b>
<b>Medição de temperatura</b>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
<b>Medição de deformações</b>	Sim	Não	Não	Não	Não
<b>Medição da pressão do ar no interior do molde</b>	Não	Não	Não	Não	Sim
<b>Visualização dos dados em Tempo Real</b>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
<b>Gravação dos dados num ficheiro Excel</b>	Sim	Sem Informação	Sem Informação	Sim	Sem Informação
<b>Comunicação entre a unidade de leitura e o PC por <i>wireless</i></b>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
<b>Tempo de utilização</b>	Consoante o tempo de vida dos termopares	Sem Informação	180min a 300°C	180min a 300°C	100min a 350°C

## Capítulo 3

### 3 COMUNICAÇÃO DE DADOS

Neste capítulo serão explicados os protocolos de comunicação que foram usados no trabalho apresentado nesta tese, sendo o Protocolo ZigBee construído em volta da norma IEEE 802.15.4, e o protocolo FINS da OMRON que é um protocolo proprietário desenvolvido para comunicação entre equipamentos da própria OMRON e também computadores pessoais (PC).

O protocolo ZigBee é usado na comunicação entre os módulos XBee, e o protocolo FINS é usado na comunicação entre o computador pessoal e o autômato.

#### 3.1 PROTOCOLO ZIGBEE

O Zigbee, é uma tecnologia recente, foi apresentada ao público em 2005 e a entidade responsável por este protocolo é a ZigBee™ Alliance, sendo uma aliança constituída por mais de 200 empresas, que se formaram em volta da especificação da norma IEEE 802.15.4, com destaque de empresas como Motorola, Intel, Sony, Samsung, Philips, Mitsubishi Electric, Honeywell e a Invensys. [9]

O ZigBee foi desenvolvido para aplicações diferentes das do Bluetooth ou do IEEE 802.11/Wi-Fi, foi desenvolvido especialmente para uma otimização máxima do consumo de energia, e uma elevada fiabilidade.

O protocolo ZigBee apresenta um consumo de energia muito reduzido comparativamente ao Wi-Fi ou ao Bluetooth, principalmente em períodos de inactividade. Por este motivo é possível criar dispositivos sensores remotos alimentados com pilhas ou baterias comuns, que durarão meses ou mesmo anos sem precisarem de ser substituídas, porque os módulos ZigBee quando não estão transmitindo/recebendo dados, entram num modo de "Sleep", consumindo o mínimo de energia.

O ZigBee teve um grande aumento no número de produtos introduzidos no mundo das redes sem fios, sendo muito usado em sistemas de monitorização e sensorização como é o caso dos sistemas de automação doméstica, segurança, controlo de iluminação e de acessos, etc. O protocolo Zigbee tem algumas características que fazem dele uma vantagem em relação a outros protocolos, essas características são:

- Reduzido consumo de energia;
- Pilha protocolar pequena (código de menor tamanho), levando a interfaces de baixo custo;
- Suporta um elevado número de nós por rede (pode suportar teoricamente até 65535);
- Podem ser definidas diferentes arquiteturas de redes (malha, árvore, estrela);
- Elevada segurança com um sistema de encriptação de 128 bits;
- O tempo de ligação de um dispositivo à rede é muito mais reduzido do que no protocolo Wi-Fi e Bluetooth;
- O tempo de passagem para o modo de standby é reduzido;
- Elevada fiabilidade;
- Tem três tipos de dispositivos na rede: coordenador, router e endpoint;
- Baixo custo dos dispositivos;
- Suporta duas classes de dispositivos físicos, podendo estar ambos na mesma rede:

- *Reduced Function Device (RFD)*

Estes dispositivos são os endpoint, não estão ligados permanentemente, consumindo menos energia, mas só podem comunicar com os dispositivos FFD, possuindo funções limitadas;

- *Full Function Device (FFD)*

São dispositivos mais complexos e precisam de um *hardware* com maior desempenho para a implantação da pilha de protocolos, o que conseqüentemente, consomem mais energia.

Numa topologia de Rede ZigBee eles podem assumir o papel de Coordenador, Router ou mesmo de um dispositivo final (endpoint). Trata-se de dispositivos de construção mais complexa. [10]

### 3.1.1 TOPOLOGIAS DE REDE

No protocolo Zigbee podem ser implementados vários tipos de topologias de rede, mas em qualquer uma das topologias o Zigbee Coordenador é o dispositivo responsável por iniciar a rede. Numa rede Zigbee existem três tipos diferentes de dispositivos ZigBee desempenhando cada um deles uma tarefa diferente: [10]

- **ZigBee Coordenador:**

É o único dispositivo que inicia a rede havendo só um por rede. É capaz de armazenar informações sobre a rede, inclusive actuando como o repositório de chaves de segurança.

- **ZigBee Router:**

Tem as características de um nó normal na Rede, mas com funcionalidades adicionais que lhe permitem exercer a função de router intermediário entre nós, sem precisar do Coordenador. Por intermédio de um router uma Rede ZigBee poder ser expandida, e assim ter mais alcance.

- **ZigBee Endpoint:**

Tem como funcionalidade apenas falar com o nó coordenador ou router, não podendo retransmitir dados de outros dispositivos, passando uma grande quantidade de tempo inactivo levando a uma longa duração da bateria.

#### **Estrela (*Star*)**

É uma das topologias de Rede ZigBee mais simples de serem implementadas, é composta de um nó coordenador, e quantos nós Endpoint forem necessários, Figura 14. Esta topologia de rede deve ser usada em locais com poucos obstáculos à transmissão e recepção dos sinais, como por exemplo, em uma sala sem muitas paredes ou locais abertos.

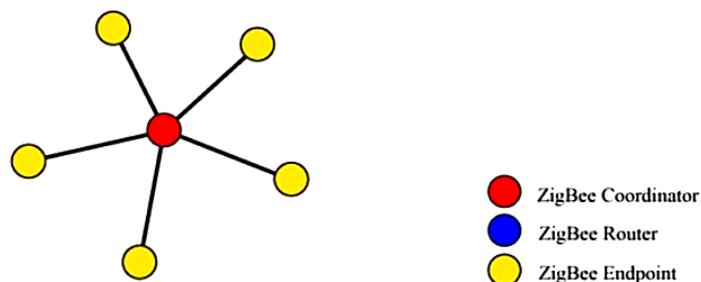


Figura 14 Topologia de rede em Estrela [11]

### **Malha (*Mesh*)**

Na topologia de rede em Malha, Figura 15, a rede pode-se ajustar automaticamente, tanto na sua inicialização como na entrada ou saída de dispositivos na Rede.

A Rede auto-organiza-se para otimizar o tráfego de dados, com vários caminhos possíveis para a comunicação entre os nós. Este tipo de Rede pode abranger em extensão uma longa área geográfica, podendo ser implementada numa fábrica ou mesmo num prédio com vários andares.

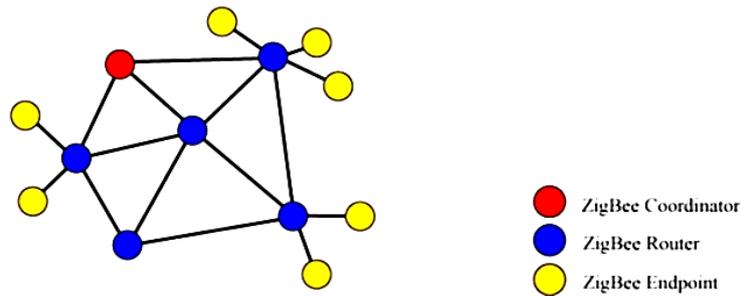


Figura 15 Topologia de rede em Malha [11]

### **Árvore (*Tree*)**

Semelhante à topologia de Malha, uma Rede em árvore, Figura 16, tem uma hierarquia muito maior e o coordenador assume o papel central na troca de informação entre o Router e o Endpoint.

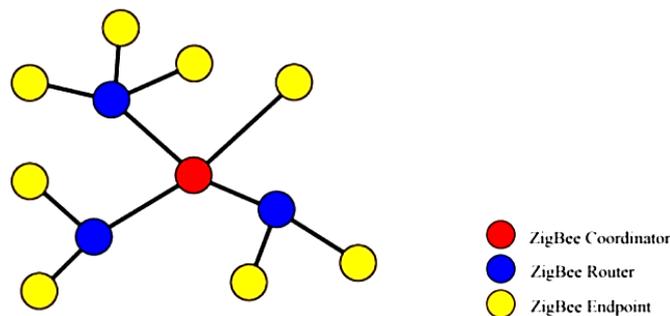


Figura 16 Topologia de rede em Árvore [11]

## **3.1.2 ASPECTOS TÉCNICOS**

A tecnologia Zigbee opera em três bandas, Figura 17, de frequência das bandas ISM, que estão isentas de licenciamento.

A nível mundial temos a banda de frequência de 2,4 GHz para um débito de 250 Kb/s usando a modulação O-QPSK, para a América e Austrália temos uma banda de 915 MHz e um débito de 40 Kb/s usando a modulação BPSK, para a Europa temos a

banda de 868 MHz com débito de 20 KB/s, usando a mesma modulação que a banda anterior a modulação BPSK. [11]

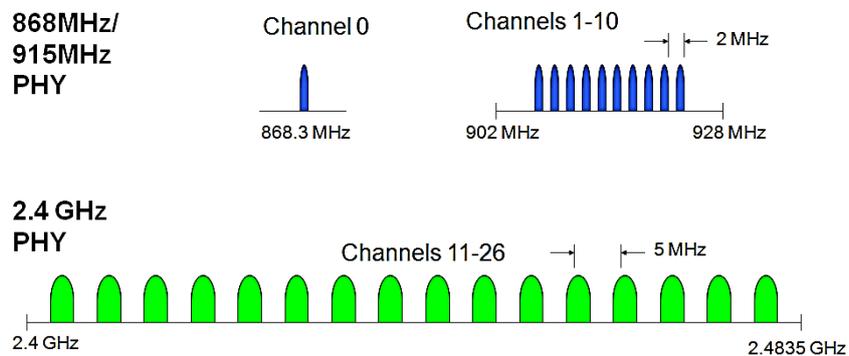


Figura 17 Bandas de frequência de operação [12]

### 3.1.1 ARQUITECTURA DO PROTOCOLO ZIGBEE

O protocolo Zigbee foi projectado para efectuar comunicação sem fios de forma fiável, com baixas taxas de transmissão e com baixo consumo de energia para aplicações de monitorização e controlo.

O ZigBee é descrito como uma arquitectura por camadas sendo baseado no modelo OSI, cada camada tem a sua função sendo que cada uma fornece funcionalidades específicas á camada imediatamente acima.

Para implementar as camadas MAC e PHY, Figura 18, o ZigBee utiliza a especificação 802.15.4 do IEEE, que é constituído por uma arquitectura que faz a compatibilidade com as normas que a rege.

Embora se baseie no modelo OSI de sete camadas, este apenas define as que necessita, como se pode ver de uma forma simplificada na Figura 18.

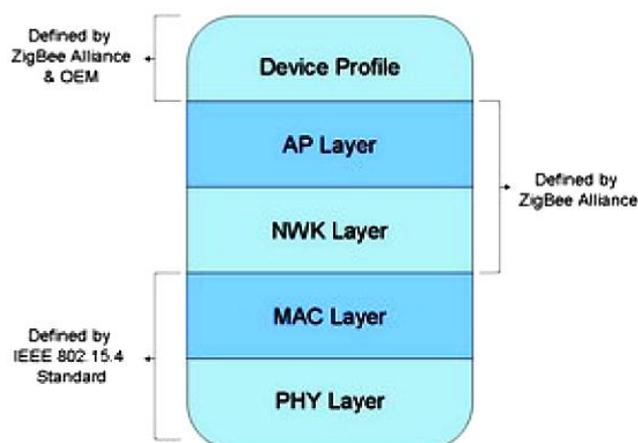


Figura 18 Camadas da Arquitectura Protocolar ZigBee [11]

As duas camadas inferiores, a camada física (PHY) e camada de controlo de acesso ao meio (MAC), estão definidas pela norma IEEE 802.15.4.

Em cima destas está definido o protocolo ZigBee, onde se definem as camadas de rede (NWK) e a camada de aplicação (APL), e por fim a camada que define o perfil do dispositivo (Device Profile).

A camada física que é a responsável por permitir a transmissão e recepção de mensagens através de um canal físico RF. Das suas funções fazem parte a activação e desactivação do transdutor, a detecção da quantidade de energia das comunicações a indicação da qualidade da ligação, e a selecção do canal e transmissão / recepção.

A camada MAC tem como funcionalidade o controlo de acessos aos canais RF, utilizando para isso mecanismos de prevenção de colisão CSMA-CA tendo de efectuar comunicações com a camada inferior. Além disso especifica o tipo de dispositivos permitidos na rede, e define o tipo de tramas.

A camada de rede NWK é a primeira definida pelo protocolo ZigBee e tem a responsabilidade do início ou fim da ligação de um dispositivo à rede, a descoberta e o armazenamento de informação de novos dispositivos na vizinhança e atribui endereços aos dispositivos configurados como Coordenador.

É nesta camada que estão presentes os mecanismos para descobrir rotas e o encaminhamento de informação, e também de configuração de novos dispositivos.

A camada de aplicação pretende assegurar uma boa gestão dos recursos, de modo que as aplicações que sejam criadas funcionem de uma forma correcta.

Para uma análise mais detalhada do protocolo ZigBee está representado o esquema da arquitectura na Figura 19.

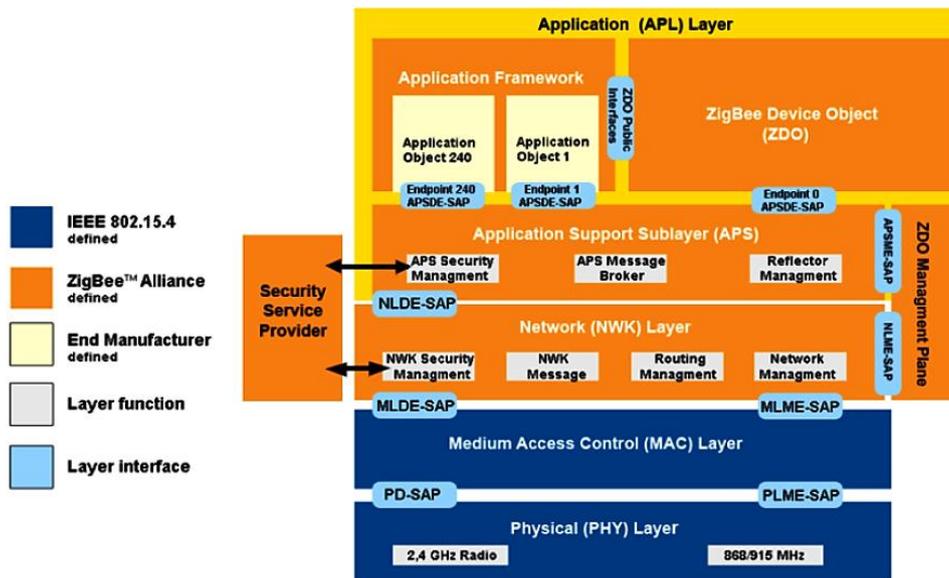


Figura 19 Arquitetura do protocolo ZigBee [11]

### 3.2 PROTOCOLO FINS

O protocolo FINS é um protocolo proprietário da OMRON, usado nas comunicações entre autómatos e periféricos da OMRON.

Vários tipos de operações de controlo podem ser usadas neste protocolo, onde é possível ler e escrever dados na memória, bem como visualizar os endereços de todas as memórias dos equipamentos ligados em rede, e mudar os modos de operação do autómato, entre outras operações de comando.

Com os comandos FINS pode-se aceder livremente a dispositivos em diferentes redes, este protocolo é composto por uma trama, esta possui um cabeçalho, um comando FINS, os dados enviados/recebidos, o FCS e o caractere terminador.

A trama de envio para uma unidade de CPU quando ligada directamente a um computador tem o formato apresentado na Figura 20, esta trama é constituída por vários campos cuja função é apresentada de seguida:

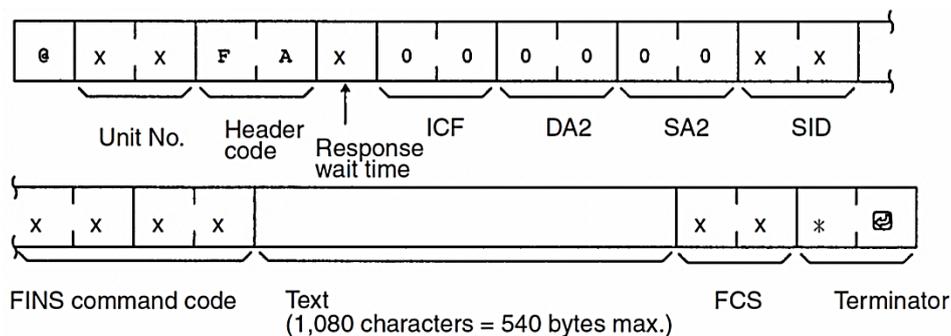


Figura 20 Trama de comando FINS [13]

- @ – Caractere que indica o início da trama de comando;
- *Unit No.* – Número de unidade do CPU de destino conectado ao computador;
- *Header Code* – Código que distingue os diferentes comandos. Define-se “FA” (ASCII: 46, 41) para comandos FINS;
- *Response wait time* – Tempo de espera do CPU desde que recebe o comando até retornar a resposta. Foi definido como 0, que corresponde a 10 ms.
- *ICF* – Especifica se existe ou não *network relays*. É definido como "80" quando se envia comandos FINS a uma unidade de CPU;
- *DA2 (Destination Unit Address)* – Endereço da unidade de destino. No modo *Host Link*, assume-se que a unidade de destino é a unidade de CPU, sendo configurado como “00” (ASCII: 30, 30);
- *SA2 (Source Unit Address)* – Endereço da unidade de partida. Configura o endereço da unidade que está fisicamente conectada ao computador. Quando está conectada à unidade de CPU, altera-se para “00”. Configurou-se como “00”;
- *SID (Source ID)* – É usado como um contador de tramas, quando for feito um reset ao sistema este deve ser zero;
- *FINS Command Code* – Constituído pelo *Command Code* e o *Text* de acordo com o comando FINS;
- *FCS (Frame Check Sequence)* – Campo calculado para controlo de erros na comunicação;
- *Terminator* – É o terminador requerido para o fim do comando. Configurar o terminador como \*CR (ASCII: 2A, 0D).

Esta é a constituição da trama para enviar comandos ao autómato. No caso do trabalho apresentado nesta tese é só necessário ler algumas posições de memória do autómato, onde estão localizados os valores das medições pretendidas.

Assim para enviar um comando FINS de leitura dessas posições de memória é necessário modificar alguns campos da trama apresentada anteriormente.

Os campos a serem modificados são o *FINS command code*, e o campo *Text* que está dependente do *Command Code* escolhido podendo ser dividido em diversos campos relevantes. Assim para configurar o comando FINS para aceder a uma posição de memória os campos apresentados na Figura 21 têm a seguinte configuração [13]:

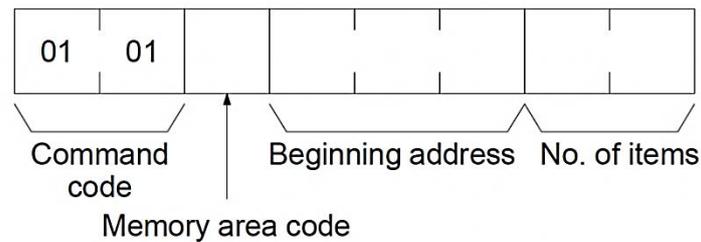


Figura 21 Trama de envio para aceder á memória do comando FINS [13]

- *Command Code* – Especifica o tipo de comando a ser enviado, de seguida serão apresentados alguns exemplos:
  - 0101 – Ler área de memória I/O do autómato;
  - 0102 – Escrever na área de memória I/O do autómato;
  - 0401 – Muda o modo de operação da unidade de CPU para RUN;
  - 0402 – Muda o modo de operação da unidade de CPU para PROGRAM;
  - Entre outros...

Para a aplicação desenvolvida neste trabalho só foi usado o comando de leitura com o código 0101.

- *Memory area code* – Especifica qual a memória a ser acedida, de seguida serão apresentados alguns exemplos:
  - B0 (hex) – Área de memória de I/O (CIO);
  - 82 (hex) – Área de memória de dados (DM);
  - 80 (hex) – Área de memória do cartão de memória *flash*;
  - 32 (hex) – Área de memória *Holding Bit Area* acedida ao bit (HR);
  - Entre outros...

Para a aplicação desenvolvida neste trabalho só foi necessário aceder á memória de dados DM com o código 82 (hex).

- *Beginning address* – Endereço de memória do primeiro elemento que se pretende aceder, no endereço é necessário dizer o bit, se não for para ler ao bit é necessário colocar “00”;
- *No. of items* – É o número de elementos a ler ou escrever da memória, desde o endereço colocado no campo anterior.

Como é apresentado na Figura 22 para finalizar a trama de comando é necessário o cálculo do FCS e o carácter terminador.

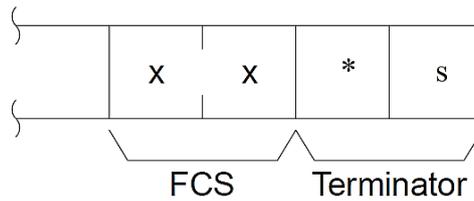


Figura 22 Campos finalizadores da trama de comando do protocolo FINS [13]

O cálculo do FCS é o resultado de uma operação lógica (ou exclusivo) realizado sequencialmente entre cada caractere numa transmissão, a partir do primeiro caractere da trama até ao último caractere do campo *Text* nessa trama, como podemos ver na Figura 23.

Example	@_10	RR	00310001	42	*	s
	Node No.	Header code	Text	FCS	Terminator	
@		0100	0000			
			EOR			
1		0011	0001			
			EOR			
0		0011	0000			
			EOR			
R		0101	0010			
			⋮			
0		0011	0000			
1		0011	0001			
<hr/>						
Result		0100	0010			
		4	2	Converted to hexadecimal and treated as ASCII		

Figura 23 Exemplo de calculo do FCS

O FCS pode ser utilizado na transmissão para confirmar que um comando ou a resposta foi bem recebida.

Para cálculo do FCS estão envolvidos todos os campos até ao campo do FCS, onde vai ser introduzido o valor do FCS calculado seguido pelo campo terminador com os caracteres '\*CR' (ASCII: 2A, 0D).

Quando a trama de comando FINS é recebida pelo autómato, este vai proceder igualmente ao cálculo do FCS que posteriormente é comparado com o valor do campo do FCS recebido na trama, e se forem iguais quer dizer que a trama foi recebida sem erros.

Se os valores de FCS não forem iguais é enviada uma trama de resposta ao PC em que neste caso, com um código de erro pedindo assim que seja enviado de novo a trama de comando anterior.

A trama de resposta do protocolo FINS tem o formato apresentado na Figura 24, esta trama é composta por campos adicionais entre eles o mais importante é o *FINS Response Code*, isto porque indica se houve erros de formato ou de configuração de campo se também o *FCS* que indica se houve erros na comunicação.

Se não houver erros de formato ou de configuração de campos o campo *Response Code* assume o valor de “0000”, que tem que ser verificado no *software* desenvolvido no computador.

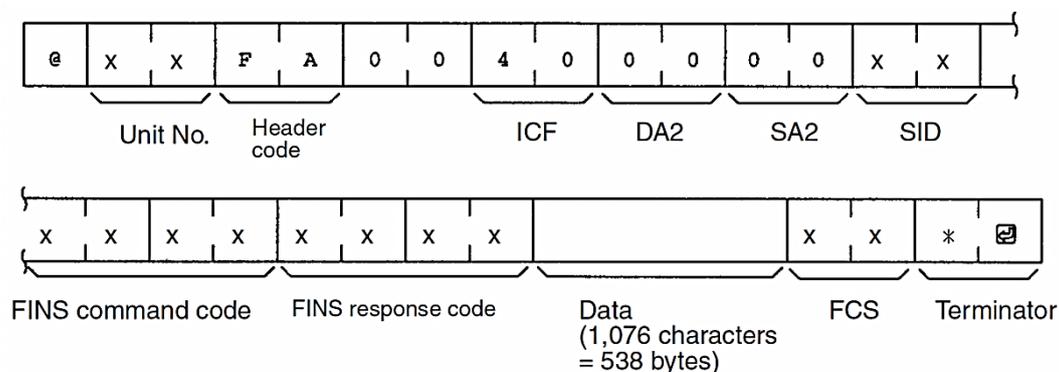


Figura 24 Trama de resposta FINS [13]

Os parâmetros que compõem a trama de resposta em grande parte são os mesmos que da trama de comando e já foram explicados anteriormente, mas existem alguns campos que são específicos ou relevantes á trama de resposta e que serão explicados de seguida:

- *FINS Command Code* – É o código que identifica a que tipo de comando é a resposta;
- *FINS Response code* – É o código que identifica e assinala a existência de algum erro de formato ou configuração de campos, no caso de não houver erros assume o valor de “0000”;
- *Data* – Campo que tem o valor dos dados transmitidos, por exemplo no caso de resposta a uma trama de comando para leitura de uma posição de memória, o campo *Data* assume o valor registado nessa posição.

Neste subcapítulo foi explicado o protocolo FINS da OMRON abordando somente uma pequena parte das tramas de comando e de resposta, essencialmente as tramas de comando e resposta para leitura de posições de memória do autómato quando ligado a um computador.

Mas o que foi explicado pode ser aplicado de uma forma simples às restantes tramas que são muito semelhantes às anteriormente descritas.

### **3.3 CONCLUSÕES**

Neste capítulo foram apresentados os protocolos de comunicação usados na aplicação desenvolvida.

Inicialmente foi apresentado e explicado os vários pontos relevantes do protocolo ZigBee, mostrando assim o porque de ser uma tecnologia de comunicação em franca expansão no mercado de comunicações sem fios.

A robustez na comunicação e versatilidade de implementação em diversos tipos de aplicações, quer seja uma rede com vários módulos ligados simultaneamente, ou numa ligação ponto a ponto que é o caso da aplicação apresentada neste trabalho.

O protocolo ZigBee tem também a vantagem de ter um baixo consumo de energia, factor importante principalmente para dispositivos que dependem de alimentação por baterias, e também o baixo custo dos equipamentos possibilitando o uso em aplicações de menor dimensão económica.

O protocolo FINS apesar de ser proprietário da OMRON o que não ajuda ao seu uso em muitas aplicações, mostrou várias vantagens como por exemplo não ser um protocolo de elevada complexidade, com uma rápida implementação não deixando de parte a robustez de comunicações e também a facilidade de resolução de erros.

## Capítulo 4

### 4 HARDWARE UTILIZADO E SUAS CONFIGURAÇÕES/PARAMETRIZAÇÕES

A implementação do sistema de monitorização para o processo de moldação rotacional passou por diversas fases de desenvolvimento até que estivesse de acordo com os requisitos impostos pelo cliente.

Como é usual no desenvolvimento de sistemas, a fase inicial constou de uma avaliação global acerca das partes mecânicas, eléctricas/electrónicas e arquitectura de *software* que iriam ser integradas.

Os equipamentos usados no trabalho apresentado nesta tese foram previamente adquiridos, alguns desses equipamentos foram escolhidos para uma primeira versão do sistema de monitorização, como o PLC e o sistema de medição de temperatura, o sistema para medição de deformações foi escolhido e adquirido pelo cliente.

De seguida será efectuada uma breve descrição sobre a parte mecânica, eléctrica e electrónica dos equipamentos envolvidos.

#### 4.1 DESCRIÇÃO DA MÁQUINA DE MOLDAÇÃO ROTACIONAL

A máquina de moldação rotacional em questão apresentada na Figura 25 é composta por cinco partes fundamentais:

- Câmara de arrefecimento
- Câmara de aquecimento
- Molde
- Painel de controlo
- Motores para rotação e translação

Este equipamento possui vários motores para efectuar diversos movimentos que fazem parte do processo de fabrico, Figura 25:

A. Motor para a rotação da mesa que suporta o molde;

- B. Motor para mover a mesa com o molde para as diferentes zonas que constituem o processo de fabrico, zona de arrefecimento, zona carga e descarga e zona de aquecimento;
- C. Motor para a translação da mesa que suporta o forno, o molde e a câmara de arrefecimento;
- D. Motor para abrir e fechar a porta do forno.

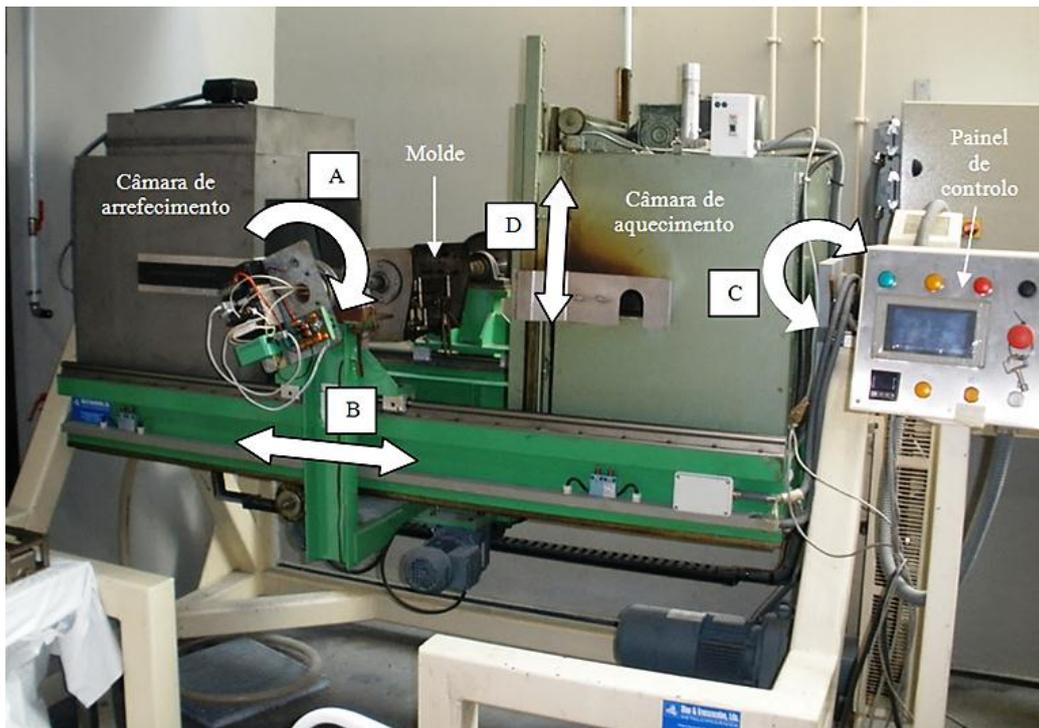


Figura 25 Máquina de Moldação Rotacional – Descrição

Uma das partes que constitui este equipamento é o molde que está fixado a uma mesa de suporte, e como podemos ver pela Figura 26 este é desenhado para ter uma fixação forte á mesa para não haver movimentos inesperados quer no interior do forno quer durante o arrefecimento.

Isto deve-se ao facto do molde estar em constante rotação durante todo o processo de fabrico, tendo então de estar bem fixo para não ocorrer problemas que causem danos na peça a produzir e principalmente para que não danifique os equipamentos como a câmara de aquecimento ou a câmara de arrefecimento.

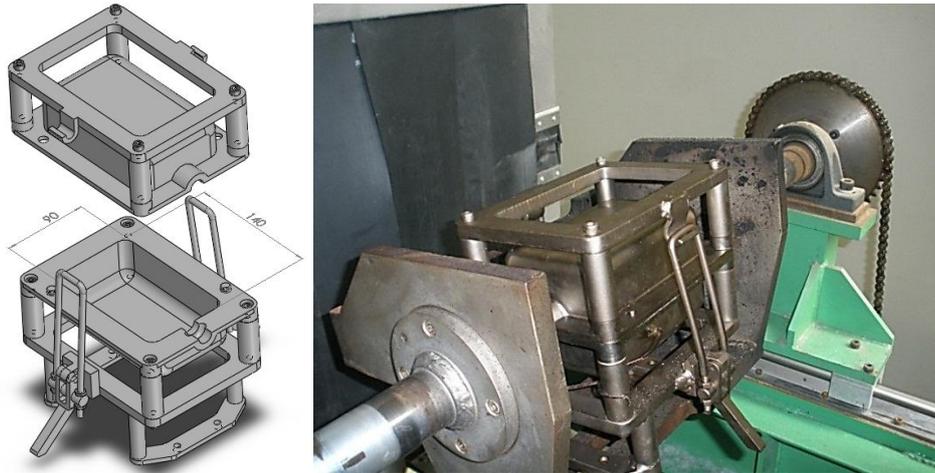


Figura 26 Máquina de Moldação Rotacional – Fixação do Molde

O molde em questão foi desenhado para produzir um recipiente com uma dimensão de 90 x 90 x 140 mm (largura x altura x profundidade) para serem realizados testes de força, densidade, espessura das paredes, e encolhimento da peça produzida, Figura 27.

Para facilitar a instalação dos sensores necessários para a medição da temperatura e deformação durante o processo de fabrico, o molde possui um orifício para serem passados fios para fazer a ligação dos sensores á unidade de medição.

O molde é constituído por duas partes uma que é fixa á mesa, Figura 26, e uma segunda parte para fechar o molde sendo unido e fixo á outra parte através de fechos de fixação rápida e de elevada resistência para uma união forte e estanque, Figura 27.

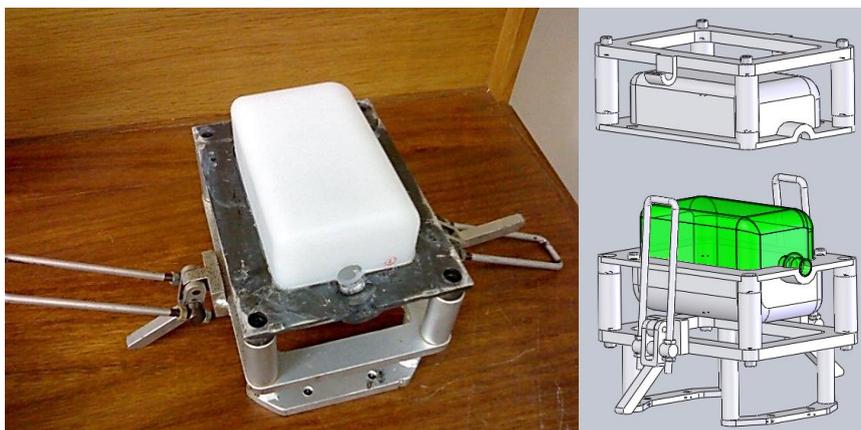


Figura 27 Máquina de Moldação Rotacional – Fecho do Molde

A câmara de aquecimento ou forno é composto por quatro resistências eléctricas que são o elemento de aquecimento, e no total perfazem 7500 W de potência, fazendo com que atinja uma temperatura máxima 400°C.

Para conter o calor no interior o forno este está equipado com uma porta que desliza para cima e para baixo por actuação de um motor eléctrico, mantendo grande parte do calor no seu interior fazendo com que a temperatura seja controlada mais eficazmente, protegendo todo o equipamento em redor do forno, mas mais importante protege os trabalhadores que operam a máquina, Figura 28.



Figura 28 Máquina de Moldação Rotacional – Forno

A câmara de arrefecimento é um equipamento simples que é basicamente uma caixa em aço com uma abertura para acomodar a entrada do braço com o molde, com tiras de lona para fechar a abertura protegendo o que está no exterior dos elementos de refrigeração, Figura 29.



Figura 29 Máquina de Moldação Rotacional – Câmara de arrefecimento

A refrigeração pode ser feita de duas formas, a primeira é a refrigeração através de pulverização de água, que é realizado através de bicos localizados na parte superior da câmara que contêm pequenos orifícios visíveis na Figura 30, e produzem o efeito de pulverização sobre o molde em rotação provocando o arrefecimento de uma forma eficaz.



Figura 30 Máquina de Moldação Rotacional – Câmara de arrefecimento (água)

A segunda forma de refrigeração é obtida por forçar ar a entrar na câmara de arrefecimento através de um ventilador, colocado na parte superior da câmara como podemos ver na Figura 31.



Figura 31 Máquina de Moldação Rotacional – Câmara de arrefecimento (ar)

A configuração dos parâmetros de controlo da máquina de moldação rotacional em questão é realizado através de um painel de controlo, Figura 32, que é composto por um ecrã táctil para configuração e actuação manual. Existem também leds de sinalização para identificar o modo de funcionamento ou sinalizar problemas que possam ocorrer.

A paragem de emergência é pode ser feita através de um botão de fácil acesso. Para definir e controlar a temperatura no forno é utilizado um controlador digital de temperatura E5CN da OMRON.

O OMRON E5CN permite o controlo ON/OFF de temperatura, com leitura da temperatura do forno por termopares com um período de amostras de 250ms. [14]



Figura 32 Máquina de Moldação Rotacional – Painel de controlo

O ecrã táctil que constitui o painel de controlo permite a configuração de diversos parâmetros, como o tempo que o molde está no interior do forno, o tempo de refrigeração tanto para a água ou a ar, e ainda definir o número de rpm de rotação do molde ou da mesa que suporta o forno.

Permite também parametrizar os diferentes modos de operação, modo manual ou automático. Na Figura 33 estão apresentados os diversos menus para parametrização como também de informação.

Este dispositivo mostra também informações relevantes como um histórico de erros que possam ocorrer e também informações sobre tempos de ciclos, e contadores de ciclos.



Figura 33 Máquina de Moldação Rotacional – Painel de controlo (opções)

## 4.2 VISÃO GERAL SOBRE O SISTEMA

O sistema desenvolvido é composto por vários equipamentos que permitem cumprir os objectivos pedidos. Este sistema está dividido em várias partes:

- Registo e monitorização;
- Comunicação;
- Medição.

Na Figura 35 é apresentado uma visão geral do sistema desenvolvido mostrando todas as partes integrantes. Para registo e monitorização temos um computador com *software* desenvolvido em LabVIEW que permite o registo das leituras num ficheiro Excel, e também a visualização em tempo real dos dados recebidos da unidade de medição.

A unidade de medição é composta por um PLC da OMRON da série CJ1M-CPU11 para a aquisição das grandezas físicas medidas, pelo equipamento de medição de temperatura CJ1W-TC001 e pelo equipamento para a medição de deformações CJ1W-F159, através de sensores colados no molde, Figura 34.

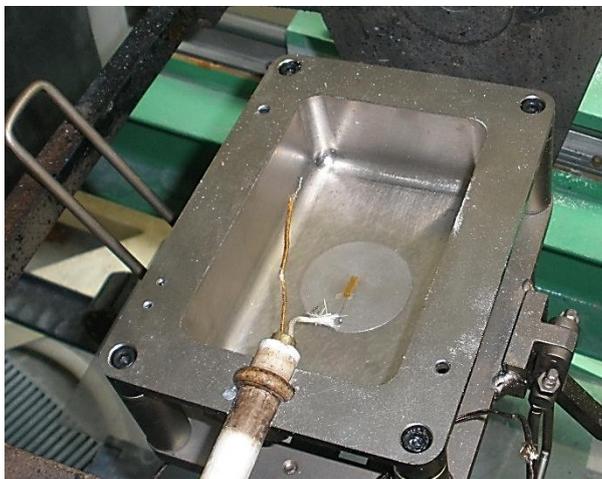


Figura 34 Sensores colocados no molde – Termopar e Extensômetro

A comunicação entre a unidade de registo e monitorização com a unidade de aquisição é feita por cabos em conjunto com dispositivos de comunicação sem fios.

Os módulos XBee são usados para a comunicação sem fios que implementam uma nova tecnologia protocolar o ZigBee.

Este protocolo é caracterizado por consumir menos energia em comparação com outras tecnologias de comunicação sem fios, e também por ser um modo de comunicação robusto prevenindo erros de comunicação.

Na ligação entre os módulos XBee e as unidades de registo e de medição é usada a comunicação série (rs232).

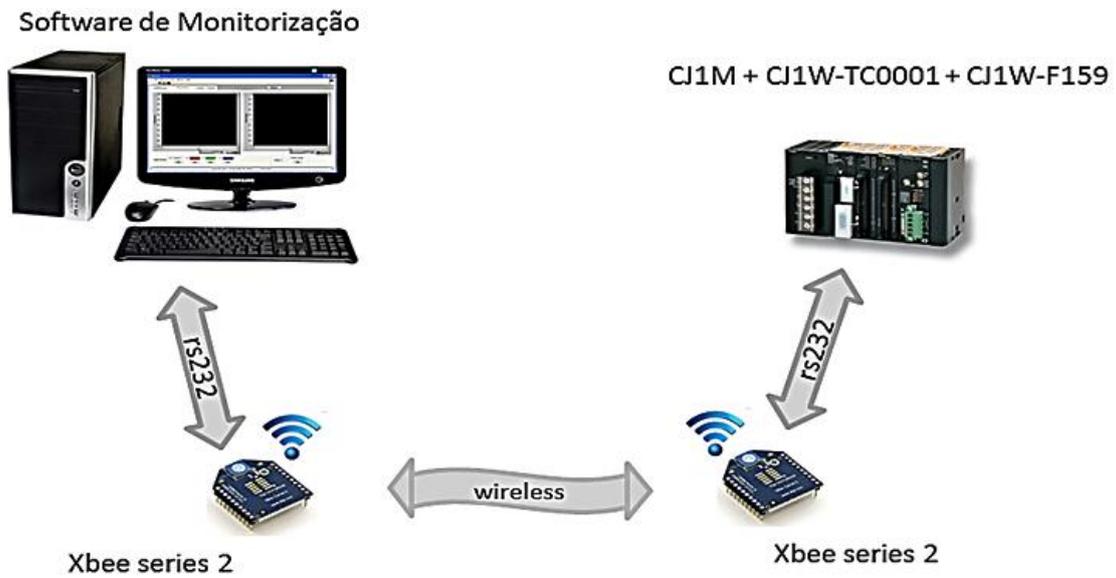


Figura 35 Visão geral do sistema desenvolvido

## 4.3 AUTÓMATO OMRON CJ1M-CPU11

O CJ1M-CPU11 é um PLC da série CJ1 desenvolvido pela OMRON, Figura 36, é caracterizado por ser um autómato modular, tendo a vantagem de se poder acrescentar diversos tipos de dispositivos para desempenhar diferentes tarefas que sejam exigidas.

Assim com esta característica existe a possibilidade de poder ser acoplado diferentes fontes de alimentação para diferentes tensões de alimentação, ajudando o desenvolvimento de aplicações para vários ambientes de operação.



Figura 36 Autómato OMRON CJ1M-CPU11 [15]

O autómato em questão pode ser acoplado a um número máximo de 10 unidades de expansão, ou seja pode usar uma vasta gama de diferentes equipamentos ao mesmo tempo.

Em termos de memória esta está dividida em memória para programas e memória para dados, com uma capacidade de 5k e 32k respectivamente, e para guardar mais dados este PLC tem memória extra através de um slot para cartão de memória (*compact flash*). [15]

Para comunicação e programação o CJ1M-CPU11 tem incorporado uma porta periférica e uma porta rs232.

A programação é feita em ladder usando o CX-Programmer que é um *software* disponibilizado pela própria OMRON, que permite fazer *debug* e toda a configuração quer do PLC quer das unidades de expansão como também aceder a todas zonas de memória em tempo real.

## 4.4 SISTEMA DE MEDIÇÃO CJ1W-F159

O sistema CJ1W-F159 é um equipamento desenvolvido pela UNIPULSE uma empresa sediada no Japão que desenvolve instrumentos de medição de peso e força, possuindo uma gama de produtos que podem ser integrados com sistemas de produção ou controlo para satisfazer as exigências do mercado.

A Figura 37 mostra o equipamento de medição CJ1W-F159 desenvolvido por esta empresa, este sistema permite ligar até quatro células de carga de 350Ω em paralelo ao PLC da série SYSMAC CJ1 da OMRON.



Figura 37 Sistema de medição da UNIPULSE (CJ1W-F159) [16]

O CJ1W-F159 foi desenvolvido com o objectivo de fornecer uma ligação directa ao PLC da OMRON SYSMAC CJ1, para reduzir drasticamente o custo de configuração de sistemas e tempo de programação, proporcionando funções de controlo de produção em uma grande variedade de aplicações no processo de pesagem, melhorando a gestão de manutenção, modificações e monitorização.

O sistema CJ1W-F159 faz medições de pesagem a uma taxa de 500 vezes por segundo, esta velocidade de processamento de dados permite medições internas adicionais, com menores flutuações do peso, e com uma resolução maior. [17]

Algumas das funções já programadas neste sistema são, a subtracção da Tara, funções de controlo de zero, poderosos filtros analógicos, filtros digitais seleccionáveis que são utilizados para eliminar as vibrações mecânicas e alcançar uma maior precisão de pesagem.

Isto faz com que a necessidade de processamento de dados no PLC seja reduzida melhorando a sua performance. Este sistema tem como vantagens o baixo custo de desenvolvimento, ser um sistema de interface rápida, alta velocidade e elevada precisão.

## 4.4.1 DESCRIÇÃO FÍSICA DO HARDWARE

Na Figura 38 é apresentado o painel frontal do CJ1W-F159 que é composto por um conjunto de características importantes para a instalação, configuração, e identificação de erros que possam ocorrer. Estas características serão descritas mais á frente.

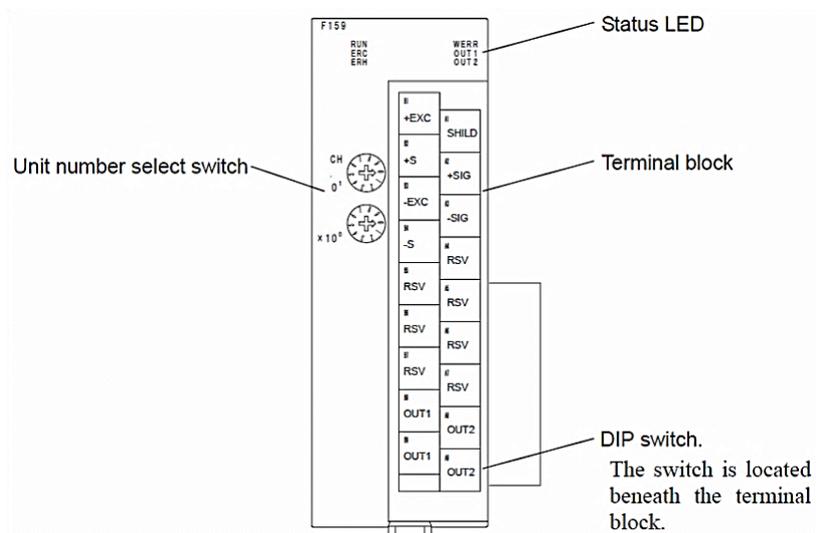


Figura 38 UNIPULSE CJ1W-F159 – Painel Frontal [17]

Na parte superior do painel frontal está localizado um conjunto de LEDs que mostram de uma forma prática o estado actual da unidade. Na Tabela 6 é apresentado a descrição de cada um dos leds presentes no painel frontal.

Tabela 6 UNIPULSE CJ1W-F159 – Painel Frontal (LEDs) [17]

LED	Nome	Estado	Descrição
<b>RUN</b> (verde)	Operation status	ON	Operação normal
		OFF	Troca de dados com o CPU foi abortada
<b>ERC</b> (vermelho)	Error detected by the unit	ON	Ocorreu um erro na F159
		OFF	Operação normal
<b>ERH</b> (vermelho)	CPU error	ON	Erro na comunicação de dados com o CPU
		OFF	Operação normal
<b>WERR</b> (vermelho)	Weight error	ON	Ocorreu um dos alarmes: ± LOAD, OFL1, OFL2, OFL3, ZALM
		OFF	Operação normal
<b>OUT1</b> (laranja)	OUT1 output	ON	OUT1 = ON
		OFF	OUT1 = OFF
<b>OUT2</b> (laranja)	OUT2 output	ON	OUT2 = ON
		OFF	OUT2 = OFF

Na parte central do painel frontal está localizado um conjunto de *switch* para seleccionar o número de unidade que tem que ser único entre as unidades de expansão ligadas ao autómato, Figura 39.

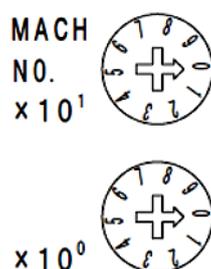


Figura 39 UNIPULSE CJ1W-F159 – Painel Frontal (Unit Number Select Switch) [17]

Esta funcionalidade tem uma enorme importância porque cada unidade de expansão aloca um conjunto de posições de memória no PLC, e o que define quais posições de memória alocadas é o número de unidade. Ou seja, se os números de unidade forem iguais nas várias cartas de expansão, estas vão usar as mesmas posições de memória ocorrendo erro no PLC.

Na Tabela 7 são apresentados as diferentes configurações de números de unidade com as respectivas posições de memória. Para o trabalho desenvolvido a carta CJ1W-F159 foi configurada para operar com o número de unidade realçado a vermelho na tabela com o respectivo conjunto de posições de memória.

Tabela 7 UNIPULSE CJ1W-F159 – Painel Frontal (Unit Number Select Switch) [17]

Swth No.	Unit No.	Channel number allocated to the I/O unit relay area	DM number allocated to the I/O unit DM area
0	0	2000 - 2009CH	D20000 - 20099
1	1	2010 - 2019CH	D20100 - 20199
2	2	2020 - 2029CH	D20200 - 20299
3	3	2030 - 2039CH	D20300 - 20399
4	4	2040 - 2049CH	D20400 - 20499
5	5	2050 - 2059CH	D20500 - 20599
6	6	2060 - 2069CH	D20600 - 20699
7	7	2070 - 2079CH	D20700 - 20799
8	8	2080 - 2089CH	D20800 - 20899
9	9	2090 - 2099CH	D20900 - 20999
10	10	2100 - 2109CH	D21000 - 21099
...	...	...	...
n	n	$2000 + n \times 10 - 2000 + n \times 10 + 9\text{CH}$	$D20000 + n \times 100 - D20000 + n \times 100 + 99$
...	...	...	...
95	95	2950 - 2959CH	D29500 - 29599

Por fim para a ligação física á célula de carga a carta CJ1W-F159 está equipada com um terminal removível facilitando a ligação dos fios, visível na Figura 40.

Com o terminal retirado tem-se o acesso a um conjunto de *switch* ('DIP switch') para algumas configurações de segurança.

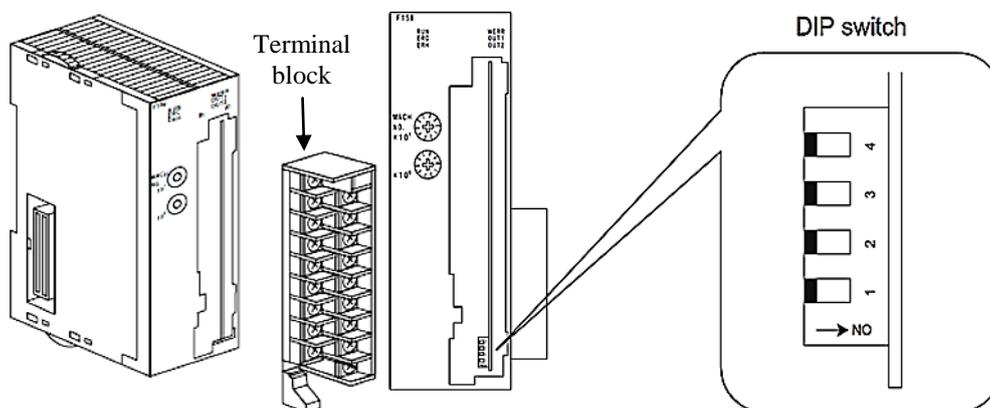


Figura 40 UNIPULSE CJ1W-F159 – Painel Frontal (Terminal block) [17]

O 'DIP switch' é usado para colocar a carta com as configurações de fábrica, habilitar ou desabilitar a calibração para que não se faça uma calibração errada por engano.

Na Tabela 8 é apresentado o que cada *switch* faz no estado on e off, os *switch* 3 e 4 não estão definidos tendo de estar sempre colocados a off.

Tabela 8 UNIPULSE CJ1W-F159 – Painel Frontal (DIP switch) [17]

Switch No.	Estado	
	ON	OFF
1	Calibration LOCK ON	Calibration LOCK OFF
2	Default set ON	Default set OFF
3	Undefined	Undefined
4	Undefined	Undefined

#### 4.4.2 INSTALAÇÃO

A instalação da CJ1W-F159 inicia-se com a ligação da carta a uma célula de carga, que no caso do trabalho apresentado nesta tese em vez de se ligar a uma célula de carga a intenção era ligar á carta um extensômetro para medir a deformação de uma superfície.

Uma célula de carga é constituída por um conjunto de extensômetros ligados em ponte de wheatstone, como apresentado na Figura 41, esta possui quatro braços e cada braço tem uma resistência (um extensômetro neste caso)  $R_1$  a  $R_4$  e com os nós 2 e 3

ligados a uma fonte de alimentação conhecida ( $V_E$ ) aparecendo outra diferença de potencial nos nós 1 e 4 ( $V_A$ )

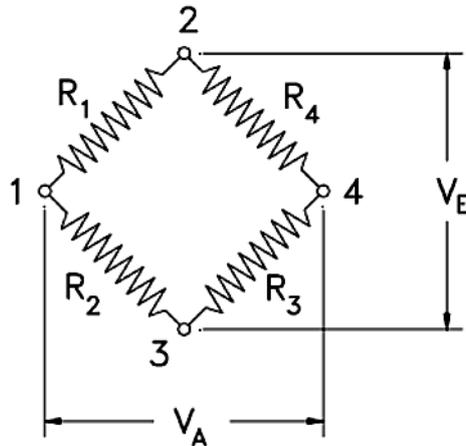


Figura 41 Ponte de Wheatstone [18]

O valor de  $V_A$  depende dos quocientes entre resistências  $R_1/R_2$  e  $R_4/R_3$ , temos então a equação:

$$\frac{V_A}{V_E} = \frac{R_1}{R_1+R_2} - \frac{R_4}{R_3+R_4} = \frac{R_1R_3 - R_2R_4}{(R_1+R_2)(R_3+R_4)} \quad \text{Equação 1}$$

Existem diversos tipos de configurações de ponte, entre os quais temos a ligação em ponte completa ou equilibrada, ligação em  $\frac{1}{4}$  de ponte ou ligação em  $\frac{1}{2}$  ponte, em que a primeira tem melhor resultado, por possuir maior sensibilidade.

Quando  $\frac{V_A}{V_E} = 0$  a ponte de wheatstone está equilibrada e para isso é necessário que as resistências sejam iguais ( $R_1=R_2=R_3=R_4$ , ou seja,  $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3}$ ). Assim para fazer uma ponte de wheatstone equilibrada com extensômetros estes têm que ser exactamente iguais, ou seja, têm de ter a mesma resistência e a mesma tolerância.

No trabalho apresentado foi usado um extensômetro de  $120\Omega \pm 0.3$ , isto quer dizer com uma tolerância de 0,25%, então para completar a ligação em ponte completa usaram-se 3 resistências de precisão com exactamente os mesmos valores de resistência e tolerância. Para acomodar a ponte de wheatstone foi desenvolvido uma placa PCB apresentada na Figura 42.

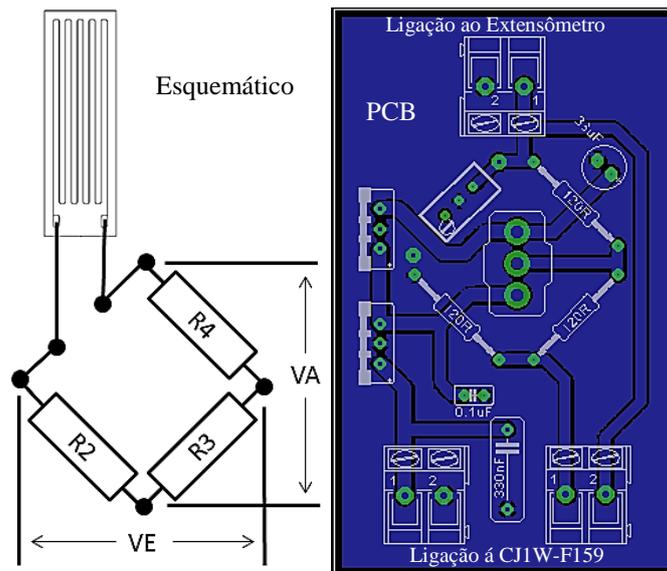


Figura 42 Ponte de Wheatstone (ligação com um extensômetro)

A ligação da carta á ponte de Wheatstone foi feita pelo *Terminal Block* com uma disposição dos terminais de ligação apresentada na Figura 43. No *Terminal Block* existem terminais reservados que não são usados, como também duas saídas que podem ser configuradas para sinalizar que as leituras estão no limite mínimo, ou limite máximo, ou inferior a um valor.

+EXC	B1	A1	SHIELD
+S	B2	A2	+SIG
-EXC	B3	A3	-SIG
-S	B4	A4	RSV
RSV	B5	A5	RSV
RSV	B6	A6	RSV
RSV	B7	A7	RSV
OUT1	B8	A8	OUT2
OUT1	B9	A9	OUT2

Figura 43 UNIPULSE CJ1W-F159 – Terminal block [17]

Na Figura 44 é apresentada a ligação física com a correspondência dos terminais da ponte de wheatstone com o terminal block. Como podemos ver na figura existem dois shunts entre B1 a B2 e entre B3 a B4, isto porque se está a usar uma ligação de 4 fios

para prevenir sobretensões que pode resultar em sobreaquecimento e danos da ponte de wheatstone (ou célula de carga). [17]

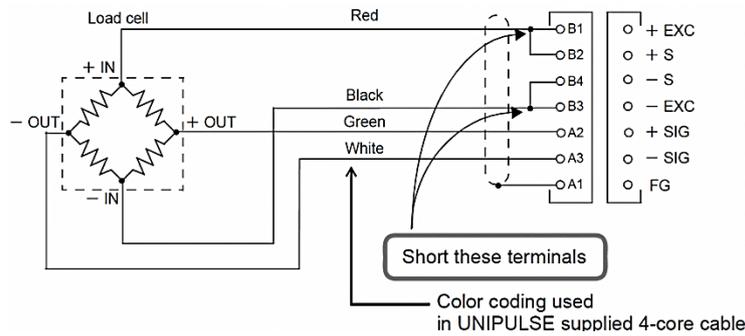


Figura 44 UNIPULSE CJ1W-F159 – Ponte de wheatstone (ligação) [17]

### 4.4.3 CONFIGURAÇÃO

A configuração é realizada no CX-Programmer o *software* para parametrização e programação de toda a gama de autómatos desenvolvidos pela OMRON. A configuração da carta CJ1W-F159 é gravada na zona de memória reservada consoante o número de unidade escolhido que posteriormente irá ser descrito.

O primeiro passo para a configuração da carta CJ1W-F159 é efectuar a ligação do PLC com a carta de expansão, criar no CX-Programmer um novo projecto, e para instalar a carta esta tem de ser adicionada á ‘IO Table and Unit Setup’, Figura 45A.

No CX-Programmer é necessário adicionar um ficheiro CPS que contém as informações da carta CJ1W-F159, porque esta carta de expansão como não é desenvolvida pela OMRON não tem as informações disponíveis no *software* de programação, Figura 45B, o *download* deste ficheiro pode ser feito no site da UNIPULSE.

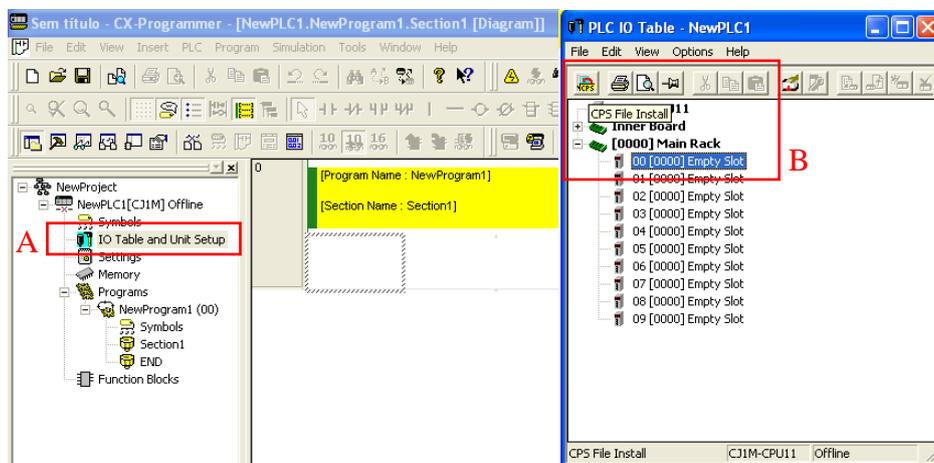


Figura 45 UNIPULSE CJ1W-F159 – Início da Configuração

O segundo passo é instalar a carta numa *slot* vazia, escolhendo de seguida a carta da lista de unidades apresentada (Figura 46).

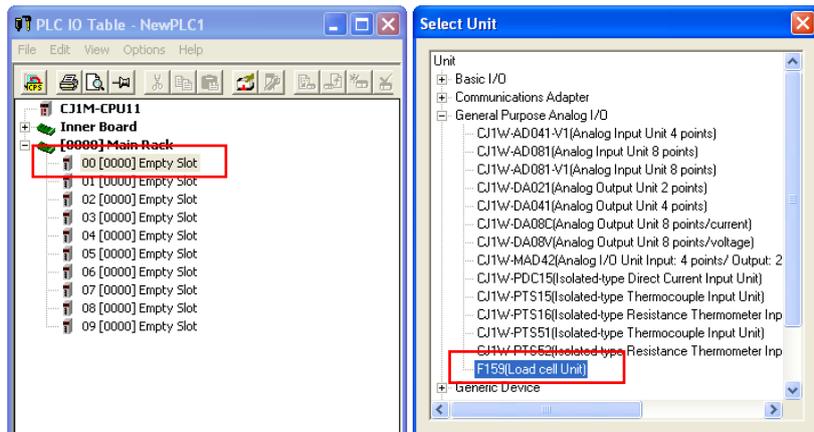


Figura 46 UNIPULSE CJ1W-F159 – Instalação

Para finalizar a configuração é só necessário abrir a janela de edição de parâmetros para configurara carta CJ1W-F159 (Figura 47).

A nível de configuração esta carta tem a vantagem de todos os parâmetros poderem ser configurados a partir de uma janela, com o nome dos mesmos e com uma breve descrição do que cada um faz.

Comparativamente a outros equipamentos onde a tarefa de configuração tem que ser feita a partir da janela da memória, que não tem qualquer referência a que parâmetros pertencem a cada posição de memória.

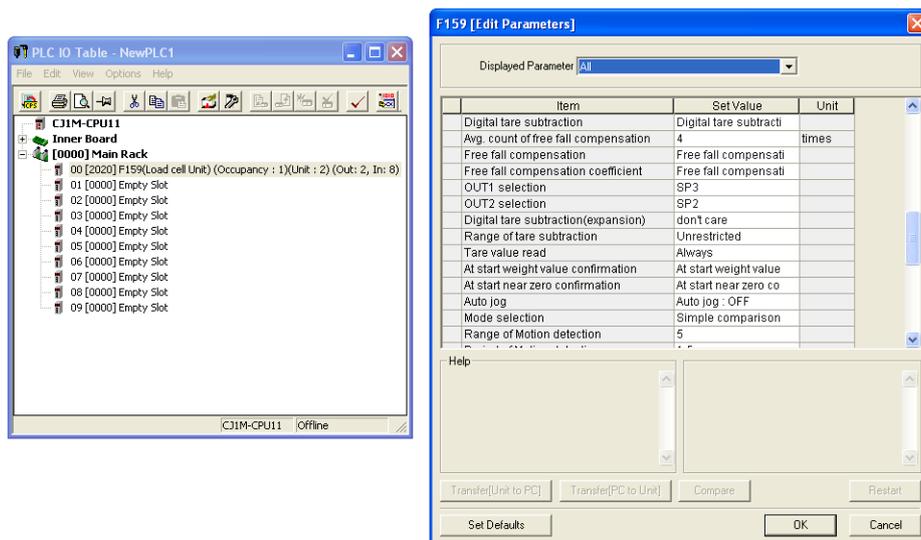


Figura 47 UNIPULSE CJ1W-F159 – Configuração

A carta CJ1W-F159 usa determinadas zonas de memória do autômato (unidade de CPU) que são determinadas pelo número de unidade, onde os dados referentes às medições e estado das medições são guardados na memória de alta performance de I/O (CIO), e os dados de configuração inicial e configuração de medição estão guardados na memória de dados de alta performance (DM) (Figura 48).

O início das zonas de memória configuradas para esta carta de expansão são dadas pelas expressões:

$$n = CIO2000 + n^{\circ}Unidade \times 10 \quad \text{Equação 2}$$

$$m = D20000 + n^{\circ}Unidade \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

A carta foi configurada com o número de unidade 2, assim as zonas de memória começam em CIO2020 (n) e D20200 (m).

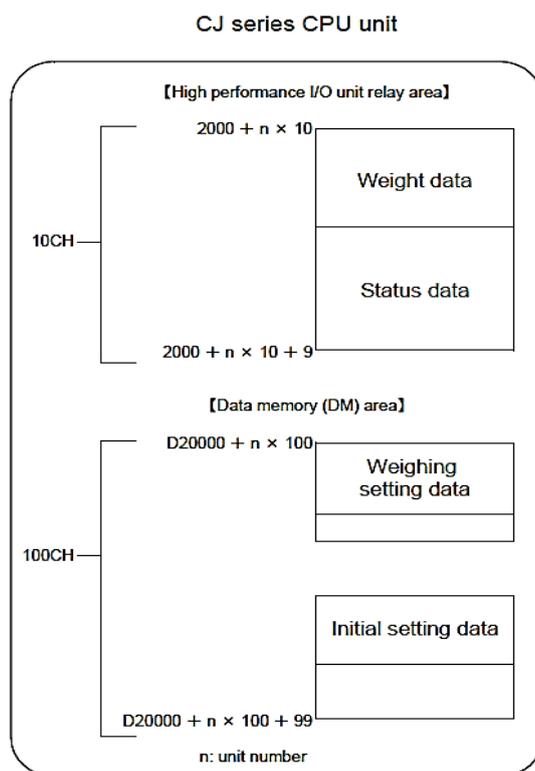


Figura 48 UNIPULSE CJ1W-F159 – Alocação de memória [17]

Existem vários parâmetros que podem ser alterados, como ‘Balance weight value’, ‘Capacity’, ‘Gravitational acceleration’, entre outros parâmetros.

Na Tabela 9 é mostrado o conjunto de parâmetros que podem se alterados para a configuração da CJ1W-F159 como também as posições de memória onde estão guardadas essas configurações.

Tabela 9 UNIPULSE CJ1W-F159 – Parâmetros configuráveis [17]

<b>Posição de memória</b>	<b>Parâmetros de controlo</b>	<b>Gama de valores</b>
m	Upper limit	00000 – 99999
m + 1		
m + 2	Lower limit	00000 – 99999
m + 3		
m + 4	Near zero	00000 – 99999
m + 5		
m + 6	Set point 1	00000 – 99999
m + 7		
m + 8	Set point 2	00000 - 99999
m + 9		
m + 10	Free fall compensation	0000 - 9999
m + 11	Over	000 - 999
m + 12	Under	000 - 999
m + 13	Final	00000 - 99999
m + 14		
m + 15	Preset tare value	00000 - 99999
m + 16		
<b>Posição de memória</b>	<b>Parâmetros de configuração inicial</b>	<b>Gama de valores</b>
m + 20	Comparison inhibit time	0.00 - 9.99
m + 21	Compare time	0.00 - 9.99
m + 22	Complete output time	0.00 - 9.99
m + 23	Auto jog timer	0.00 - 9.99
m + 24	Auto zero times/Judging times	
m + 25	FF CPS. regulation	00000 - 99999
m + 26		
m + 27	Weighing function 1	
m + 28	Weighing function 2	
m + 29	Weighing function 3	
m + 30	Output selection	
m + 31	Restriction on the tare subtraction	
m + 32	Sequence mode	
m + 33	Motion detection	
m + 34	Zero tracking (Period)	0.0 - 9.9
m + 35	Zero tracking (Range)	0000 - 9999
m + 36	Filter	
m + 37	Stable mode	
m + 38	Function selection	
m + 39	Balance weight value	00000 - 99999
m + 40		
m + 41	Capacity	00000 - 99999
m + 42		
m + 43	Minimum scale division	000 - 100
m + 44	Net Over	00000 - 99999
m + 45		
m + 46	Gross Over	00000 - 99999
m + 47		
m + 48	DZ regulation value	00000 - 99999
m + 49		
m + 50	Gravitational acceleration (Area number input)	00 - 16
m + 51	Gravitational acceleration (Acceleration input)	9.700 - 9.999
...	...	...
m + 99	Undefined	Undefined

Os parâmetros alterados para desenvolver o trabalho apresentado foram o ‘Balance weight value’, ‘Capacity’, ‘Decimal place’, e o ‘Minimum scale division’, para fazer a calibração do equipamento de medição.

É de salientar que este equipamento utilizado na aplicação apresentada nesta tese não desempenha exactamente a função para que foi inicialmente desenvolvido, porque este dispositivo foi desenvolvido para fazer leituras de células de carga para medição de peso não para medição de deformações, mas devido á tecnologia que efectua as leituras ter como base os mesmos princípios torna-se possível o uso na aplicação apresentada.

Assim é importante explicar que a calibração efectuada é só para atribuir um valor de leitura do equipamento a uma deformação, somente para termos valores de deformações com uma boa resolução, e então posteriormente fazer uma atribuição de valores a deformações conhecidas através de testes físicos.

Para finalizar a configuração da carta CJ1W-F159 tem-se que proceder á calibração do equipamento, que está dividido em duas etapas ‘Zero Calibration’ para configurar a posição de leitura zero e o ‘Span Calibration’ para calibrar a posição de leitura com valor igual ao ‘Balance weight value’.

O processo de calibração inicia-se desabilitando dois elementos de segurança o ‘Soft LOCK’ e o ‘Hard LOCK’, para não haver calibrações por engano. O ‘Soft LOCK’ está desabilitado quando o 13 bit do registo n ( $n = \text{CIO2000} + \text{unit number} \times 10$ ) da memória está a ‘0’, o ‘Hard LOCK’ está desabilitado quando o ‘DIP switch 1’ está a ‘off’, Figura 49.

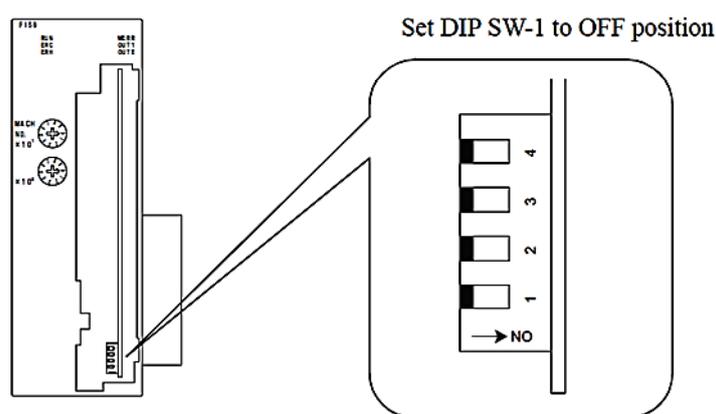


Figura 49 UNIPULSE CJ1W-F159 – DIP switch [17]

De seguida procede-se á configuração dos parâmetros ‘Balance weight value’, ‘Capacity’, e o ‘Decimal place’ necessários ao processo de calibração.

- ‘Balance weight value’

Especifica o valor de peso para o passo de calibração ‘Span Calibration’. (Gama de valores: 0-99999)

m+39	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>0</sup>	Balance weight value
m+40				10 <sup>4</sup>	

Figura 50 UNIPULSE CJ1W-F159 – Parâmetro ‘Balance weight value’ [17]

- ‘Capacity’

Especifica o peso máximo permitido que pode ser medido pelo sistema de aquisição. (Gama de valores: 0-99999)

m+41	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>0</sup>	Capacity
m+42				10 <sup>4</sup>	

Figura 51 UNIPULSE CJ1W-F159 – Parâmetro ‘Capacity’ [17]

- ‘Decimal place’

Especifica o formato numérico para apresentar os valores de leitura, e configuração dos parâmetros. O formato pode ser seleccionado de 0, 0.0, 0.00, 0.000.

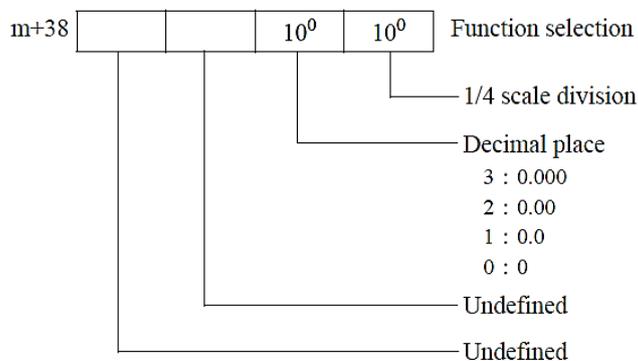


Figura 52 UNIPULSE CJ1W-F159 – Parâmetro ‘Decimal place’ [17]

A próxima etapa do processo de calibração é efectuar o ‘Zero Calibration’, que é para definir o valor de leitura inicial correcto e está dividido em vários passos que serão descritos de seguida.

1. Verificar que o dispositivo de medição está livre de qualquer carga ou deformação;

2. Verificar que o bit de leitura estável (10º bit da posição de memória n+5) está a '1', porque o processo de calibração deve ser efectuado com a leitura estável;
3. Alterar o 'Zero calibration bit' (0º bit da posição de memória n+1) de '0' para '1';
4. O processo de 'Zero calibration' inicia quando é detectado que o 'Zero calibration bit' passa de '0'→'1';
5. Quando o processo de calibração está a decorrer é sinalizado pelo 'progress bit' (4º bit da posição de memória n+6) fica a '1'. Enquanto este bit está a '1' não é aconselhável tocar no dispositivo de medição;
6. O processo de calibração está finalizado quando os valores de leitura mostram "00000" (posição de memória n+2);
7. Alterar o 'Zero calibration bit' (0º bit da posição de memória n+1) de '1' para '0'.

A última etapa para a calibração é proceder ao 'Span Calibration', aplicando uma carga de teste conhecida no dispositivo de medição para ajustar a leitura ao valor desejado, e que também está dividido em vários passos que serão descritos de seguida.

1. Colocar no dispositivo de medida uma carga com um valor exactamente igual ao definido no parâmetro 'Balance weight value';
2. Verificar que o dispositivo de medição está livre de qualquer carga ou deformação;
3. Verificar que o bit de leitura estável (10º bit da posição de memória n+5) está a '1', porque o processo de calibração deve ser efectuado com a leitura estável;
4. Alterar o 'Span calibration bit' (1º bit da posição de memória n+1) de '0' para '1';
5. O processo de 'Span calibration' inicia quando é detectado que o 'Span calibration bit' passa de '0'→'1';
6. Quando o processo de calibração está a decorrer é sinalizado pelo 'progress bit' (5º bit da posição de memória n+6) fica a '1'. Enquanto este bit está a '1' não é aconselhável tocar no dispositivo de medição;

7. O processo de calibração está finalizado quando os valores de leitura mostram o valor desejado ('Balance weight value');
8. Alterar o 'Zero calibration bit' (1º bit da posição de memória n+1) de '1' para '0'.

## 4.5 SISTEMA DE MEDIÇÃO CJ1W-TC001

A OMRON fabrica o módulo de I/O para a ligação de termopares Figura 53, para ligação ao PLC da série CJ1 da OMRON. Este módulo fornece quatro circuitos de comando, cada um é compatível com termopares do tipo R, S, K, J, T, B ou L.

Por cada circuito de comando existem dois alarmes internos podendo ser gravados na memória alocada na unidade de CPU, cada um dos alarmes (alarme de limite superior e inferior, alarme de limite superior e inferior com sequencia de *standby*, e alarme de valor absoluto de limite superior e inferior).



Figura 53 Sistema de medição da OMRON (CJ1W-TC001) [19]

O CJ1W-TC0001 tem funções de controlo implementadas sendo o controlo on/off e o controlo PID para os quatro circuitos de controlo, e também tem implementada a função de *Auto Tunning* para calcular automaticamente os parâmetros do PID, com saídas NPN. [20]

O tempo de amostragem é de 500ms não havendo qualquer restrição quanto ao tempo de ciclo para a unidade de CPU. Os dados podem ser mostrados e gravados quer em BCD quer em hexadecimal.

O CJ1W-TC0001 tem como vantagens a facilidade de desenvolvimento de aplicações reduzindo o tempo e o custo, por se desenvolvido especificamente para um

tipo de autómato da OMRON, e por ter as funções de controlo por PID e on/off já implementadas.

### 4.5.1 DESCRIÇÃO FÍSICA DO HARDWARE

Na Figura 54 é apresentado o painel frontal do CJ1W-TC001 que é composto por um conjunto de características importantes para a instalação, configuração, e identificação de erros que possam ocorrer.

Estas características serão descritas mais á frente, mas é de salientar que a descrição e configuração deste equipamento são muito semelhantes ao equipamento anterior.

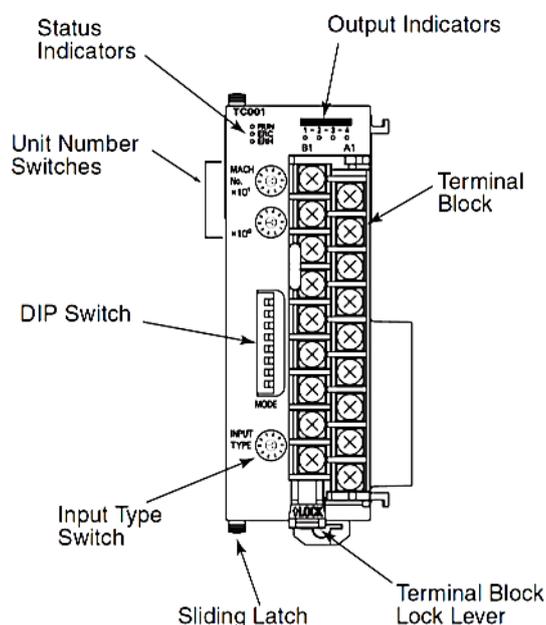


Figura 54 OMRON CJ1W-TC001 – Painel Frontal [20]

Na parte superior do painel frontal está localizado um conjunto de LEDs que mostram de uma forma prática o estado actual da unidade. Na Tabela 10 é apresentado a descrição de cada um dos leds presentes no painel frontal.

Tabela 10 OMRON CJ1W-TC001 – Painel Frontal (LEDs)

LED	Nome	Estado	Descrição
<b>RUN</b> (verde)	Run Indicator	ON	Operação normal
		OFF	Controlo de temperatura parado
<b>ERC</b> (vermelho)	Temperature Control unit error	ON	Ocorreu um erro na CJ1W-TC001
		OFF	Operação normal
<b>ERH</b> (vermelho)	CPU Unit error	ON	Erro na Unidade de CPU
		OFF	Operação normal
<b>OUT1,2,3,4</b> (laranja)	Output Indicator	ON	OUT□ = ON
		OFF	OUT□ = OFF

Na parte central do painel frontal está localizado um conjunto de *switch* para seleccionar o número de unidade que tem que ser único entre as unidades de expansão ligadas ao autómato, Figura 55.

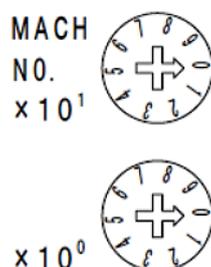


Figura 55 OMRON CJ1W-TC001 – Painel Frontal (Unit Number Select Switch) [20]

Isto tem uma enorme importância porque cada unidade de expansão aloca um conjunto de posições de memória no PLC, e o que define o início do conjunto de posições é o número de unidade, por isso se os números de unidade forem iguais a diferentes cartas de expansão vão usar as mesmas posições de memória ocorrendo erro no PLC.

Na Tabela 11 são apresentadas as diferentes configurações de números de unidade com as respectivas posições de memória. Para o trabalho desenvolvido a carta CJ1W-TC001 foi configurada para operar com o número de unidade realçado a vermelho na tabela com o respectivo conjunto de posições de memória.

Tabela 11 OMRON CJ1W-TC001 – Painel Frontal (Unit Number Select Switch) [20]

Switch setting.	Unit number.	Words allocated in Special I/O Unit Area in CIO Area	Words allocated in Special I/O Unit Area in DM Area
<b>0</b>	<b>0</b>	CIO 2000 – CIO 2019	D20000 - D20099
<b>1</b>	<b>1</b>	CIO 2010 - CIO 2029	D20100 - D20199
<b>2</b>	<b>2</b>	CIO 2020 - CIO 2039	D20200 - D20299
<b>3</b>	<b>3</b>	CIO 2030 - CIO 2049	D20300 - D20399
<b>4</b>	<b>4</b>	CIO 2040 - CIO 2059	D20400 - D20499
<b>5</b>	<b>5</b>	CIO 2050 - CIO 2069	D20500 - D20599
<b>6</b>	<b>6</b>	CIO 2060 - CIO 2079	D20600 - D20699
<b>7</b>	<b>7</b>	CIO 2070 - CIO 2089	D20700 - D20799
<b>8</b>	<b>8</b>	CIO 2080 - CIO 2099	D20800 - D20899
<b>9</b>	<b>9</b>	CIO 2090 - CIO 2109	D20900 - D20999
...	...	...	...
<b>n</b>	<b>n</b>	CIO 2000 + (n × 10) to CIO 2000 + (n × 10) + 19	D20000 + (n × 100) to D20000 + (n × 100) + 99
...	...	...	...
<b>94</b>	<b>94</b>	CIO 2950 - CIO 2959	D29500 - D29499

Na parte inferior do painel frontal está localizado um *switch* para seleccionar o tipo de termopares que podem ser ligados ao equipamento de aquisição e para configurar a gama de temperaturas em que vai operar (Figura 56).

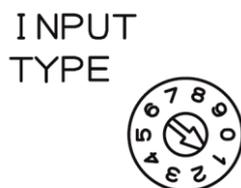


Figura 56 OMRON CJ1W-TC001 – Painel Frontal (Input Type Select Switch) [20]

Na Tabela 12 são apresentados os diferentes tipos de termopares que podem ser ligados á carta CJ1W-TC001 com o correspondente número de selecção para introduzir no *switch*. Cada número de secção corresponde a um tipo de termopar que opera numa determinada gama de temperaturas.

No caso da aplicação apresentada nesta tese a temperatura de operação máxima é de 400°C assim foi utilizado um termopar do tipo K com temperaturas de operação de 0 a 500°C, como podemos ver realçado a vermelho na tabela.

Tabela 12 OMRON CJ1W-TC001 – Painel Frontal (Input Type Select Switch) [20]

Sensor	Input type setting	Type	Temperature ranges	
			Centigrade	Farenheit
Thermocouple	0	K	-200 to 1,300°C	-300 to 2,300°F
	1	K	0.0 to 500.0°C	0.0 to 900.0°F
	2	J	-100 to 850°C	-100 to 1,500°F
	3	J	0.0 to 400.0°C	0.0 to 750.0°F
	4	T	-200 to 400°C	-300.0 to 700.0°F
	5	L	-100 to 850°C	-100 to 1,500°F
	6	L	0.0 to 400.0°C	0.0 to 750.0°F
	7	R	0 to 1,700°C	0 to 3,000°F
	8	S	0 to 1,700°C	0 to 3,000°F
	9	B	100 to 1,800°C	300 to 3,200°F

Entre o *switch* de selecção do número de unidade e o *switch* de selecção do tipo de termopar está localizado o ‘DIP Switch’ para configurações iniciais, e configurações de operação, Figura 57.

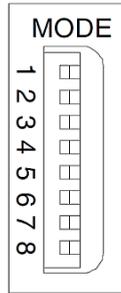


Figura 57 OMRON CJ1W-TC001 – Painel Frontal (DIP Switch) [20]

Cada um destes *switchs* tem uma função específica, como podemos ver na Tabela 13. Para a aplicação desenvolvida a configuração vinda de fábrica adequa-se á situação de operação pretendida.

Tabela 13 OMRON CJ1W-TC001 – Painel Frontal (DIP switch) [20]

Switch No.	Estado		Function	Factory setting
	ON	OFF		
1	Continue	Stop	Operação quando a unidade de CPU está em 'PROGRAM mode'	OFF
2	°F	°C	Unidades de temperatura	
3	16-bit binary	4 digit BCD	Formato dos dados	
4	Forward (cooling)	Reverse (heating)	Operação de controlo (loops 1 e 3)	
5	Forward (cooling)	Reverse (heating)	Operação de controlo (loops 2 e 4)	
6	ON\OFF	PID control	Método de controlo	
7	Initialize	Do not initialize	Inicializa as configurações na EEPROM	
8	Transfer	Do not transfer	Transfere as configurações na EEPROM	ON

## 4.5.2 INSTALAÇÃO

A ligação da carta CJ1W-TC001 aos termopares é feita pelo *Terminal Block* com uma disposição dos terminais de ligação apresentada na Figura 58.

O equipamento em questão tem a possibilidade de se poder ligar até quatro termopares, ou seja, esta carta de expansão tem 4 'Loops' de controlo de temperatura com as respectivas saídas de actuação.

Input 2 -	B1	A1	Input 1 -
Input 2 +	B2	A2	Input 1 +
Cold-junction comp.	B3	A3	N.C.
Cold-junction comp.	B4	A4	N.C.
Input 4 -	B5	A5	Input 3 -
Input 4 +	B6	A6	Input 3 +
Output 2	B7	A7	Output 1
Output 4	B8	A8	Output 3
0 V COM (-)	B9	A9	24V

Figura 58 OMRON CJ1W-TC001 – Terminal block [20]

Na Figura 59 é apresentada uma representação da ligação física dos termopares ao ‘Terminal Block’.

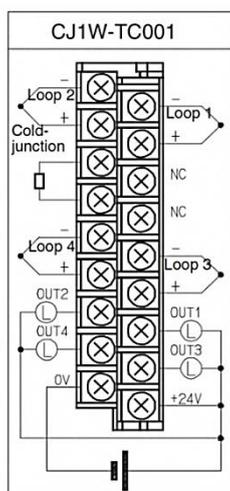


Figura 59 OMRON CJ1W-TC001 – Termopares (Ligação) [20]

Uma característica importante é um dispositivo ligado aos terminais B3 e B4 do ‘Terminal Block’ que é um compensador por junção fria, que funciona como uma junção de referência.

Isto porque como o terminal de referência está á temperatura ambiente de  $T1^{\circ}\text{C}$  e não a zero graus centígrados, e sem compensação a saída dos termopares será reduzida em  $T1^{\circ}\text{C}$ . Isso é compensado pela adição de uma diferença de potencial ao amplificador interno correspondente a  $T1^{\circ}\text{C}$ . [21]

### 4.5.3 CONFIGURAÇÃO

O processo de configuração da carta CJ1W-TC001 da OMRON é muito semelhante ao da carta CJ1W-TC001 da UNIPULSE descrita anteriormente, sendo também realizada no CX-Programmer que é o *software* para parametrização e programação de toda a gama de autómatos desenvolvidos pela OMRON.

A configuração da carta CJ1W-TC001 é gravada na zona de memória reservada consoante o número de unidade escolhido.

O primeiro passo para a configuração da carta CJ1W-F159 é efectuar a ligação do PLC com a carta de expansão, criar no CX-Programmer um novo projecto e adicionara carta de expansão á ‘IO Table and Unit Setup’, Figura 60.

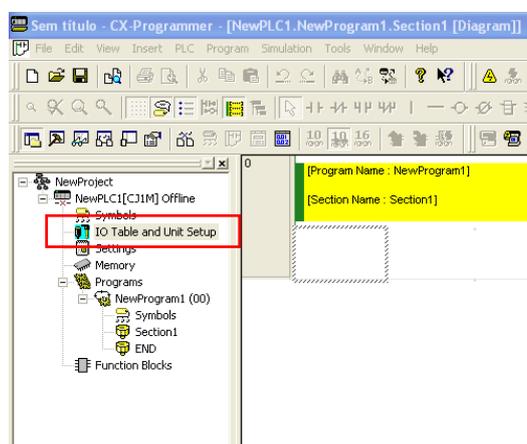


Figura 60 OMRON CJ1W-TC001 – Início da Configuração

O segundo passo é instalar a carta numa *slot* disponível, escolhendo de seguida a carta de expansão da lista de unidades apresentada, Figura 61.

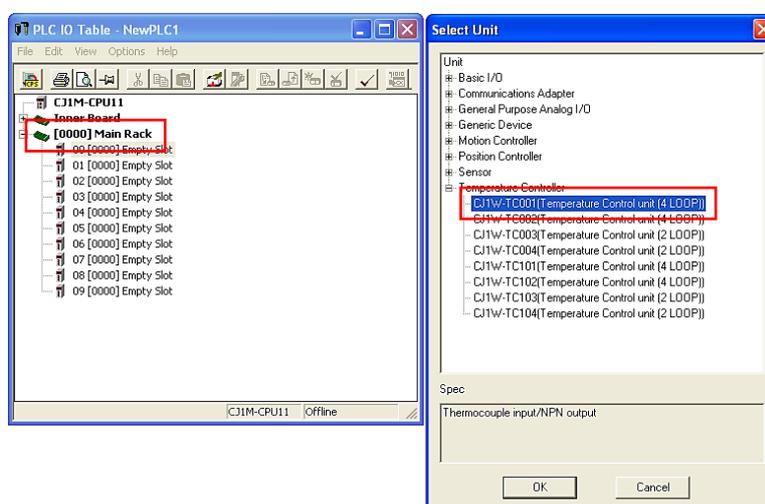


Figura 61 OMRON CJ1W-TC001 – Instalação

Para finalizar a instalação da carta no PLC tem que se inserir o número de unidade configurado na carta de expansão, para o autômato identificar que dispositivo está instalado e em que 'Empty slot', Figura 62.

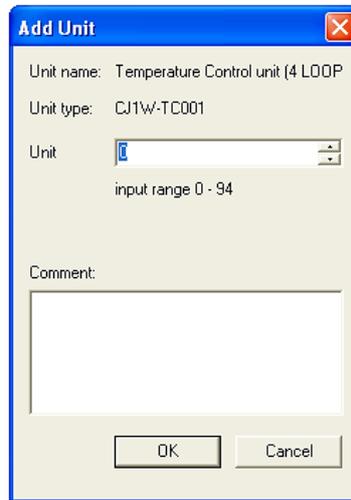


Figura 62 OMRON CJ1W-TC001 – Número de unidade

A configuração dos dados de inicialização e dos parâmetros de operação é realizada na janela de acesso á memória do PLC, Figura 63, esta configuração é feita introduzindo os valores dos parâmetros desejados nas posições de memória destinadas a cada parâmetro por configuração do número de unidade.

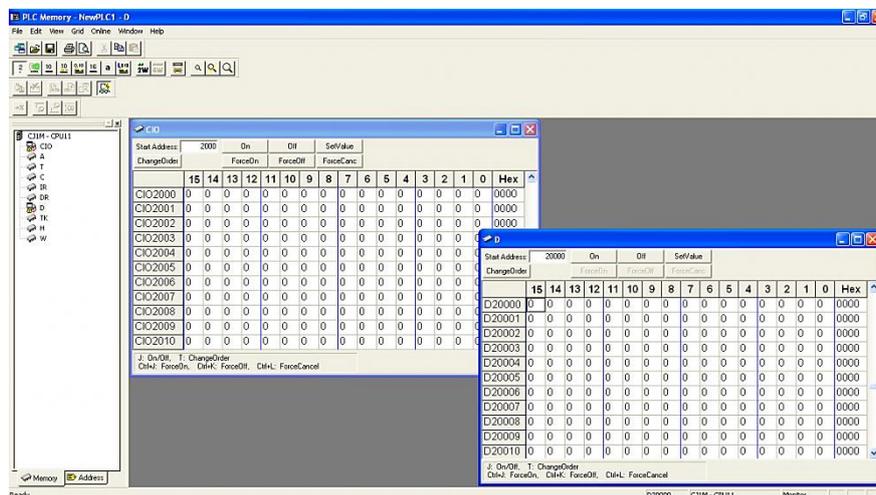


Figura 63 OMRON CJ1W-TC001 – Configuração dos Parâmetros

A carta CJ1W-TC001 usa determinadas zonas de memória do autômato (unidade de CPU) que são determinadas pelo número de unidade, onde os dados referentes às medições, parâmetros de inicialização e parâmetros de operação são guardados.

As memórias destinadas a guardar os dados são a área de memória de alta performance de I/O (CIO), e a memória de dados de alta performance (DM), Figura 64.

Ou seja, a zona de memória de I/O (CIO) está reservada para dados relativos à medição de temperaturas como os valores das medições, *set points*, *start* e *stop bits*, entre outros.

A zona de memória de dados (DM) está reservada essencialmente para parâmetros de configuração como histerese do alarme, controlo de ciclos, parâmetros de configuração de PID, entre outros.

O início das zonas de memória configuradas para esta carta de expansão são dadas pelas expressões:

$$n = CIO2000 + n^{\circ}Unidade \times 10 \quad \text{Equação 4}$$

$$m = D20000 + n^{\circ}Unidade \times 100 \quad \text{Equação 5}$$

A carta foi configurada com o número de unidade 0, assim as zonas de memória começam com a posição de memória CIO2000 (n) e D20000 (m).

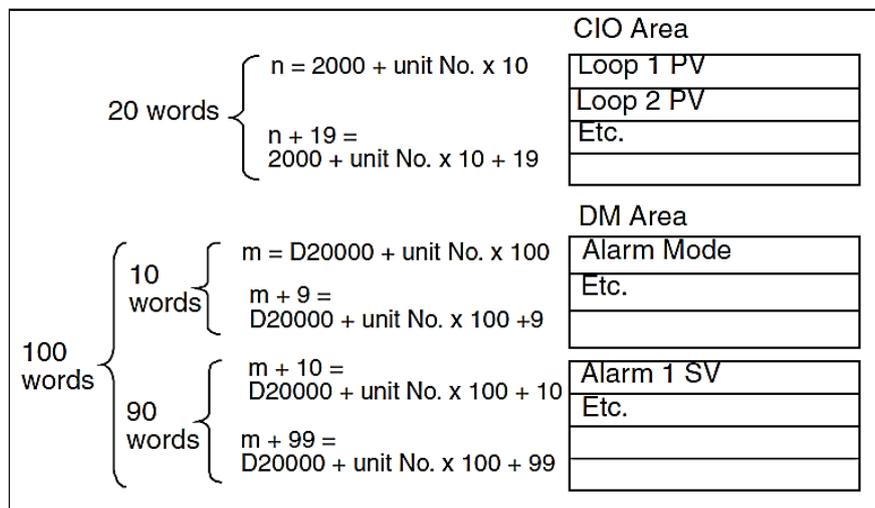


Figura 64 OMRON CJ1W-TC001 – Alocação de memória [20]

Existem vários parâmetros configuráveis da carta CJ1W-TC001, mas para a aplicação apresentada neste trabalho era somente pedido para medir a temperatura de vários termopares, não envolvendo qualquer acção de controlo.

Assim não houve a necessidade de configurar nenhum dos parâmetros apresentados de seguida, tendo sido utilizada a configuração por defeito.

Para explorar totalmente a potencialidade deste equipamento na Tabela 14 é apresentado os parâmetros que podem se alterados para a configuração da CJ1W-F159 como também as posições de memória onde estão guardadas essas configurações.

Tabela 14 OMRON CJ1W-TC001 – Parâmetros configuráveis [20]

Posição de memória	Parâmetros		Gama de valores		
m	Loops 1 e 2:	Alarm Mode	00000 – 99999		
m + 1	Loops 3 e 4:				
m + 2	Loops 1	Alarm hysteresis	0000 - 9999		
m + 3					
m + 4	Loops 2				
m + 5					
m + 6	Loops 3				
m + 7					
m + 8	Loops 4				
m + 9					
m + 10	Loop 1			Alarm 1 SV	F000 - 9999
m + 11				Alarm 2 SV	
m + 12		Input Compensation Value			
m + 13		Control Period	0001 - 0099		
m + 14		Control Sensitivity	0000 - 9999		
m + 15		Proportional Band	0001 - 9999		
m + 16		Integral Time	0000 – 9999		
m + 17		Derivative Time			
m + 20	Loop 2	Alarm 1 SV	F000 - 9999		
m + 21		Alarm 2 SV			
m + 22		Input Compensation Value			
m + 23		Control Period	0001 - 0099		
m + 24		Control Sensitivity	0000 - 9999		
m + 25		Proportional Band	0001 - 0099		
m + 26		Integral Time	0000 – 9999		
m + 27		Derivative Time			
m + 50	Loop 3	Alarm 1 SV	F000 - 9999		
m + 51		Alarm 2 SV			
m + 52		Input Compensation Value			
m + 53		Control Period	0001 - 0099		
m + 54		Control Sensitivity	0000 - 9999		
m + 55		Proportional Band	0001 - 0099		
m + 56		Integral Time	0000 – 9999		
m + 57		Derivative Time			
m + 60	Loop 4	Alarm 1 SV	F000 - 9999		
m + 61		Alarm 2 SV			
m + 62		Input Compensation Value			
m + 63		Control Period	0001 - 0099		
m + 64		Control Sensitivity	0000 - 9999		
m + 65		Proportional Band	0001 - 0099		
m + 66		Integral Time	0000 – 9999		
m + 67		Derivative Time			

## 4.6 COMUNICAÇÃO SEM FIOS XBEE

Os módulos XBee são desenvolvidos pela empresa Digi International, que é um membro da ZigBee Alliance, estes vêm de fábrica configurados por defeito podendo ser usados sem qualquer configuração. No entanto em caso de necessidade podem ser configurados através de comandos AT. Para efectuar essa tarefa existe um conjunto de comandos que permite ajustar o módulo de comunicação às necessidades do projecto a ser desenvolvido.

A Digi disponibiliza dois tipos de módulos: XBee e XBee-Pro, Figura 65, ambos são compactos e optimizados para aplicações de baixo custo e baixa taxa de transferência de dados.

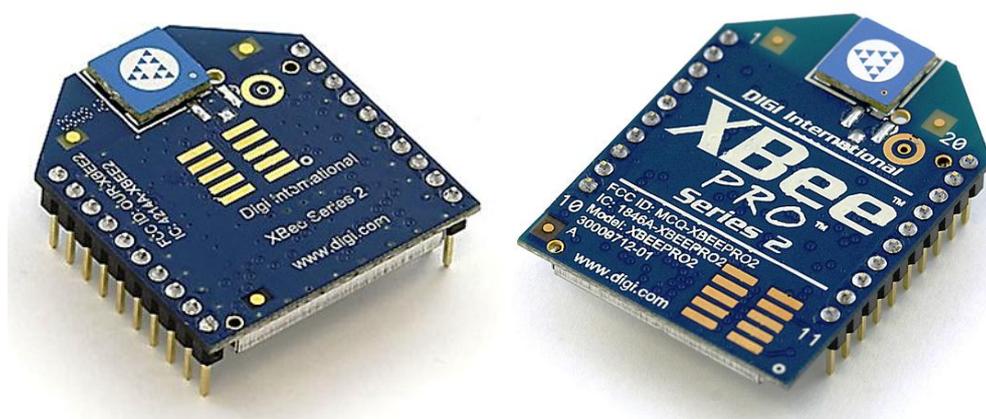


Figura 65 Digi XBee/XBee Pro [22]

Os módulos XBee devido á tecnologia de comunicação implementada apresentam uma grande fiabilidade na transmissão dos dados, sendo um factor muito importante no desenvolvimento de aplicações, principalmente aplicações industriais.

Isto porque num meio industrial existe uma maior probabilidade de interferências, e o uso de comunicação sem fios tem de ter a garantia de uma grande robustez de comunicação.

Os consumos de energia dos módulos de comunicação são baixos, podendo assim ser alimentado por baterias tendo um maior tempo de vida.

A grande diferença entre os módulos XBee e XBee-Pro é que o XBee-Pro tem um maior alcance no interior de edifícios e em área aberta, Tabela 15, constituindo uma vantagem para algumas aplicações.

Na Tabela 15 é apresentada várias características quer do módulo XBee ou do XBee-Pro, entre essas características é de salientar a importância de características como o alcance, e o consumo de corrente eléctrica nos diversos modos de comunicação.

Tabela 15 XBee / XBee PRO ZNET 2.5 – Especificações [23]

Specficacion	XBee	XBee PRO
<b>Performance</b>		
Indoor/Urban Range	Up to 133 ft. (40 m)	Up to 300 ft. (100m)
Outdoor RF line-of-sight Range	Up to 400 ft. (120 m)	Up to 1 mile. (1.6 km)
Transmit Power Output	3mW (+3dBm), boost mode enabled 1.25mW (+1dBm), boost mode disabled	63mw (+18 dBm) 10mW (+10 dBm) for international variant
RF Data Rate	250Kbps	250Kbps
<b>Power Requirements</b>		
Supply Voltage	2.1- 3.6 V	3.0- 3.4 V
Operating Current (transmit, max output power)	40mA (@ 3.3 V, boost mode enabled) 35mA (@ 3.3V, boost mode disabled)	295mA (@ 3.3 V)
Operating Current (Receive)	40mA (@ 3.3 V, boost mode enabled) 38mA (@ 3.3V, boost mode disabled)	45 mA (@3.3 V)
Idle Current (Receiver off)	15 mA	15 mA
Power-down Current	< 1uA @ 25°C	< 1uA @ 25°C
<b>Features</b>		
Data Interface	Serial	Serial
Antenna type	Chip	Chip

A grande vantagem do XBee é ser um módulo de dimensões reduzidas, Figura 66, com um bom alcance, uma grande facilidade de configuração, e por ter uma ligação rs232 podendo ser ligado a uma grande variedade de equipamentos (como microprocessadores, PLC's, PC's, entre outros). Permitindo assim o desenvolvimento de uma grande variedade de aplicações a um custo reduzido.

#### 4.6.1 DESCRIÇÃO FÍSICA DO HARDWARE

O XBee e o XBee-Pro têm algumas diferenças entre si, onde a mais visível a nível físico é a dimensão do equipamento, como pode se visto na Figura 66, em que o módulo XBee-Pro tem uma maior dimensão comparativamente ao XBee comum.

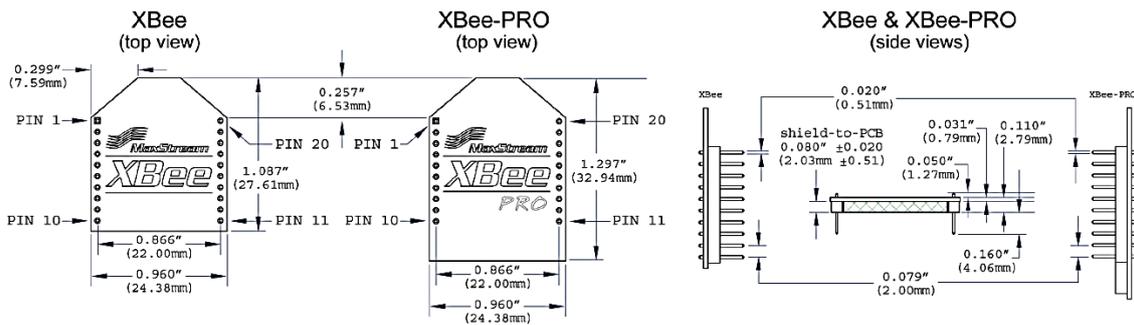


Figura 66 XBee / XBee Pro – Dimensões [23]

Outra característica importante entre os dois módulos apresentados é o facto de terem os pinos compatíveis, ou seja, quer o número de pinos quer a função desempenhada por cada um é igual para os dois módulos, Tabela 16.

Portanto esta característica constitui uma grande vantagem, porque se houver a necessidade mudar um módulo XBee comum por um XBee-Pro ou vice-versa é possível sem necessidade de mudar o *hardware* de interface.

Tabela 16 XBee / XBee Pro – Pinos [23]

Pin	Name	Direction	Description
1	VCC	-	Power supply
2	DOUT	Output	UART Data Out
3	DIN / CONFIG	Input	UART Data In
4	DO8	Output	Digital Output 8
5	RESET	Input	Module Reset (reset pulse must be at least 200 ns)
6	PWM0 / RSSI	Output	PWM Output 0 / RX Signal Strength Indicator
7	PWM1	Output	PWM Output 1
8	[reserved]	-	Do not connect
9	DTR / SLEEP_RQ / DI8	Input	Pin Sleep Control Line or Digital Input 8
10	GND	-	Ground
11	AD4 / DIO4	Either	Analog Input 4 or Digital I/O 4
12	CTS / DIO7	Either	Clear-to-Send Flow Control or Digital I/O 7
13	ON / SLEEP	Output	Module Status Indicator
14	VREF	Input	Voltage Reference for A/D Inputs
15	Associate / AD5 / DIO5	Either	Associated Indicator, Analog Input 5 or Digital I/O 5
16	RTS / AD6 / DIO6	Either	Request-to-Send Flow Control, Analog Input 6 or Digital I/O 6
17	AD3 / DIO3	Either	Analog Input 3 or Digital I/O 3
18	AD2 / DIO2	Either	Analog Input 2 or Digital I/O 2
19	AD1 / DIO1	Either	Analog Input 1 or Digital I/O 1
20	AD0 / DIO0	Either	Analog Input 0 or Digital I/O 0

A nível físico existe também uma característica que se destaca, entre elas o tipo de antena ou ligação para antena que equipa os módulos, na Figura 67 vemos as várias opções disponíveis.

- ‘Chip antenna’ (antena integrada), Figura 67A;
- ‘Wire antenna’ (antena integrada), Figura 67B;
- ‘U.FL connector’ (conector para antena), Figura 67C;
- ‘RPSMA connector’ (conector para antena), Figura 67D;

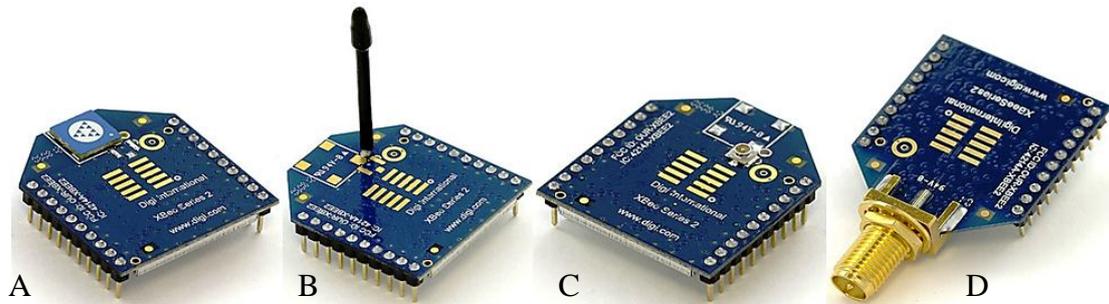


Figura 67 XBee / XBee Pro – Antenas [22]

Existem vários factores para escolher o tipo de antena, como o local onde vai operar, o alcance, ou o tipo de montagem desejada.

Para a aplicação desenvolvida no trabalho apresentado optou-se por usar um módulo com antena integrada, devido á distancia entre o transmissor e o receptor ser reduzida não havendo qualquer obstrução entre os dois.

## 4.6.2 INSTALAÇÃO

Na instalação do módulo XBee foi usada uma placa de interface desenhada pela própria Digi, Figura 68.

Foi escolhida esta placa porque já tem várias funcionalidades instaladas, como fonte para regulação de tensão, LEDs indicadores de força de sinal, LEDs que indicam a recepção e transição de dados por comunicação série, e pela ligação a outros dispositivos ser feita de uma forma simples e *standard*, por rs232 (DB9).

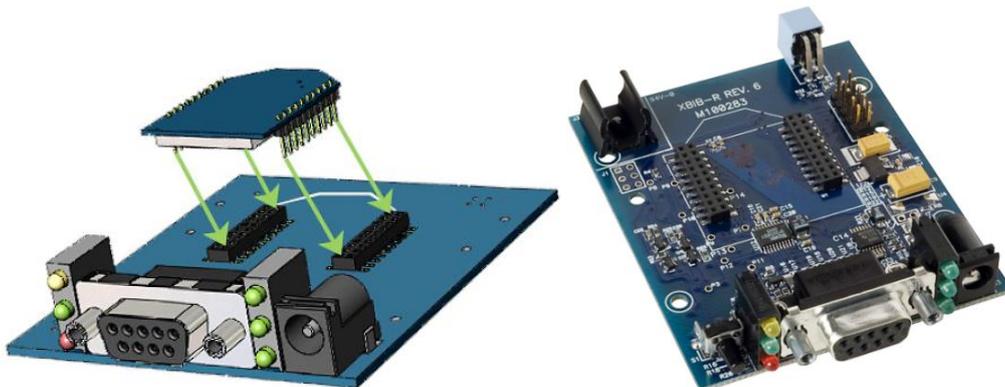


Figura 68 XBee/XBee-Pro – rs232 Interface Board [23]



Na aplicação apresentada nesta tese era só necessária a comunicação entre dois pontos, ou seja, só é requerido a utilização de dois módulos XBee configurados de forma a trabalhar como uma extensão de um cabo de comunicação série.

Para uma configuração ponto a ponto o módulo que está ligado ao computador é configurado como nó coordenador ('Coordinator') e o que está ligado ao autómato é configurado como nó 'End Device'.

Uma parte essencial deste tipo de configuração é que os dois módulos têm de ter o mesmo 'PAN ID' como está indicado pela seta na Figura 70, e o endereço de destino ('Destination address') do coordenador tem que corresponder ao número de série do 'End Device' e vice-versa, como está realçado a vermelho e azul na Figura 70.

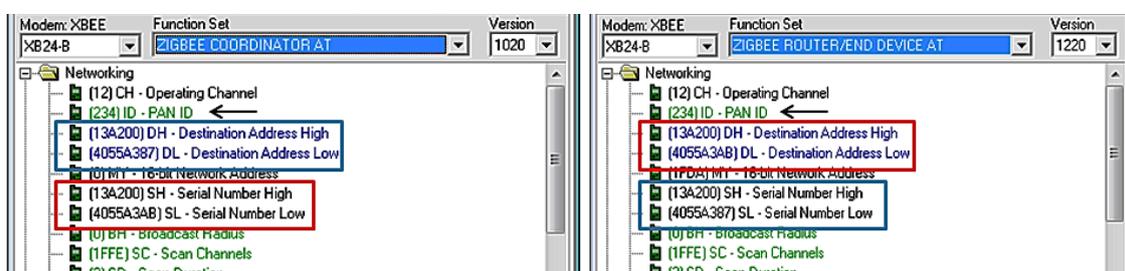


Figura 70 XBee – X-CTU Configuração

Os módulos de comunicação XBee podem ser configurados com dois modos de funcionamento distintos, o funcionamento em modo transparente e o funcionamento em modo API, que serão explicados de seguida.

No modo transparente e API os dados são transmitidos e recebidos pelo padrão de comunicação série rs232.

- **Modo transparente**

No modo transparente os módulos funcionam como um cabo de comunicação série sem fios.

O canal de comunicação é aberto entre o transmissor e o receptor antes de realizar uma transmissão de dados, depois do canal aberto os dados podem ser enviados e recebidos.

Os dados recebidos no pino DIN são colocados na fila para serem transmitidos via rádio frequência, no caso da recepção de dados estes são recebidos pelo canal de rádio frequência, sendo transmitidos pelo pino DOUT.

- **Modo API**

No modo API as frames que são transmitidas têm que ser construídas com os dados a ser transmitidos e o endereço de destino. Os dados recebidos também vêm em frames com um campo que indica o nível da potência do sinal recebido e pode ser extraído o endereço fonte do dado recebido.

Sempre que é enviada uma frame é recebida uma mensagem contendo a informação de chegada ao destino pretendido e caso não tenha sucedido informa qual o motivo.

No modo API os pacotes têm de ser encapsulados em frames API, segundo uma estrutura definida como é mostrada na Figura 71, no qual podem ser enviados até 100 bytes empacotados na frame.



MSB = Most Significant Byte, LSB = Least Significant Byte

Figura 71 Estrutura da Frame no modo API [23]

**A frame API de dados possui os seguintes campos:**

- Inicialização – O início de uma frame API é identificada pelo byte 0x7E;
- Tamanho da frame de dados – Este campo é composto por dois bytes que informam o número de bytes de dados;
- Frame de dados – A frame de dados é variável, dependendo do tipo de informação que será enviada;
- Checksum – Este campo serve para verificar a integridade da frame.

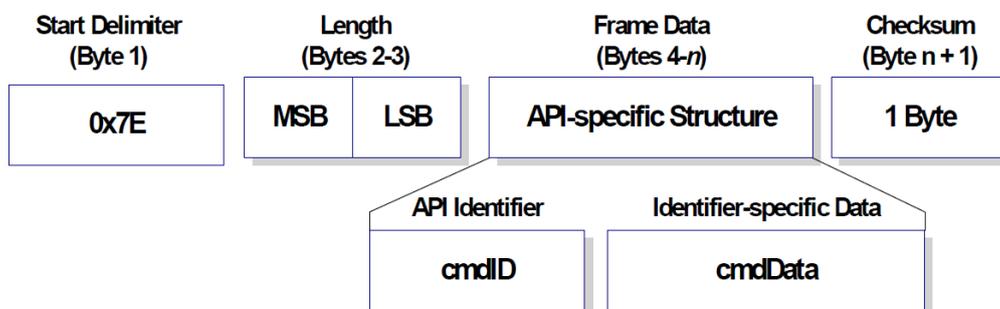


Figura 72 Estrutura específica da Frame no modo API [23]

No modo API o campo frame de dados pode ser de diversos tipos, cada uma com um identificador diferente para cada tipo ('API Identifier'), Figura 72, contendo informação específica, podendo ser dos seguintes tipos:

- Frame de estado do modem;
- Frame de comando AT;
- Frame de configuração de comando AT;
- Frame de resposta de comando AT;
- Frame de configuração remota de comando AT;
- Frame de resposta de configuração remota de comando AT;
- Frame de transmissão de dados;
- Frame de estado de transmissão;
- Frame de dados recebidos;

## 4.7 CONCLUSÕES

Neste capítulo foram apresentadas as principais características dos equipamentos utilizados e as suas parametrizações.

O objectivo era proceder à monitorização do sistema de moldação rotacional, com a medição de temperaturas, e medição de deformações da peça a fabricar, através de uma ligação sem fios entre o sistema de aquisição e o sistema de monitorização.

Para implementar o sistema foram usados dois módulos XBee para comunicação sem fios, uma carta de medição de termopares CJ1W-TC001 e uma carta de medição de células de carga CJ1W-F159.

Durante o desenvolvimento do sistema de aquisição ocorreram algumas modificações de forma a conseguir cumprir os objectivos propostos, mais especificamente no equipamento para medição de deformações que não foi desenvolvido originalmente para a aplicação usada.

A ligação entre os módulos XBee e os sistemas de aquisição e monitorização é feita pelo *standard* de comunicação rs232.

A aquisição e tratamento dos dados medidos são realizados pelo autómato da OMRON, que possui um programa que recolhe e organiza os dados de forma a facilitar o envio dos mesmos para o sistema de monitorização e registo.

# Capítulo 5

## 5 SOFTWARE DESENVOLVIDO

Neste capítulo descrever-se-á todo o *software* desenvolvido para a aquisição, monitorização e registo para a máquina de moldação rotacional.

Foram desenvolvidas duas aplicações em que uma foi desenvolvida em LabVIEW para ser instalada num computador pessoal com funções de monitorização e registo, e uma desenvolvida em ladder usando o CX-Programmer para ser instalado no PLC com funções de aquisição de dados.

### 5.1 SOFTWARE DESENVOLVIDO NO CX-PROGRAMMER

O *software* usado para implementar a aplicação de aquisição de dados no PLC CJ1M da OMRON foi o CX-Programmer.

O CX-Programmer é uma ferramenta desenvolvida pela OMRON que permite programar, e configurar toda a gama de PLCs da OMRON, quer novos modelos como equipamentos mais antigos.

Na Figura 73 é apresentada a janela principal do CX-Programmer, mostrando as principais características.

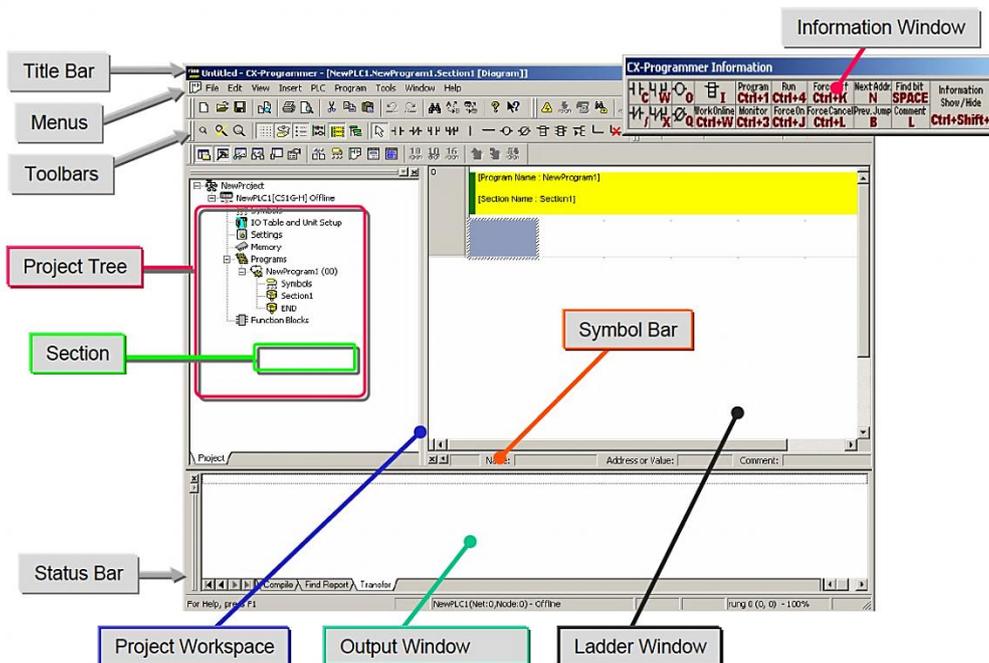


Figura 73 CX-Programmer – Janela Principal [24]

O CX-Programmer, está totalmente integrado no pacote de *software* CX-One distribuído pela própria OMRON, tendo integrado para apoio á programação blocos de funções *standard* programadas em texto estruturado ou na linguagem ladder convencional.

Os blocos de funções usam uma linguagem de programação semelhante ao basic, facilitando tarefas de processamento numérico ou comparações lógicas complexas, necessitando apenas de algumas linhas de código, e como tal podendo ser feito em poucos minutos.

O CX-Programmer torna o desenvolvimento de programas PLC em linguagem ladder numa simples configuração de arrastar e largar "Drag & Drop".

Este *software* permite a ligação automática através de USB, ligação série, cabo de rede, e a configuração através de ecrãs acessíveis para todas as unidades PLC;

### 5.1.1 APLICAÇÃO DE AQUISIÇÃO DE DADOS NO AUTÓMATO

A programação no autómato não envolveu grande complexidade, sendo somente um conjunto movimentações de valores de diversas posições da memória para um conjunto de posições de memória seguidos, para facilitar a leitura pela aplicação de monitorização.

Na Figura 74 está representado de uma forma gráfica o funcionamento da aplicação desenvolvida, estando representado todos os elementos que compõem a equipamento de aquisição desenvolvido.

- Autómato

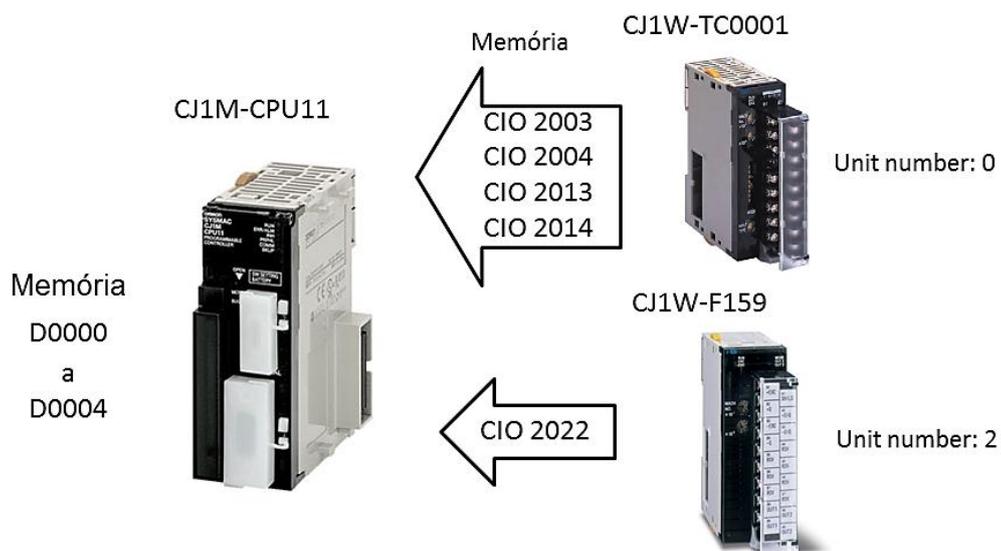


Figura 74 Funcionamento da aplicação de aquisição de dados

O sistema é composto pelo PLC CJ1M-CPU11 que é a unidade de processamento, tendo acoplado a carta CJ1W-TC001 para interface de termopares para medição de temperaturas, e por último a carta CJ1W-F159 para interface de um extensômetro.

A carta para medição dos termopares foi configurada com o número de unidade 0, e a carta para medição de extensômetros com o número de unidade 2. Assim os valores das medições estão nas posições de memória CIO 2003, CIO 2004, CIO2013 e CIO 2014 para os valores de temperatura, e na posição CIO 2022 para o extensômetro.

Para facilitar o envio dos valores das medições por comunicação série movem-se todos os dados para um conjunto de posições de memória seguidos (da posição D0000 á D0004).

Como podemos ver na Figura 75, o programa desenvolvido em ladder da aplicação descrita anteriormente.

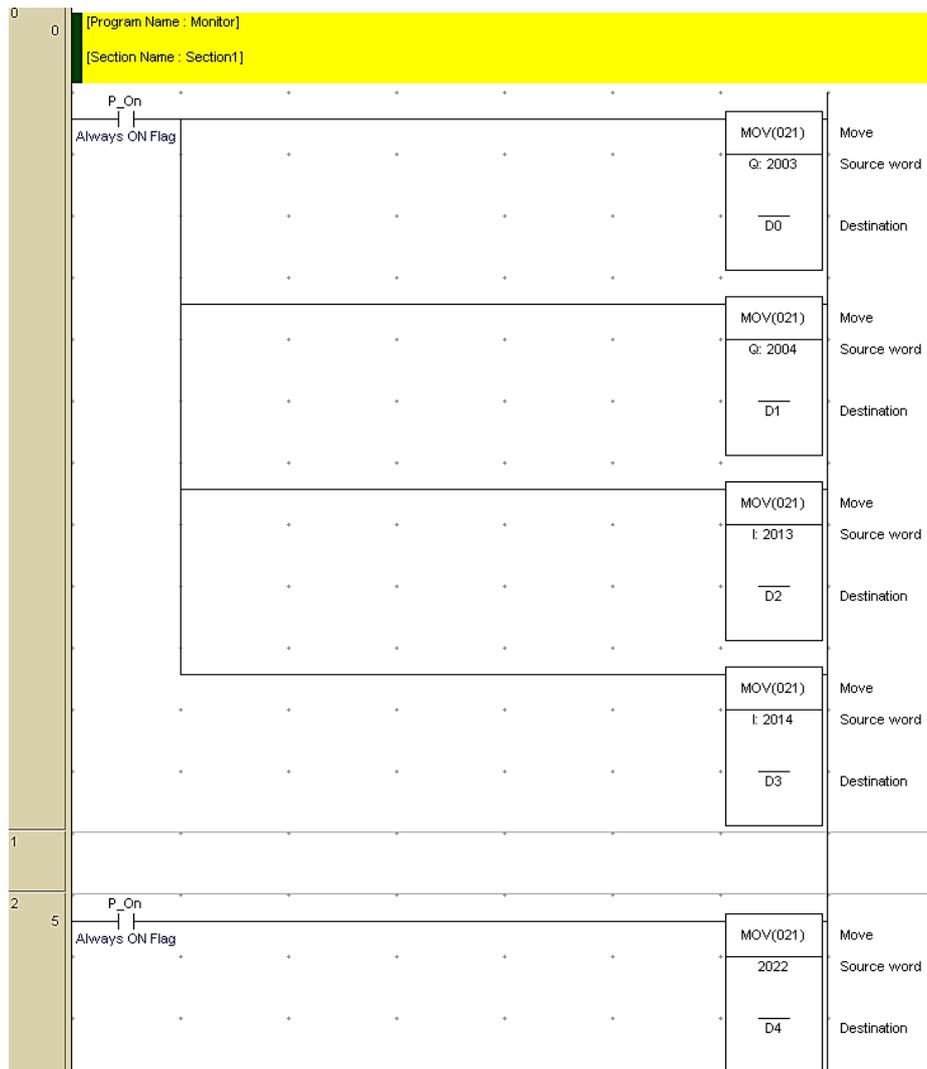


Figura 75 Programa de aquisição em ladder

## 5.2 SOFTWARE DESENVOLVIDO EM LABVIEW

O *software* de programação usado para implementar a aplicação de monitorização e registo para o processo de fabrico por rotomoldação foi o LabVIEW.

O LabVIEW é uma ferramenta desenvolvida pela *National Instruments*, Figura 76, que consiste numa linguagem de programação gráfica que utiliza ícones em vez de linhas de texto para criar aplicações, sendo de fácil aprendizagem.

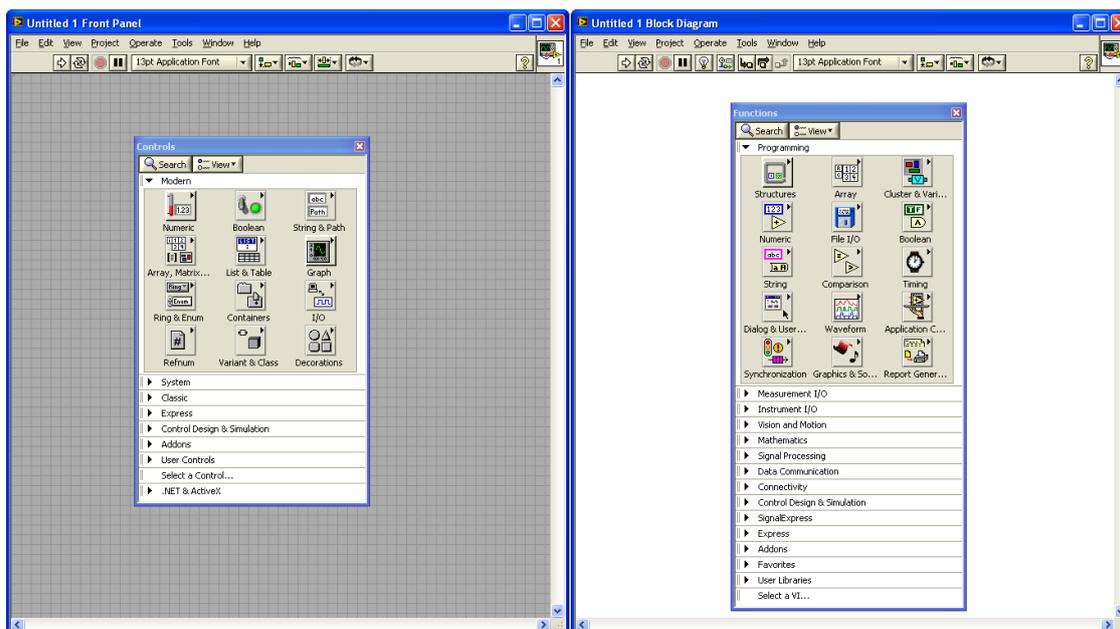


Figura 76 Ambiente gráfico da ferramenta desenvolvimento da National Instruments, o LabVIEW

As principais fontes utilizações do LabVIEW são a realização de aplicações para medições e a automação.

O LabVIEW tem como uma das principais vantagens a capacidade de se poder ligar a uma vasta gama de dispositivos externos utilizando protocolos como o GPIB, VXI, PXI, rs232, rs485, além de dispositivos de aquisição de dados, através de *drivers* que permitem essa ligação.

Este *software* também tem incluído diversas ferramentas adicionais que permitem a análise e o tratamento dos diversos tipos de dados adquiridos, como análise de imagens tiradas através de câmaras, ou análises espectrais, entre outros.

Esta nova abordagem á tarefa de programação introduz várias vantagens, mas inclui também algumas vantagens de programas tradicionais de desenvolvimento de *software*. Isto a nível de ambiente de programação e suas funcionalidades, como usar *breakpoints*,

execução animada e execução passo a passo através do programa para determinar possíveis falhas (bugs), facilitando assim o trabalho de desenvolvimento.

Os programas em LabVIEW são chamados de instrumentos virtuais, ou simplesmente por VIs que são compostas pelo painel frontal, Figura 77, que contém a interface com o utilizador, e pelo diagrama de blocos, Figura 78, que contém o código gráfico do programa.

Uma VI pode ser utilizada dentro de outra VI, neste caso é chamada de subVI, uma subVI é como uma rotina em linguagem de programação baseada em texto, facilitando assim a manipulação e organização do código implementado. Ou seja, uma VI contém os três componentes seguintes:

- **Painel Frontal**

O painel frontal (*Front Panel*) é a interface com o utilizador, que é organizado de forma a ser de fácil compreensão e de mostrar toda a informação da aplicação de forma eficiente, Figura 77.

Assim na construção do painel podem-se incorporar indicadores (botões, chaves, *dials* entre outros), que são os terminais de entrada e saída da VI.

Os controlos simulam instrumentos de entrada, fornecendo informações para o diagrama de blocos da VI.

Os indicadores são gráficos, LEDs e outros tipos de *displays*. Os indicadores simulam dispositivos de saída e exibem informações adquiridas ou processadas no diagrama de blocos.

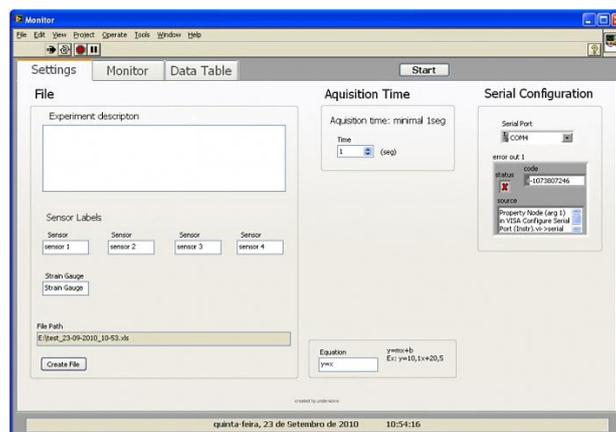


Figura 77 LabVIEW – Front Panel

- **Diagrama de Blocos**

O Diagrama de Blocos (*Block Diagram*) contém o código a ser executado, com os objectos do painel frontal que aparecem como blocos no diagrama de blocos, Figura 78.

Todos os instrumentos de controlo ou indicadores no painel frontal têm um bloco correspondente no diagrama de blocos. Além disso, o diagrama de blocos contém funções e estruturas provenientes da biblioteca de referência de VIs do LabVIEW.

A programação é feita através da interligação por meio de fios de cada um dos blocos no diagrama de blocos, que podem incluir blocos de controlo, blocos indicadores, funções e estruturas.

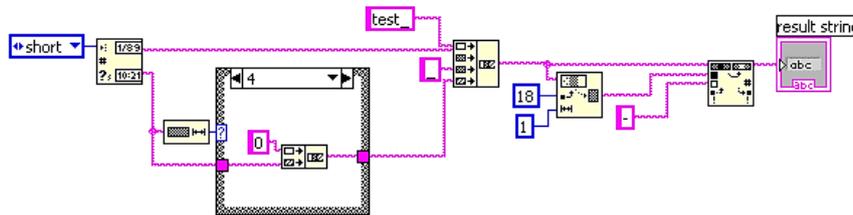


Figura 78 LabVIEW – Block Diagram

- **Painel de conexões**

O painel de conexões (*vi Hierarchy*) é utilizado para se definir quais e como as VIs estão interligadas, definindo assim uma hierarquia, Figura 79.

O painel de conexões é muito importante á medida que a aplicação cresce, porque o número de subVI que são usadas também cresce e é necessária uma visão geral sobre a hierarquia de utilização das subVIs.

Com várias telas, rotinas de procedimento (VIs utilizados para processamento, como uma sub-rotina), então é necessário estabelecer onde cada VI é chamada e por qual VI.

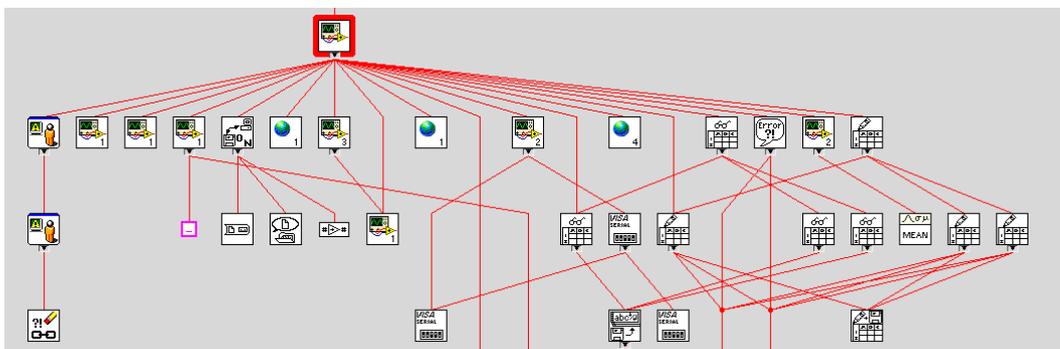


Figura 79 LabVIEW – vi Hierarchy

## 5.2.1 ALGORITMOS DE MONITORIZAÇÃO

Para implementar a aplicação de monitorização e registo foi desenvolvido um algoritmo apresentado na Figura 80, este define quando se inicia ou termina a monitorização, qual o procedimento de uma trama recebida com erro, e quando são actualizados os gráficos e a tabela de dados.

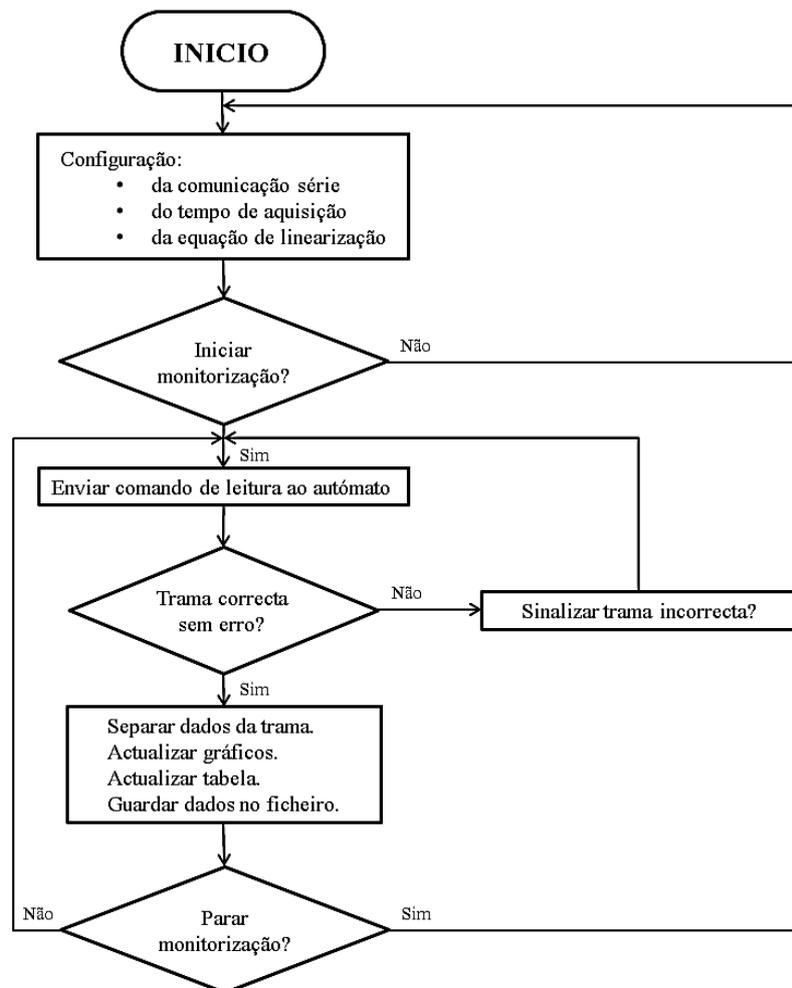


Figura 80 Diagrama de funcionamento do software de monitorização

No início do diagrama temos de efectuar as diversas configurações requeridas, como a configuração da comunicação série, a configuração do tempo de aquisição que tem um mínimo de um segundo, ou a equação de linearização, embora que estejam implementadas algumas configurações de *default*.

Depois da fase de configuração a aplicação espera pelo comando de início de monitorização que é dado por um botão de *START* implementado no *software*.

Com a ordem dada para o início da monitorização é enviada ao autómato um comando, este comando é do formato reconhecido pelo protocolo FINS explicado no

capítulo 3. Este comando é somente para ler as posições de memória onde estão guardadas as temperaturas e o valor da deformação.

O autómato envia uma trama de resposta, esta trama quando recebida é verificada para ver se existiu algum erro na comunicação.

Se existir algum erro este é sinalizado e é dada outra ordem para reenviar a trama de comando, se não houver erros os dados são retirados da trama e actualizados os gráficos com os valores referentes a cada um e também a tabela.

Podemos ver que sempre que um grupo de dados são recebidos estes são guardados num ficheiro, isto é uma medida de segurança para que se houver algum problema pelo menos alguns dados são salvos não se perdendo tudo.

Por final é verificado se se deseja terminar a monitorização, se for terminada a aplicação retorna á fase de configuração, se não continua a receber dados.

## **5.2.2 AMBIENTE GRÁFICO PARA MONITORIZAÇÃO**

Com um algoritmo desenvolvido para monitorização é necessário trabalhar igualmente o ambiente gráfico da aplicação para cumprir com alguns requisitos, um interface amigável é um requisito muito importante porque o utilizador deve compreender facilmente todos os botões e parâmetros presentes no monitor.

Na fase inicial foi pedido que a aplicação tivesse três janelas distintas, uma para configuração de todos os parâmetros referente ao processo de monitorização como a criação do ficheiro Excel, configuração da comunicação série, e para configuração de parâmetros que influenciam directamente o a monitorização.

A segunda para visualização gráfica dos dados, e uma terceira com a tabela dos dados gravados no ficheiro Excel.

Na Figura 81 é apresentada a janela inicial para configuração, e vemos que para uma melhor organização a janela foi dividida nas seguintes zonas para configurações distintas:

- *File* – Zona para criar um ficheiro Excel onde é atribuindo um nome automaticamente através da data e hora do computador, tem também a opção de mudar os nomes dos sensores que são monitorizados, e também tem um campo para introduzir uma breve descrição da tarefa a realizar;

- *Serial Configuration* – Zona para configuração da comunicação série, onde o único parâmetro alterável é a porta COM;
- *Aquisition Time* – Zona para alterar o tempo de aquisição do processo, que tem um mínimo de 1 segundo, é um requisito do processo;
- *Equation* – Zona para introduzir uma equação para linearização dos valores do extensômetro, a equação é do tipo  $Y=mX+B$  e está configurada com a equação  $Y=X$  de *default*;

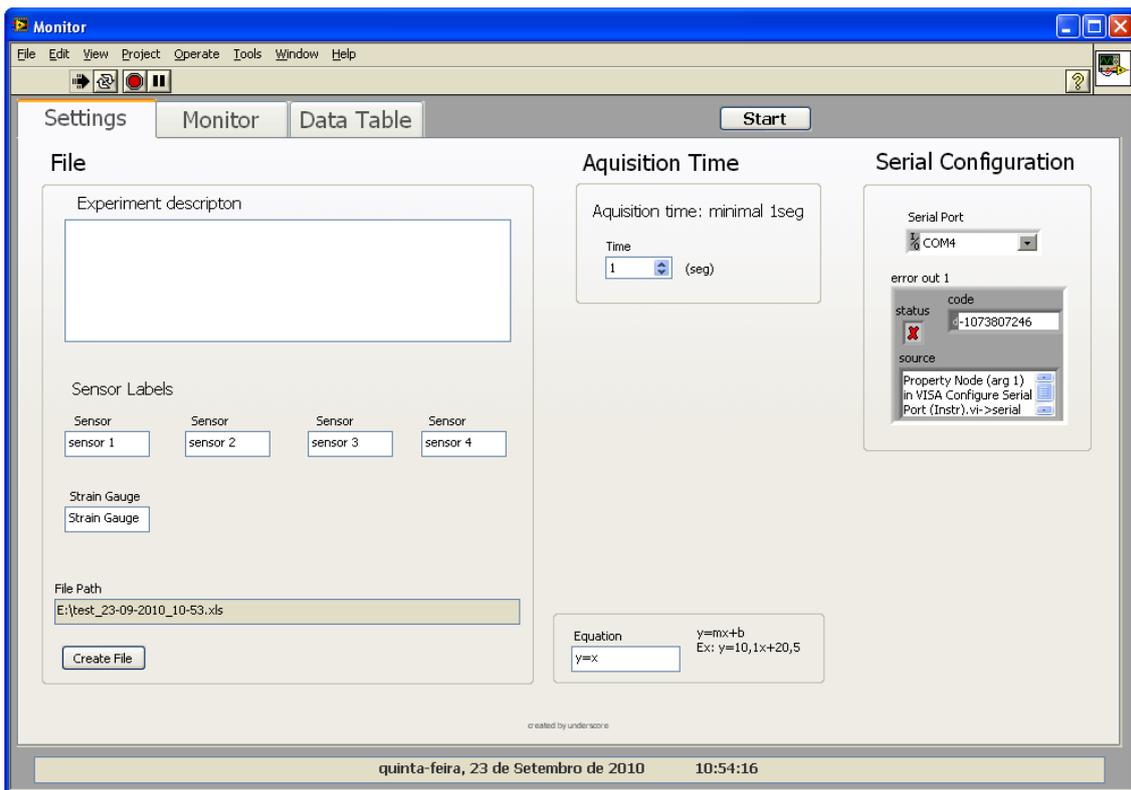


Figura 81 Janela inicial de configuração

Outro requisito imposto é o acompanhamento dos parâmetros a monitorizar de uma forma gráfica e de fácil compreensão, desta forma o modelo apresentado na Figura 82 foi implementado.

Podemos ver que como na janela apresentada anteriormente esta está dividida em zonas distintas, onde a janela é dividida a meio em dois gráficos, um para apresentar as temperaturas monitorizadas, e outro para visualizar os valores das deformações.

Na parte inferior de cada gráfico temos mais informação para ajudar a compreender que sensores estão a ser visualizados, cada um com o nome configurado e que valores estão a ser medidos a cada momento.

Cada sensor tem atribuído uma cor para serem identificados quando visualizados em conjunto no gráfico. Para o gráfico referente ao extensômetro, gráfico da direita, foi pedido um campo para introduzir um *offset* aos valores das medições, ajudando assim a visualização.

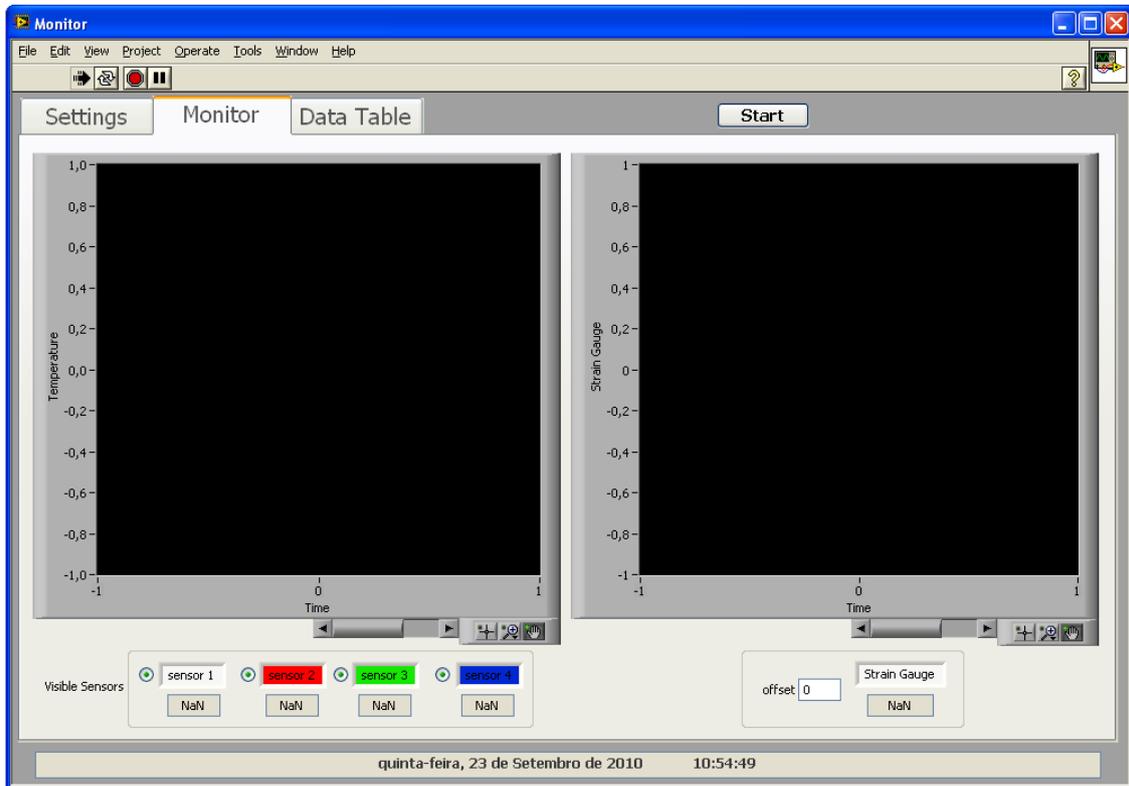


Figura 82 Janela para visualização gráfica dos parâmetros a monitorizar

Por último temos a janela da tabela de dados, Figura 83, esta janela inicialmente era somente para ajudar a organizar os dados otimizando assim o processo de gravação em ficheiro Excel, sendo oculta do utilizador.

Mas com o decorrer dos testes verificou-se que era uma mais valia poder também visualizar os dados a serem actualizados um a um na tabela, isto porque era mais fácil visualizar todos os dados a um dado momento, com a possibilidade de ver na mesma linha as temperaturas, a deformação e o tempo a que ocorreram.

Ao lado da tabela estão localizados alguns campos referentes á comunicação, cada campo tem uma função específica explicada de seguida:

- Segundos – é o tempo decorrido desde o início da monitorização;
- *Read buffer* – é a trama de resposta que é recebida a cada comunicação com o autómato;

- FCS OK – Sinaliza se a trama está correcta através do calculo e comparação do FCS;
- Dados – são todos os dados referentes a todos os sensores recebidos na trama de resposta.

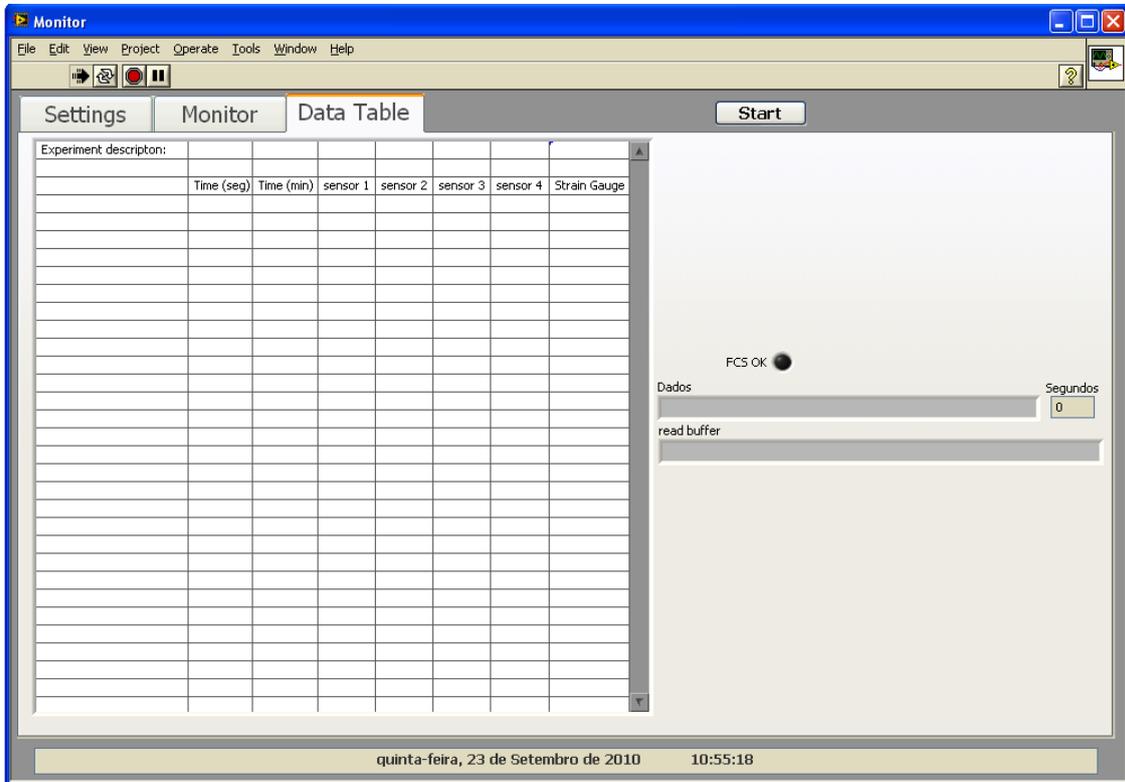


Figura 83 Janela para visualização do conteúdo a ser guardado no ficheiro Excel

Os campos explicados anteriormente são para ajudar a detectar problemas, ou seja, se existe algum problema com a comunicação, com o autómato, ou com os sensores, aumentando a rapidez que se identifica e resolve os problemas.

Para finalizar a explicação dos elementos gráficos da aplicação desenvolvida, existe um elemento de comando que é comum a todas as janelas com a função de iniciar e finalizar a monitorização.

O botão de *START* foi colocado intencionalmente visível em todas as janelas para se ter a possibilidade de a qualquer momento fazer parar ou iniciar o processo de monitorização.

## 5.3 TRAMAS DE COMUNICAÇÃO

No capítulo 3 foi explicado de uma forma detalhada a constituição das tramas de comando e resposta usadas para comunicação entre o autómato e o computador. De seguida será descrito o formato e a informação presente em cada trama, que têm o formato base apresentado na Figura 84.

<b>Hostlink Header</b>	<b>FINS Header</b>	<b>Command</b>	<b>FCS</b>	<b>*CR</b>
------------------------	--------------------	----------------	------------	------------

Figura 84 Trama de comunicação

Na Figura 85 podemos ver parte do diagrama de blocos feito no LabVIEW para a trama de comando da comunicação série, nesta pequena amostra de programação vêmos blocos para configuração série ou cálculo do FCS.

Mas os mais importantes são os blocos que definem a trama de comando que é composta pelos seguintes campos:

- *Hostlink + FINS Header*;
- *Command*;
- *FCS*;
- *\*CR (\*Enter)*.

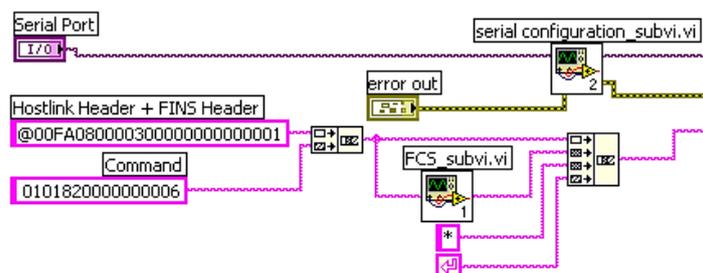


Figura 85 Tramas de comando – LabVIEW

O campo *Command* é constituído por diversos elementos já descritos no capítulo 3 consoante o tipo de trama a enviar, que no caso desenvolvido no seguimento da tese aqui apresentada é uma trama de comando para leitura de algumas posições de memória.

Na Figura 86 é apresentado a configuração do campo *Command* em que o “0101” é o código de comando para leitura de memória, o “82” é o código a indicar a memória que se quer ler, neste caso é a memória de dados DM.

A indicar a posição de memória temos “000000”, onde os quatro primeiros indicam que é da posição de memória DM0000 e os dois últimos é para indicar se é para ler ao bit, no caso não é por isso tem “00”.

Por fim temos que indicar o número de elementos a ler a partir da posição de memória indicada anteriormente que no caso está definido como “0006”, ou seja, está definido para ler as posições:

- DM0000 – Termopar 1;
- DM0001 – Termopar 2;
- DM0002 – Termopar 3;
- DM0003 – Termopar 4;
- DM0004 – Extensômetro;
- DM0005 – reserva.

...	<b>0101</b>	<b>82</b>	<b>0000 00</b>	<b>0006</b>	...
	Commad code	Área de memória	Posição de memória	Nº de elementos a ler	

Figura 86 Trama de comando – Campo Command

A trama de resposta é constituída essencialmente pelos mesmos campos da trama de comando, o que difere é o campo *Command*. Este está apresentado na Figura 87 e é constituído pelo *Command code* que é o mesmo que anteriormente, e pelo *Response code* que tem de ser igual a “0000”, e por fim é constituído pelo campo de dados.

...	<b>0101</b>	<b>0000</b>	...	...
	Commad code	Response code	Dados	

Figura 87 Trama de resposta – Campo Command

O campo de dados foi organizado da forma exposta na Figura 88, que está dividido pelos diversos valores dos sensores medidos.

...	Dados						...
	DM0000	DM0001	DM0002	DM0003	DM0004	DM0005	

Figura 88 Trama de resposta – Campo dados

As tramas expostas neste subcapítulo são as únicas tramas necessárias á execução do trabalho narrado nesta tese.

## 5.4 CONCLUSÕES

Durante o desenvolvimento da aplicação gráfica para monitorização da máquina de moldação rotacional surgiram alguns problemas ao nível de performance, estes problemas eram relativos ao uso excessivo de CPU pelo LabVIEW.

A resolução deste problema envolveu usar *multithreading* para colocar funções prioritárias em ciclos próprios correndo em paralelo sem interrupções, e as funções menos prioritárias foram colocadas em ciclos de espera dando tempo de execução às mais prioritárias.

Esta solução é sugerida no *site* da *National Instruments*, levando a uma melhor gestão do tempo disponível para execução de funções importantes. [25]

O algoritmo desenvolvido correspondeu aos objectivos propostos, facilitando a implementação de todas as funções propostas levando a um bom desempenho da aplicação.

A utilização do protocolo FINS é uma mais-valia na implementação da comunicação para o projecto desenvolvido, por ser um sistema *standard* entre equipamentos da OMRON melhorando a integração com outros sistemas.

Embora nesta aplicação específica só ter sido implementado um tipo de trama de comando e de resposta, revelou ser de fácil integração no trabalho a desenvolver com bons resultados de resposta, podendo para trabalho futuro ser totalmente implementado para uso de toda a sua potencialidade.

## Capítulo 6

### 6 TESTES E RESULTADOS

Neste capítulo será apresentado os resultados dos testes realizados juntamente com algumas conclusões.

Os dados dos testes e as conclusões foram fornecidos pelo aluno Luís Costa do departamento de Polímeros, responsável pelo funcionamento do equipamento.

Na Figura 89 são apresentadas as curvas de temperatura, obtidas a partir do equipamento de moldação rotacional onde foram realizadas as peças. É possível observar que a temperatura do forno aumenta progressivamente até um máximo próximo dos 350°C.

A temperatura estabelecida no equipamento é de 400°C. Esta temperatura não é atingida durante um ciclo de moldação, pois as perdas de energia durante a abertura do forno, para a entrada/saída do molde, não o permitem.

A evolução da temperatura do molde “acompanha” a tendência da curva do forno, já a evolução da temperatura do ar interior tem um comportamento diferente das restantes.

Neste caso a curva é influenciada pelas características do polímero e pelas fases que este atravessa durante o aquecimento e arrefecimento.

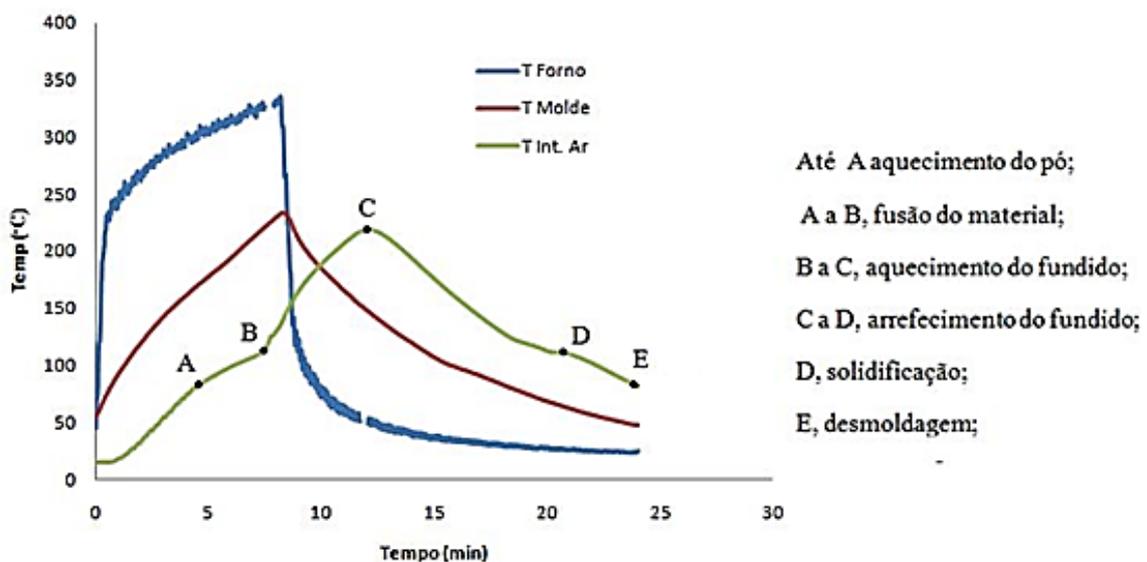


Figura 89 Curvas e patamares de temperatura

Na Figura 90 são apresentados os gráficos de moldações para vários valores de massa de material e para diferentes tipos de arrefecimento, a uma temperatura de desmoldagem de 60°C. Como era de esperar, o tempo de ciclo é mais elevado com o arrefecimento a ar, e mais curto com o arrefecimento a água.

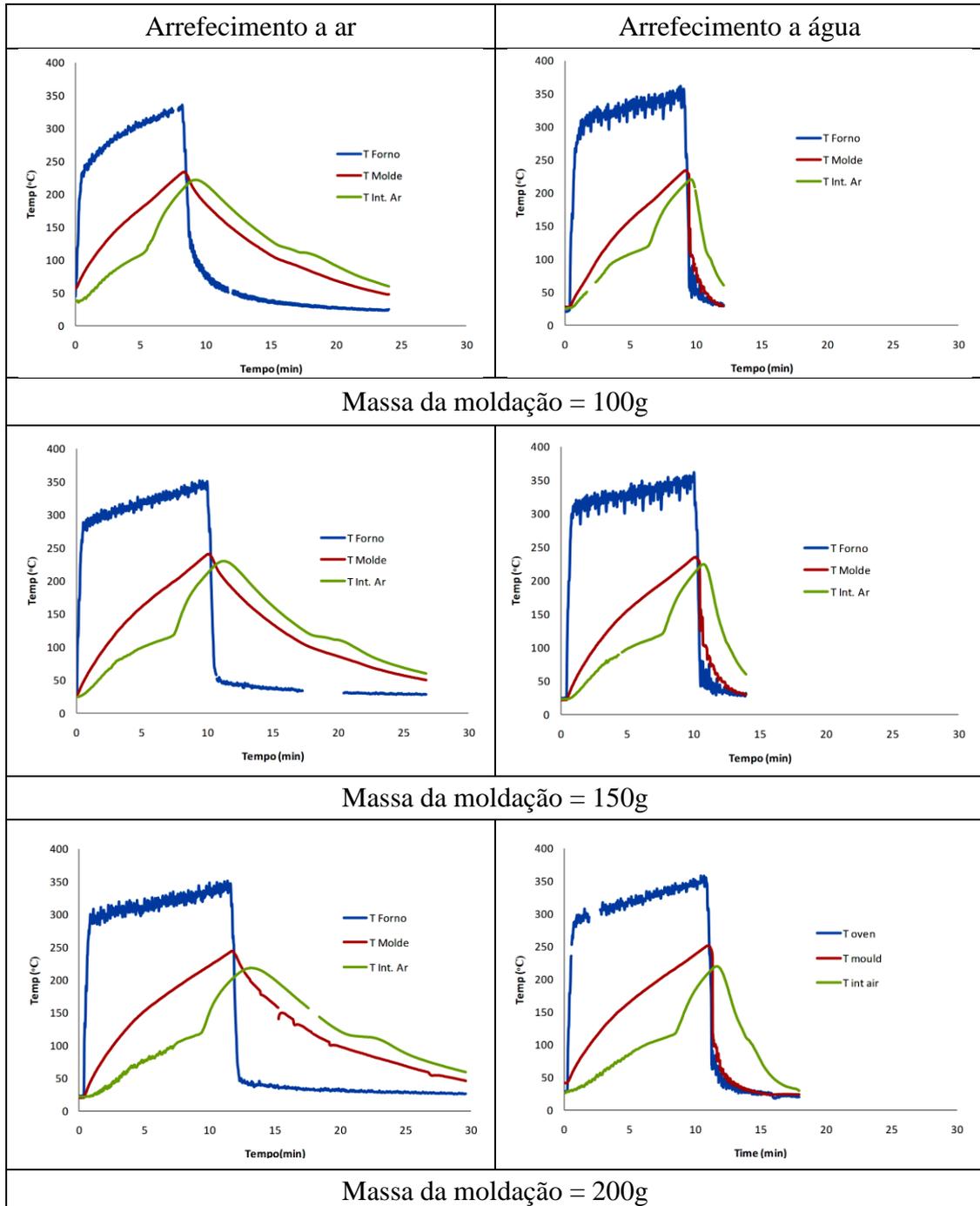


Figura 90 Evolução das temperaturas durante o processo de moldação rotacional (Temp. Desmoldagem=60°C)

## Capítulo 7

### 7 CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

#### 7.1 CONCLUSÕES

Esta dissertação teve como base a implementação de um sistema de monitorização e registo da informação proveniente de sensores inseridos nos moldes de uma máquina de moldação rotacional do Departamento de Engenharia de Polímeros da Universidade do Minho.

O sistema de moldação rotacional é um processo de fabrico com muitos anos de aplicação na indústria de polímeros, que nas últimas décadas tem vindo a sofrer melhorias levando a um refinamento na qualidade dos produtos produzidos, como também a um melhoramento de eficácia e optimização do fabrico.

Para esta melhoria em geral tem contribuído o desenvolvimento de sistemas de monitorização semelhantes ao apresentado nesta tese.

O sistema apresentado tem como principal aplicação o estudo do processo de fabrico para encontrar soluções e contribuir para uma evolução positiva no fabrico.

O desenvolvimento deste sistema envolveu a utilização do LabVIEW para implementar o *software* de monitorização, que permitiu uma fácil habituação ao ambiente de programação facilitando a implementação de todas funções necessárias.

Embora o uso do LabVIEW seja uma mais-valia em muitos aspectos os problemas de performance encontrados durante o desenvolvimento da aplicação, demonstra os cuidados a ter durante o processo de programação para suprimir estes problemas ao mínimo.

A comunicação entre o computador e o autómato foi feita por rs232 pelo protocolo FINS, que embora só uma pequena parte tenha sido implementada deu para mostrar todo o potencial para comunicações entre dispositivos.

Novamente o protocolo escolhido revelou muitas vantagens, entre elas o número de opções implementadas como também a simplicidade de interpretação, mas ser um protocolo proprietário da OMRON leva-o a ser um pouco limitado no número de equipamentos que se pode usar.

A comunicação entre o autómato e o computador é por rs232 usando os módulos XBee como canal sem fios de comunicação em vez de cabos, isto por causa do tipo de instalação do sistema desenvolvido na máquina de rotomoldação, tendo um desempenho sem falhas.

O equipamento CJ1W-TC001 para medir temperaturas desempenhou a sua função sem falhas com várias vantagens de utilização, como a simplicidade de instalação e configuração para a função a desempenhar.

A medição de deformações foi realizada pelo dispositivo CJ1W-F159 que por não ser projectado para desempenhar esta função apresentou algumas limitações nomeadamente, a restrição de só poder ligar um extensómetro, a necessidade de desenvolver uma placa PCB para interface entre o equipamento e o sensor, e também alguma instabilidade nas medições.

Como resumo final pode-se afirmar que a aplicação desenvolvida cumpre todos requisitos que foram propostos tendo como principais características:

- Medição e monitorização em tempo real da temperatura e da deformação sem colocação da electrónica no interior do molde como algumas das soluções existentes no mercado.
- Possibilidade de aumentar o número de sensores de temperatura a colocar no molde até um máximo de 4.
- Interface amigável para o operador.
- Gravação da informação para posterior tratamento em formato “xls”.

## 7.2 TRABALHO FUTURO

O projecto actual encontra-se a funcionar cumprindo os requisitos propostos, no entanto este pode ser melhorado tornando-o mais flexível e completo, sendo proposto como trabalho futuro os seguintes pontos:

- Desenvolver a aplicação de monitorização e registo com uma linguagem de programação *open source*, ou distribuídas gratuitamente, para não haver necessidade de comprar licenças;
- Implementar o protocolo FINS na sua totalidade e possivelmente recorrer á programação de DLLs para o implementar, para que possa ser integrado em diversas linguagens de programação;
- Implementar um novo sistema de medição de deformações, que seja desenvolvido especificamente para a aplicação, com possibilidade de leitura de vários extensômetros;
- O desenvolvimento do *hardware* em PCB deve ter em conta a adopção de componentes SMD para diminuir o espaço ocupado e ser possível incorporar mais entradas para extensômetros.



## REFERÊNCIAS

- [1] Beall, Glenn (1998), pag. 1-10
- [2] Ward, Noel M. (Winter 1997). "A History of Rotational Moulding". *Platiquarian Reprints*. Consultado a 16 de Junho de 2010. Disponível em: <http://www.webcitation.org/5lkadq2tF>
- [3] SOLAR PLASTICS, INC (2006). Solar Plastics products. Consultado a 18 de Junho de 2010. Disponível em: <http://www.solarplastics.com/solarplastics/products/>
- [4] Ferry Industries. Support Equipment. Consultado a 15 de Julho de 2010. Disponível em: <http://www.ferryindustries.com/support.html>
- [5] Crawford, Roy J., and Kearns, Mark P.(2003), pag. 75-80
- [6] Roto Solutions (2004). TempLogger - Five Keys to Improve Rotomoulding. Consultado a 6 de Julho de 2010. Disponível em: <http://www.rotosolutions.co.za/Support/Five%20Keys.pdf>
- [7] Datapaq. Oven Tracker RadioPaq System. Consultado a 6 de Julho de 2010. Disponível em: [http://www.datapaq.com/Home.htm?url=http://www.datapaq.com/tracker\\_systems/oven/index\\_main.htm](http://www.datapaq.com/Home.htm?url=http://www.datapaq.com/tracker_systems/oven/index_main.htm)
- [8] 493K (2008). K-Paq Radio Datalogger for Temperature and Pressure. Consultado a 15 de Julho de 2010. Disponível em: [http://www.493k.com/images/Downloads/K-paq\\_ver8.pdf](http://www.493k.com/images/Downloads/K-paq_ver8.pdf)
- [9] GTA / UFRJ(2004).Seminário de Redes de Computadores II. Consultado a 21 de Maio de 2010. Disponível em: <http://www.gta.ufrj.br/~rezende/cursos/eel879/trabalhos/zigbee/index.html>
- [10] Wikipedia (2010). Zigbee. Consultado a 21 de Maio de 2010. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/ZigBee>
- [11] FEUP ().Módulos de Comunicação Wireless para Sensores. Consultado a 23 de Maio de 2010. Disponível em: <http://paginas.fe.up.pt/~ee02055/RelatorioTEC15.pdf>

- [12] IEEE (). *IEEE 802.15.4 PHY Capabilities*. Consultado a 23 de Maio de 2010. Disponível em: <https://mentor.ieee.org/802.15/file/04/15-04-0227-04-004a-ieee-802-15-4-phy-layer-and-implementation.ppt>
- [13] OMRON (2008). *Communications Commands - SYSNAC CS/CJ Series - Reference Manual*. Consultado a 17 de Abril de 2010. Disponível em: [http://downloads.industrial.omron.eu/IAB/Products/Automation%20Systems/PLCs/Compact%20PLC%20Series/CP1E/W342/W342-E1-14+CJ-CS\\_ComCommand+RefManual.pdf](http://downloads.industrial.omron.eu/IAB/Products/Automation%20Systems/PLCs/Compact%20PLC%20Series/CP1E/W342/W342-E1-14+CJ-CS_ComCommand+RefManual.pdf)
- [14] OMRON (2010). OMRON E5CN Temperature Controller. Consultado a 29 de Julho de 2010. Disponível em: [http://www.ia.omron.com/product/family/165/index\\_fea.html](http://www.ia.omron.com/product/family/165/index_fea.html)
- [15] OMRON (2010). OMRON CJ1M-CPU11. Consultado a 29 de Julho de 2010. Disponível em: [http://industrial.omron.eu/en/products/catalogue/automation\\_systems/programmable\\_logic\\_controllers/modular\\_plc\\_series/cj1m/default.html](http://industrial.omron.eu/en/products/catalogue/automation_systems/programmable_logic_controllers/modular_plc_series/cj1m/default.html)
- [16] UNIPULSE (Abril 2010). UNIPULSE Weighing measurement. Consultado a 27 de Abril de 2010. Disponível em: <http://www.unipulse.com/en/products/F159.html>
- [17] OMRON (2007). *F159 Operation Manual*. Consultado a 27 de Abril de 2010. Disponível em: <http://www.myomron.com/download.php?tid=1485-4708041425&id=1236&f=959f7c89274d46ef110bf8bed7a21382>
- [18] Universidade Nova de Lisboa, Departamento de engenharia Civil. Extensometria. Consultado a 2 de Agosto de 2010. Disponível em: [http://www.dec.fct.unl.pt/seccoes/S\\_Estruturas/Mecanica\\_Meios\\_Continuos/upgrade/I\\_extensometria.pdf](http://www.dec.fct.unl.pt/seccoes/S_Estruturas/Mecanica_Meios_Continuos/upgrade/I_extensometria.pdf)
- [19] OMRON (2010). *CJ1W-TC0001 Datasheet*. Consultado a 3 de Maio de 2010. Disponível em: [http://www.ia.omron.com/data\\_pdf/data\\_sheet/cj1w-tc\\_dsheet\\_csm1622.pdf](http://www.ia.omron.com/data_pdf/data_sheet/cj1w-tc_dsheet_csm1622.pdf)
- [20] OMRON (2010). *CJ1W-TC0001 Operation Manual*. Consultado a 3 de Maio de 2010. Disponível em: <http://www.omron-ap.com/downloads/pdf/W396.pdf>

- [21] OMRON (2010). *Cold Junction compensation*. Consultado a 10 de Setembro de 2010. Disponível em:  
<http://www.ia.omron.com/support/glossary/atoz/546/>
- [22] Sparkfun (). Product info. Consultado a 25 de Maio de 2010. Disponível em:  
[http://www.sparkfun.com/commerce/product\\_info.php?products\\_id=8691](http://www.sparkfun.com/commerce/product_info.php?products_id=8691)
- [23] Digi (2010). XBee Znet 2,5 Datasheet. Consultado em 8 de Junho de 2010. Disponível em:  
[http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000866\\_C.pdf](http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000866_C.pdf)
- [24] OMRON (). *CX-Programmer: Catalogs / Manuals*. Consultado a 17 de Outubro de 2010. Disponível em:  
[http://www.omron-ap.com/downloads/pdf\\_viewing.asp?product\\_model=CX-Programmer&catlvl=157](http://www.omron-ap.com/downloads/pdf_viewing.asp?product_model=CX-Programmer&catlvl=157)
- [25] National Instruments (2010). *Multithreading in LabVIEW*. Consultado a 15 de Março de 2010. Disponível em:  
<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/14>



## **BIBLIOGRAFIA**

1. Beall, Glenn (1998), "Rotational Molding: Design, Materials & Processing". Hanser Gardner Publications.
2. Crawford, Roy J. and Kearns, Mark P. (2003), "Practical Guide to Rotational Moulding". Rapra Technology Limited



# **Anexos**



## Anexo 1 – Listagem de VI desenvolvidas

<b>VI Desenvolvida</b>	<b>Descrição</b>
TemperatureMonitor.vi	VI da Aplicação principal
FCS_subvi.vi	VI que gera o FCS
Serial configuration_subvi.vi	VI que configura todos os parâmetros da comunicação série
Verifica trama_subvi.vi	VI que verifica se a trama recebida está correcta, quer pelo tipo da trama de resposta quer pelo FCS da trama
Temperaturas_subvi.vi	VI que separa da trama os valores das temperaturas
File name_subvi.vi	VI que gera automaticamente o nome do ficheiro Excel consoante a data e a hora
Load_cell_subvi.vi	VI que separa da trama os valores das deformações dadas pelo extensômetro
Linear_subvi.vi	VI que implementa a equação para linearização do extensômetro to tipo $Y=mX+B$



