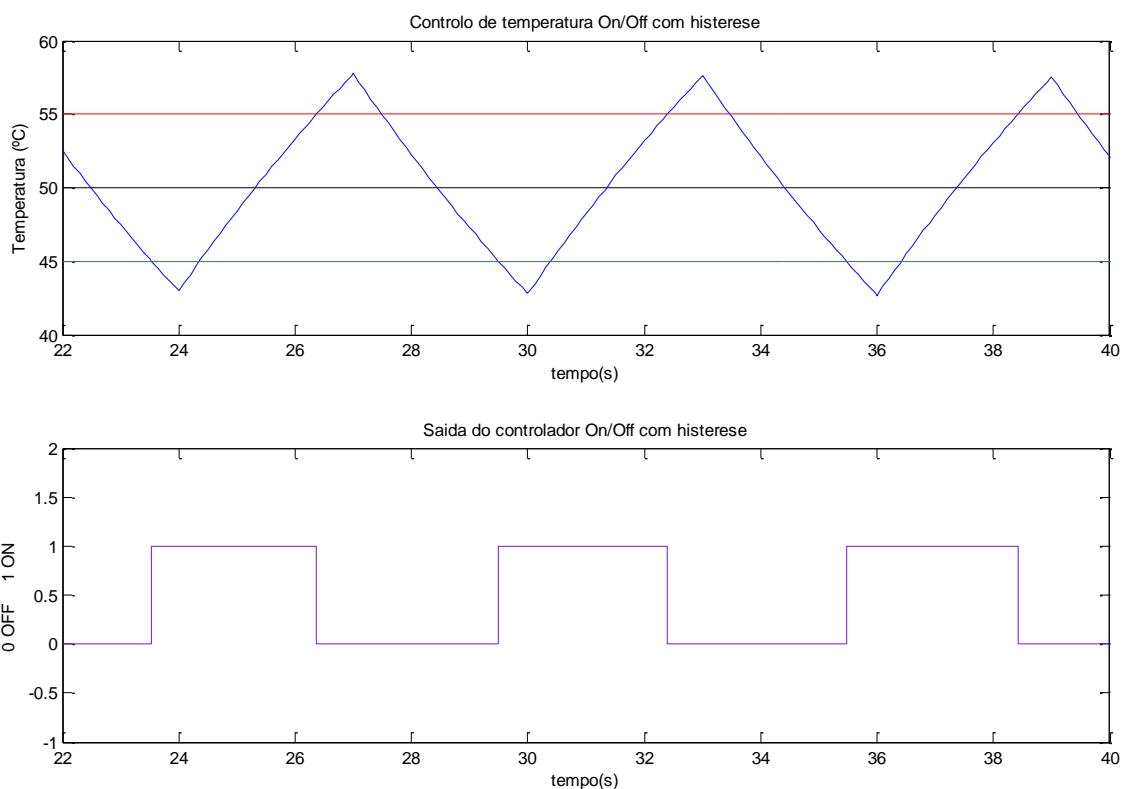


CONTROLO DE SISTEMAS

Guia laboratorial nº 3 – **CONTROLO DE TEMPERATURA**



INTRODUÇÃO

- **Este trabalho relacionado com o controlo de temperatura está dividido em 2 partes:**

1ª Parte – Controlo Linear

- 1.1 Controlo Feedforward (Controlo linear com perturbação no sistema)

2ª Parte – Controlo Não Linear

- 2.1 Controlo ON/OFF com Histerese
- 2.2 Controlo ON/OFF

- **Informações para o trabalho 3 - Controlo de Temperatura**

***Nota 1:** O Guia Laboratorial deverá ser lido antes de inicializar o trabalho de Laboratório, de modo que o grupo possa finalizar o trabalho no tempo previsto, (1h30m), e que os alunos estejam aptos a responder a questões relacionadas com o trabalho prático.*

***Nota 2:** O software deste trabalho, TQ CE103 encontra-se no ambiente de trabalho do PC.*

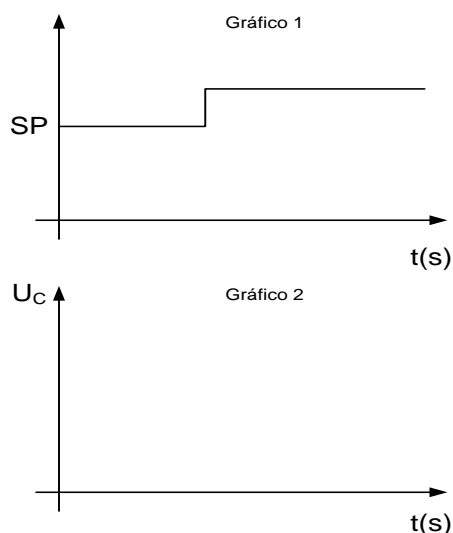
***Nota 3:** A data da apresentação dos trabalhos será afixada na página da disciplina no Moodle.*

- **Descrição dos vários canais nos conversores no Módulo CE120**

Conversor A/D (Analógico/Digital)	Conversor D/A (Digital /Analógico)
Canal 1 → Valor de referência (SP)	Canal 1 → Saída do aquecedor (OH)
Canal 2 → Temperatura 1 (T1)	Canal 2 → Saída do ventilador (FO)
Canal 3 → Temperatura 2 (T2)	Canal 3 → Saída do obturador (SO)
Canal 4 → Saída do processo (OP)	Canal 4 → Saída para controlo de histerese
Canal 5 → Saída do ventilador (FO)	
Canal 6 → Saída do obturador (SO)	
Canal 7 → Nível de histerese (HL)	
Canal 8 → Termo Integral (IT)	

Na 1ª parte do trabalho deverá ser apresentado somente um gráfico por cada ensaio (idêntico ao Gráfico 1).

Para os ensaios da 2ª Parte devem ser apresentados dois gráficos, como apresentado na figura seguinte,



Estes gráficos são obtidos com base nos dados gravados durante a aula, num ficheiro TQD, que depois é convertido para folha de cálculo do Excel (Anexo II).

O gráfico 1 deverá incluir o sinal de referência (Set-Point) e o sinal de saída do sistema ou sinal controlado (Temperatura T_1 ou T_2).

No gráfico 2 pretende-se observar a saída do controlador U_C .

A unidade no eixo dos YY é volt e ambos os gráficos devem apresentar a mesma escala temporal no eixo dos xx (segundos).

Os sinais pretendidos nos gráficos estão identificados no seguinte diagrama de blocos:

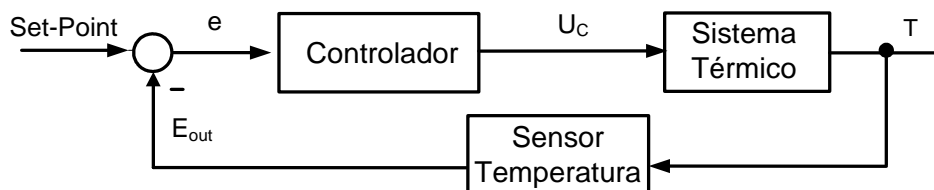


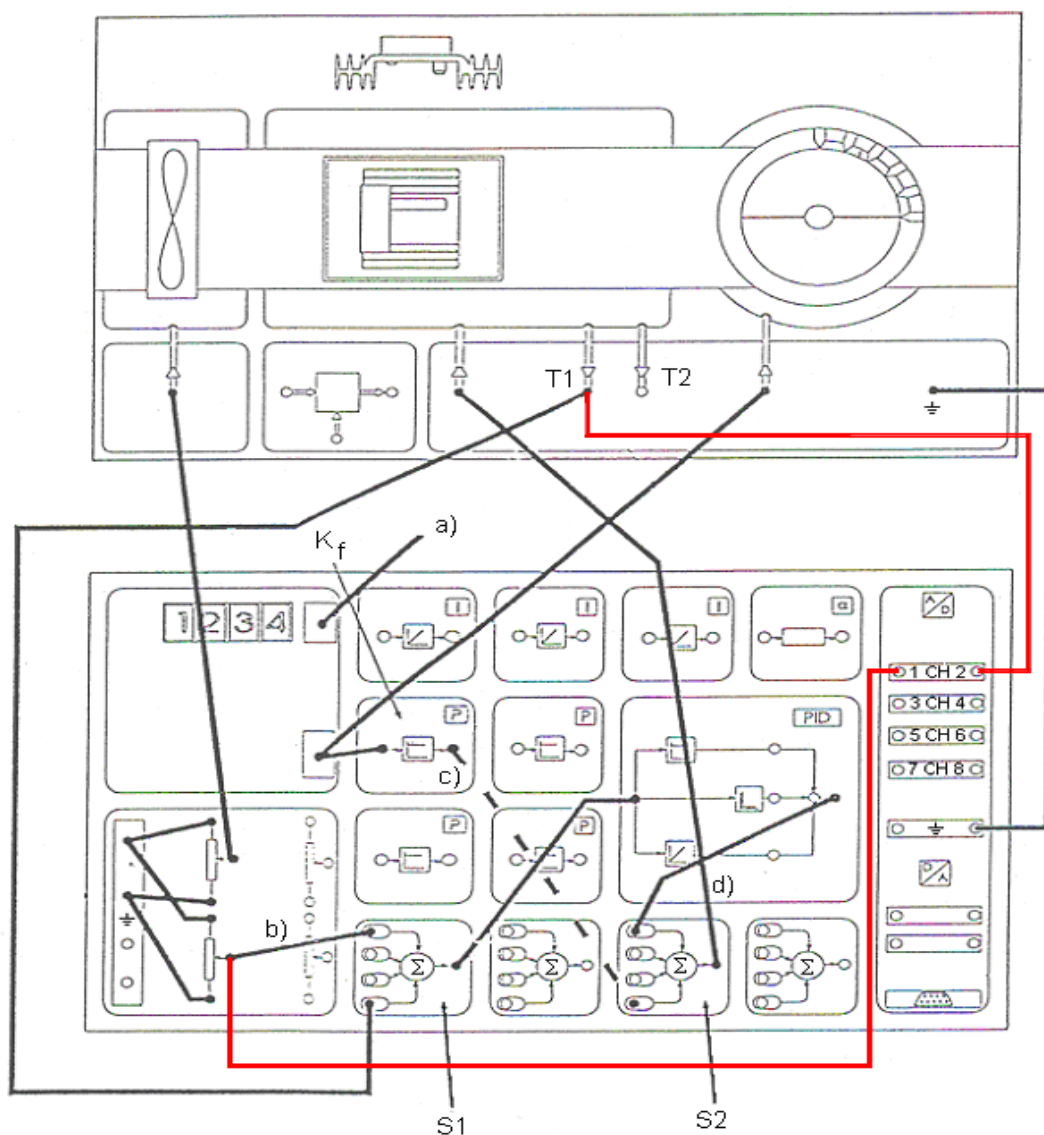
Diagrama de blocos simplificado do sistema de controlo de temperatura

1ª Parte: Controlo Linear

1.1 Controlo *FeedForward*


O objectivo desta experiência consiste em estudar a ação do controlo *Feedforward* para compensar perturbações introduzidas no sistema através da abertura do obturador.

ESQUEMA DE LIGAÇÕES



- a) Cabo solto. Permite efectuar as leituras necessárias para as diferentes tensões.
- b) Referência
- c) Controlo Feed-forward
- d) Saída para o Aquecedor

Figura 1

	ISEL <small>INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA</small>	Secção de Automação e Eletrónica - DEEEA Controlo de Sistemas (Laboratório)	T3 –Controlo de Temperatura Data: Abril 2022
---	--	--	---

Equipamento Necessário:

Processo Térmico (CE103)
Controlador (CE120)
Computador (gravador de gráficos)

Procedimento Experimental

Ligue o equipamento de acordo com o esquema de ligações da Figura 1 (pág. 3), mas não faça a ligação a tracejado.

No **Dispositivo CE120**, coloque:

Potenciómetro superior: 2V \Rightarrow *Velocidade do ventilador*;
Potenciómetro inferior: 5V \Rightarrow *Sinal de referência*;
No controlador PID (que vai funcionar como PI porque a ação derivativa está desligada):
Controlador Proporcional, com um ganho $K_P = 5$
Controlador Integral, com um ganho $K_I = 0.2$
Gerador de sinais em DC, com Offset 0V e Nível (*Level*) 0V
Nota 4: Para regular a tensão do offset e do Level coloque o voltímetro no ponto Hz.
Para obter um offset correto de 0V, o Level deverá estar regulado para 0V.

No computador, aceda ao programa **CE103**. A fim de verificar a operacionalidade do sistema, no programa, abra o menu **Options**, na opção “**Port Selection**” selecione a **COM1** e de seguida aceda à opção “**CE120 Interface Test**”. Deverá aparecer uma mensagem de confirmação de existência de comunicação.

No **Software** coloque (para entrar nos menus clique em **ENTER**, para sair clique em **ESC**):

Controller: Algorithm: Feed-Forward
Temperature Set Point: Generation: External
Control of Temperature: T1
Input: Scaling Inputs (limites do sinóptico): [4500 - 5500]
Graph: Select channels to draw: 1 e 2 , sendo os restantes

No menu *Controller*, coloque o sistema em funcionamento através da opção **Controller Run**.

Este sistema de temperatura tem um comportamento linear e os sinais analógicos de comando e dos sensores, têm uma correspondência de $1V \Rightarrow 10^{\circ}C$ e no limite máximo $10V \Rightarrow 100^{\circ}C$.

Para dar **início** à experiência prima a tecla **F1** e de seguida no módulo CE120 **ligue os interruptores** do controlador **P** e **I** e faça **reset** ao condensador (associado ao controlador I).

Permita que o sistema estabilize, nos $50^{\circ}C$ e **registre na Tabela 1 o valor da saída do ponto de soma S2, quando o obturador está aberto** (Shutter na posição 0), sendo a leitura efetuada com o voltímetro do módulo CE120.

Nota 5: Considere que o sistema está estabilizado quando apresentar um erro de $\approx 0.2^{\circ}C$ ($0.02V$). Esta visualização do sinal erro pode ser feita na saída do ponto de soma, S1 do esquema de ligações, ou visualmente através do sinóptico disponível no monitor que indica o valor da temperatura em tempo real.

De seguida feche completamente o obturador (Shutter na posição 5), **aumentando o nível (level)** do gerador de sinais **para 10V**.

Quando o sistema tornar a estabilizar **registre novamente na Tabela 1, o valor da saída do ponto de soma S2** (agora com o obturador fechado).

Para **terminar** a experiência torne a premir a tecla **F1**, no módulo CE120, **desligue** os interruptores do controlador PID e abra o obturador, rodando o nível do gerador de sinais no sentido contrário dos ponteiros do relógio, ou seja, coloque novamente o nível em 0V.

Prima a tecla **F2** e no menu File, opção **Data Save**, grave os dados obtidos na experiência, com o nome **C:\Grau1.TQD**.

Tabela 1 - Resultados do Controlo de Temperatura sem controlo Feedforward

Tipo de Controlo	Sinal de Comando ($^{\circ}C$)	Pico de variação em T_1 ($^{\circ}C$)	Saída Para Aquecedor (Ponto de Soma S2)		Ganho Feedforward (K_f)	Nome do Ficheiro
			Obturador aberto (Posição 0)	Obturador fechado (Posição 5)		
Analógico	50				Desligado	Grau1
Analógico	50				0.08	Grau2

Para dar início ao segundo ensaio, **faça a ligação a tracejado** da Figura 1 (pág. 3), o que vai permitir ter o sistema controlado por um controlo *Feedforward*, que com um ganho K_f apropriado, poderá cancelar a perturbação causada pelo fecho do obturador no aquecedor.

O diagrama de blocos referente ao Controlo *Feedforward* é apresentado na figura seguinte.

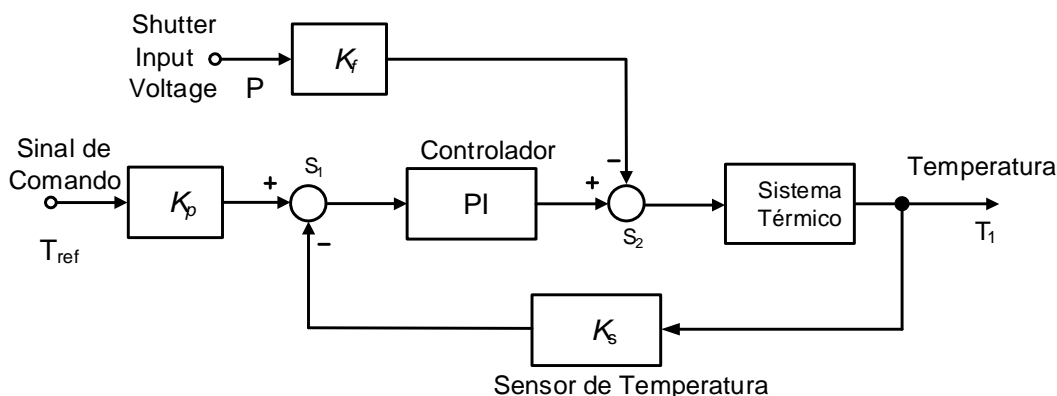


Figura 2 – Diagrama de blocos do controlo Feedforward.

Coloque um ganho $K_f = 0.08$ e repita a experiência anterior com o obturador aberto, permitindo que o sistema estabilize em 50°C. Registe o valor da saída do ponto de Soma S2 na Tabela 1. Feche o obturador e quando voltar a estabilizar, registe novamente o valor da saída na mesma tabela e grave a figura com o nome **C:\Grau2.TQD**.

1.2 Matriz de Transferência

O objetivo desta questão é utilizar o princípio da sobreposição (característica de um sistema linear) juntamente com a álgebra dos diagramas de blocos para obter a matriz de transferência de um sistema de controlo de temperatura.

Obtenha a Matriz de Transferência (na forma literal) do diagrama de blocos da Figura 2.

Considere o Sistema Térmico como um sistema de 2ª ordem $\frac{T(s)}{U_C(s)} = \frac{\omega_0^2}{s^2 + 2\xi\omega_0 s + \omega_0^2}$,

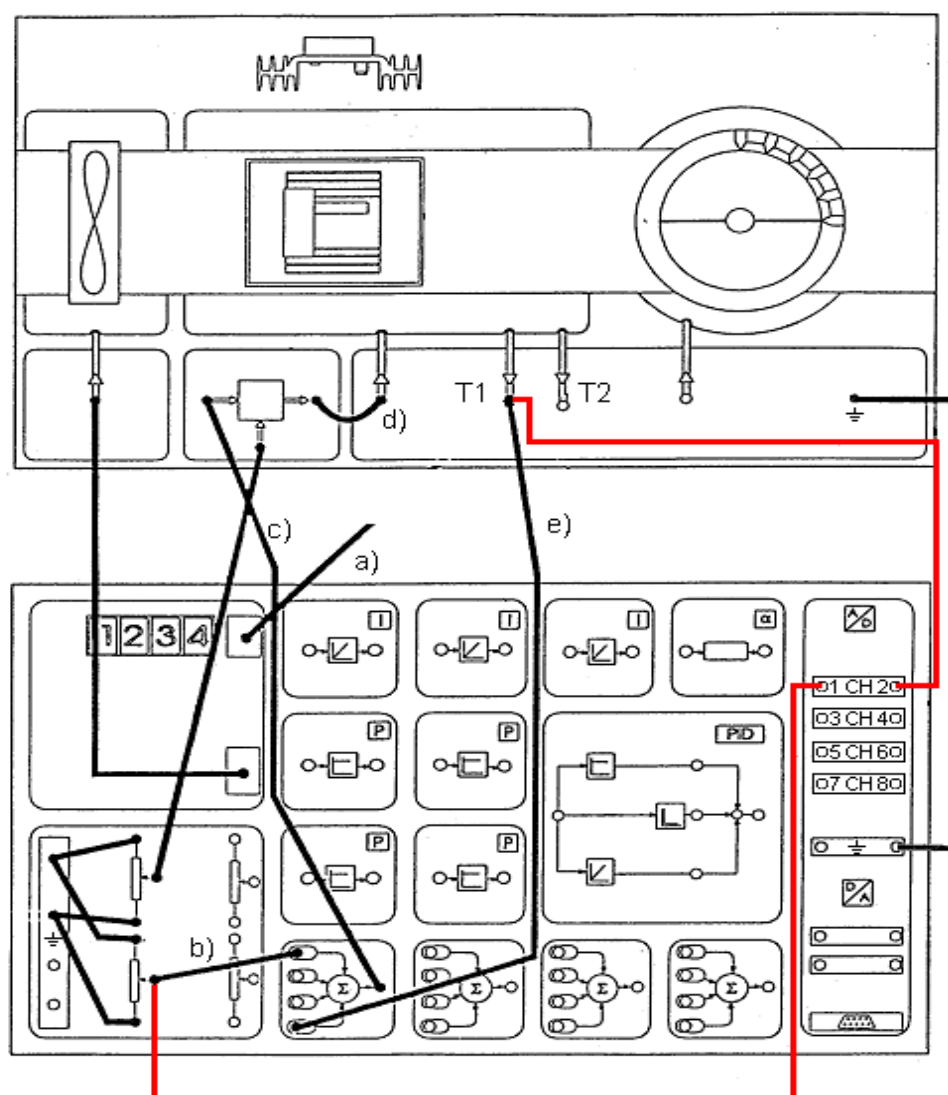
$$\text{Matriz de Transferência} = \begin{bmatrix} FT1 & FT2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_1 \\ T_{ref} \\ P \end{bmatrix}.$$

2ª Parte: Controlo Não Linear

2.1 Controlo ON/OFF com Histerese

O objetivo desta experiência é investigar o desempenho do controlo ON-OFF, com e sem histerese, no controlo da temperatura 1 (Sensor 1 na retroação), usando o relé amplificador previsto.

ESQUEMA DE LIGAÇÕES



- a) Cabo Solto. Permite efectuar as leituras necessárias para as diferentes tensões
- b) Referência
- c) Controlo ON-OFF com Histerese
- d) Saída para o Aquecedor

Figura 3

Procedimento Experimental

Ligue o equipamento de acordo com o esquema de ligações da Figura 3 (pág. 7).

No **Dispositivo CE120**, coloque:

Potenciómetro superior: 1V \Rightarrow *Largura da histerese*

Potenciómetro inferior: 6V \Rightarrow *Sinal de referência*

Gerador de sinais em DC, Offset 0V, Nível (*level*) 5V \Rightarrow *Velocidade do ventilador*

No **Software** coloque:

Controller: Algorithm: On-Off

Temperature Set Point: Generation: External

Control of Temperature: T1

Input: Scaling Inputs (limites do sinóptico): [5000 - 7000]

Graph: Select channels to draw: 1 e 2 , sendo os restantes

Controlo da temperatura T_1

Espere o tempo suficiente para que o sistema estabilize, e repare que com os valores introduzidos a temperatura de referência é de 60°C com uma histerese no amplificador de histerese de $\pm 5^\circ\text{C}$. Observe a temperatura T_1 a oscilar aproximadamente entre **55°** e **65°C**. Efectue a medição do tempo do ciclo de aquecimento no qual o aquecedor está ON (quando o led do painel CE103 está ligado) e também o tempo o qual o aquecedor está OFF (led desligado) e anote estes resultados na Tabela 2.

Ainda no mesmo ensaio, sem parar a experiência, diminua o valor da largura de **histerese para 0.4V** (potenciómetro superior) e registe os resultados obtidos na Tabela 2. Observe cerca de 3 ciclos ON e grave os dados desta experiência com o nome **C:\Grau3.TQD**.

Tabela 2 - Resultado do Controlo de Temperatura ON-OFF com Histerese

Sensor	Largura da Histerese	Aquecedor Ciclo de Tempo (s)		Temperaturas Extremas (°C)		Nome do Ficheiro
		ON	OFF	MIN	MAX	
T_1	1V $\Rightarrow \pm 5^\circ\text{C}$					Grau3
	0.4V $\Rightarrow \pm 2^\circ\text{C}$					

2.2 Controlo ON/OFF

O objectivo desta experiência é estudar o desempenho do controlo ON-OFF no controlo da temperatura 2 (Sensor 2 na retroação).

Procedimento Experimental

Efectue as seguintes alterações no actual esquema de ligações:

- Desligue o cabo associado à largura de histerese (ou desligue o potenciómetro superior);
- Altere a retroação para o sensor T2 (mudar a ligação de T1 para T2) e a faça a alteração no conversor A/D (mudar de Ch2 para Ch3).

No **Dispositivo CE120**, coloque:

Potenciómetro inferior, com 5V \Rightarrow *Parametrização do Sinal de comando em 50°C*

Gerador de sinais em DC, Offset 0V, Nível 2V \Rightarrow *Ajuste da velocidade do ventilador*

No **Software** coloque:

Controller: Algorithm: **ON-OFF** ; Temperature Set Point: Generation: **External**

Control of Temperature: **T2**; Input: Scaling Inputs (limites do sinóptico): **[4000 - 6000]**;

Graph: Select channels to draw: 1 e 3 , sendo os restantes

Sensor T₂

Permita que o sistema estabilize e observe o funcionamento do controlo ON/OFF com a temperatura T₂. Registe o período do ciclo de aquecimento no qual o aquecedor está ON (led On) e o período do ciclo em que está OFF (led Off) e anote estes resultados na Tabela 3.

De seguida e após a visualização de pelo menos 3 ciclos ON/OFF, **e sem desligar o ensaio**, aumente o valor da velocidade do ventilador para 10V (aumentar a tensão no gerador de sinais para 10V DC) e volte a registar os resultados obtidos na Tabela 3. Volte a observar pelo menos 3 ciclos ON/OFF e grave os dados deste ensaio com o nome **C:\Grau4.TQD**.

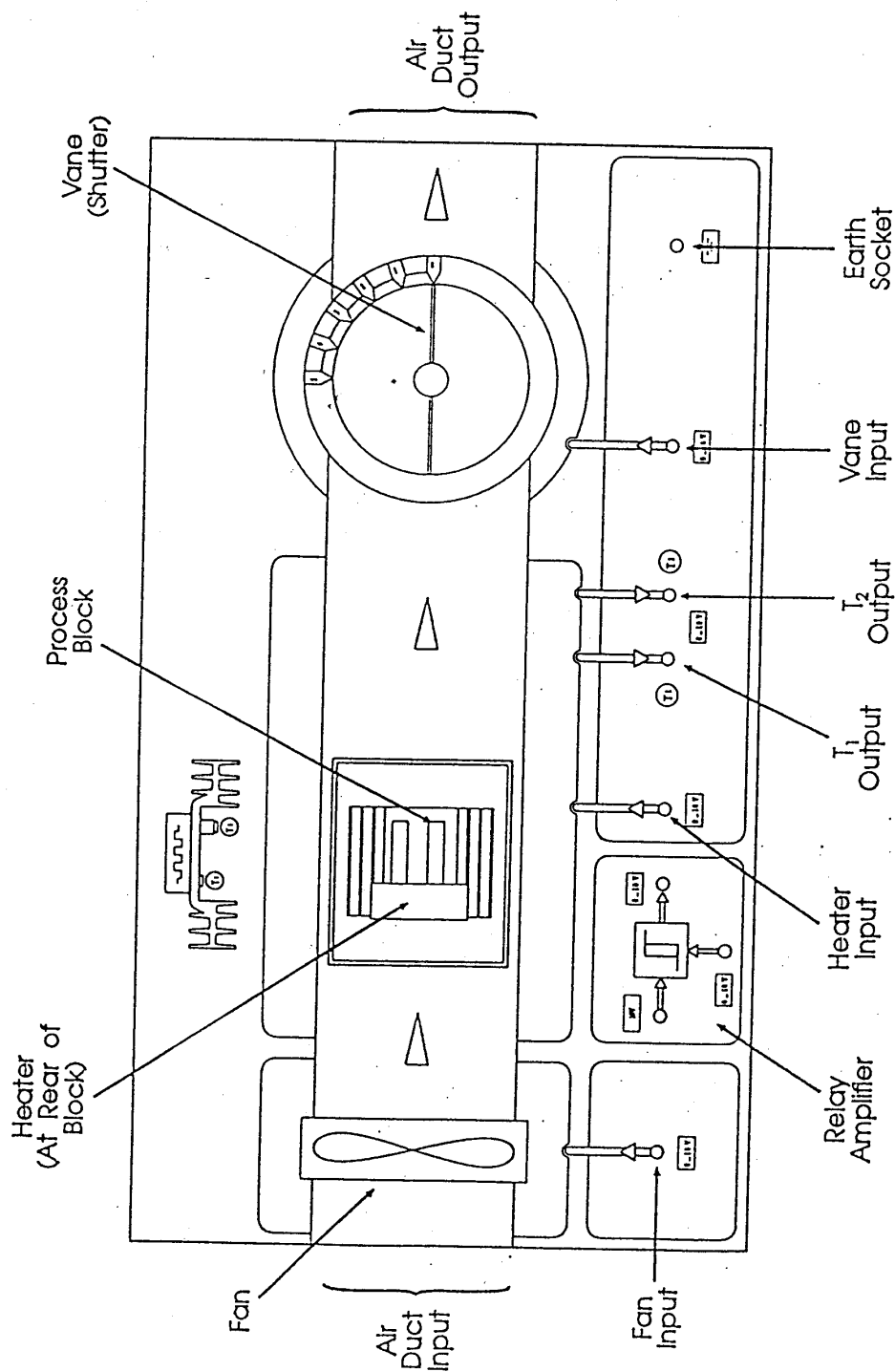
Tabela 3 - Resultados do Controlo de Temperatura ON-OFF (Sensor T₂)

Sinal de Referência (V)	Velocidade do Ventilador (V)	Aquecedor Ciclo de Tempo (s)		Temperaturas Extremas (mV)		Nome do Ficheiro
		ON	OFF	MIN	MAX	
5	2					Grau4
	10					

Fim do Guia Laboratorial T3 – Controlo de Temperatura



ANEXO II - IDENTIFICAÇÃO DOS TERMINAIS DO PROCESSO TÉRMICO CE103



ANEXO II - Abertura de Ficheiros no EXCEL


Trabalho 3 – Controlo de Temperatura

Programa: CE103 → Ficheiros de extensão **TQD**

Procedimentos de abertura:

- Entrar no Excel
- Abrir → Em ***Ficheiros do Tipo:*** Seleccionar ***Abrir todos os ficheiros*** → abrir o TQD
- Seguinte
- Passo 2 de 3 (dividir coluna 1 em duas, usando o rato na tabela de valores)

Set-point	T1	T2	OP	etc



*Nota 6: Em versões mais recentes do Excel já não aparece este **passo 2 de 3**. Nesta situação o aluno deverá observar a tabela de valores, perceber como está dividida e depois com o rato, mover alguma seta vertical que esteja mal colocada. A tabela de valores encontra-se depois do cabeçalho informativo do ficheiro TQD.*

- Seguinte → Terminar
- Inserir coluna de tempo (depois da conversão feita)

Tempo(s)	Set-point	T1	T2	OP	etc
0,5					
1					
1,5					
2					
2,5					

- Obtenha o gráfico da temperatura em função do tempo (Gráfico de Dispersão XY).