

Neste relatório irá ser apresentado o desenvolvimento de um sistema de monitorização e controlo da temperatura de uma estufa em que com a alteração da temperatura altera também o brilho de vários LEDs da mesma forma.

Ao longo deste relatório irão ser descritos em separados os vários circuitos utilizados, e expostos por partes, sendo estas partes o dimensionamento, ou seja, os cálculos necessários para concluir os circuitos, a simulação, para verificar o comportamento do circuito de forma segura, experimentação, portanto, os resultados obtidos em laboratório apos a montagem do circuito, e finalmente, a conclusão, onde serão expostas comparações entre as partes anteriormente descritas.

2. Diagrama geral

Este projeto está dividido em vários blocos, sendo os novos para este relatório, o controlo de brilho dos LEDs por corrente, onde se inverte e soma ao sinal durante condicionamento de sinal e amplifica-se a corrente, o controlo de brilho do LED por tensão, onde se compara o sinal que sai do amplificador de instrumentação com uma onda triangular para criar uma onda PWM e controlar o seu duty cycle, e finalmente, o LABVIEW, onde ligando o arduino ao PC por porta série pode-se observar um gráfico da temperatura em função do tempo recorrendo às funcionalidades do LABVIEW.

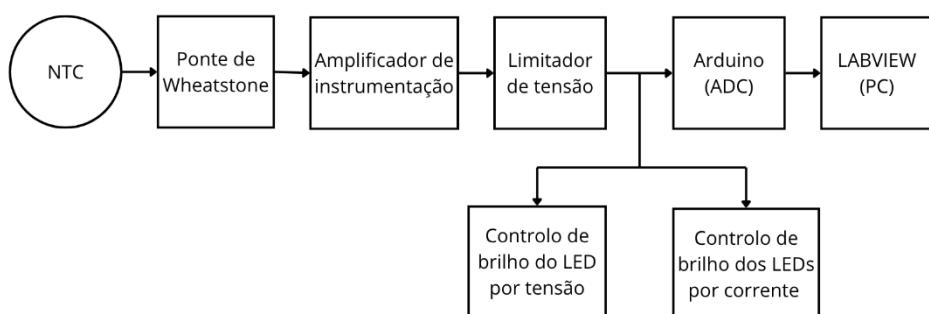
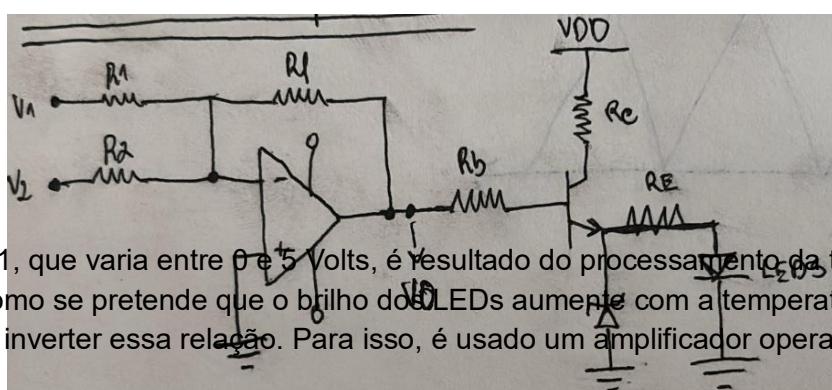


Figura 1 – Diagrama geral

3. Controlo de brilho dos LEDs por corrente

a. Circuito adotado

O circuito implementado tem como objetivo controlar o brilho dos LEDs através da regulação da corrente que os atravessa, com base numa tensão de entrada proveniente do Amplificador de instrumentação, designada de $V_{AI} = V_1$.



A tensão V_1 , que varia entre 0 e 5 Volts, é resultado do processamento da temperatura medida. Como se pretende que o brilho dos LEDs aumente com a temperatura, foi necessário inverter essa relação. Para isso, é usado um amplificador operacional

Figura 2- Circuito de controlo do brilho dos LEDs (controlo por corrente)

(TL082) em somador inversor, que converte o intervalo [0 V, 5 V] em [V_{0A} = 2,72 V, V_{0B} = 8 V].

A tensão V₀ é a tensão de entrada da segunda parte do circuito responsável por controlar a corrente ILED que atravessa os LEDs. Este circuito atua como controlador de corrente, garantindo que a corrente nos LEDs seja proporcional à tensão V₀.

À medida que a temperatura aumenta, VAI diminui, o que leva a um aumento de V₀ e, consequentemente, da corrente ILED, aumentando o brilho dos LEDs.

b. Análise dos LEDs

Nesta fase, foi medida a corrente mínima (ILEDmin) e a corrente máxima (ILEDmax) em que os LEDs ficavam com pouco brilho e com bastante brilho, respectivamente.

Para isso, foi montado o seguinte circuito de teste e medidos os valores:

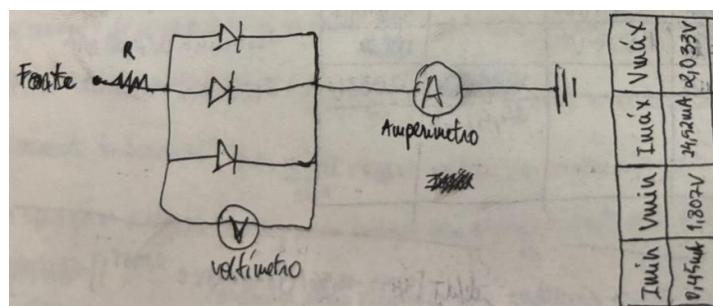


Figura 3- Circuito de teste e valores medidos

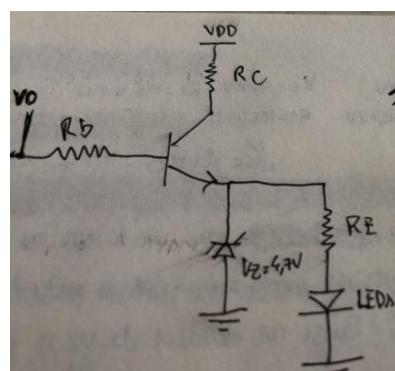
Estes valores definem os limites de operação desejados para o circuito principal.

c. Controlador de corrente (Limitador de tensão – amplificação de corrente)

i. Dimensionamento

Com base nos valores medidos para ILEDmin = 0,45 mA e ILEDmax = 24,52 mA, dimensionou-se os componentes do circuito de controlo de corrente.

Esta parte do circuito baseia-se num transístor (BC547), com as resistências, RB base, RE emissor e RC coletor, onde a tensão de entrada V₀, varia entre 2,72 V e 8 V.



Cálculos realizados:

Figura 4- circuito controlador de corrente

$$V_{LED} = 1,92V \quad I_{LED, MAX} = 24,52 \text{ mA} \quad I_{LED, min} = 0,45 \text{ mA}$$

$$I_{CH, MAX} = I_{LED, MAX} \times 1,15 = 24,52 \times 1,15 = 28,198 \text{ mA}$$

$$I_{EMIN} = I_{LED, min} = 0,45 \times 10^{-3}$$

$$R_C = \frac{V_{DD} - (V_{CE} + V_Z)}{I_{CMAX}} = \frac{15 - (0,12 + 4,7)}{28,198 \times 10^{-3}} = 358,18 \Omega$$

Os cálculos permitiram dimensionar os componentes garantindo o funcionamento correto do circuito. Considerando o ganho do transistor e os nossos valores de corrente, foram definidos valores que asseguram uma condução adequada do transístor e o controlo eficaz da corrente nos LEDs. Também foi verificada a de potência nas resistências, de forma a garantir a segurança do circuito. No final, os valores escolhidos para as resistências foram: $RC = 360 \Omega$, $RB = 21,3 \text{ k}\Omega$ e $RE = 112 \Omega$. Estes componentes permitem que a corrente varie entre os limites definidos, proporcionando um controlo estável do brilho dos LEDs em função da tensão de entrada V_0 .

ii. Simulação

De forma a confirmar todos os cálculos e a montagem do circuito de controlo do brilho dos LEDs por corrente, foram feitas várias simulações, em que o que todas têm em comum é que todas utilizam o mesmo esquema do circuito, esquema este que pode ser visto na seguinte figura.

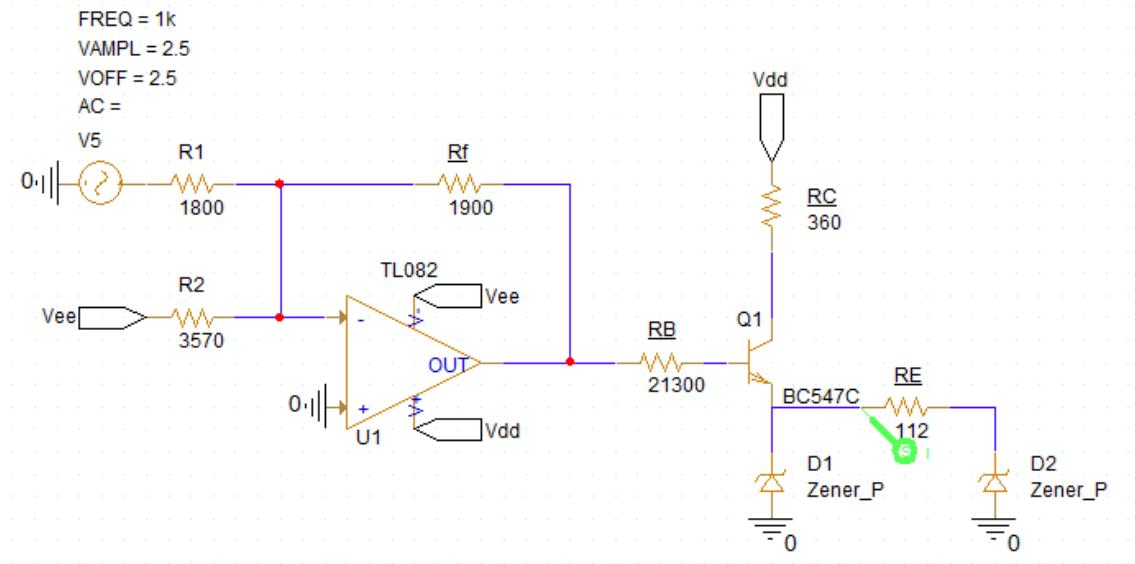


Figura 7 - circuito de controlo do brilho dos LEDs por corrente no PSpice

A primeira simulação feita foi uma na qual se pretende observar a corrente dos LEDs (I_{LED}) em função da tensão de saída do condicionamento de sinal (V_0), $I_{LED}=f(V_0)$, podendo ver que e quando aumenta a tensão também aumenta a corrente de forma ampliada, o que é possível verificar na figura seguinte.



Figura 8 – Simulação de $I_{LED}=f(V_0)$ no PSpice

iii. Experimentação

Para verificar se os LEDs estavam a funcionar como devido alterou-se a tensão de entrada (V_0), e mediu-se a corrente e a tensão para quando o brilho dos LEDs era mínimo e máximo. Podendo observar as medições na seguinte figura.

I_{min}	V_{min}	$I_{máx}$	$V_{máx}$
0,45mA	1,807V	24,92mA	2,033V

Figura 9 – Correntes e tensões mínimas e máximas nos LEDs

iv. Conclusão

Através dos cálculos, simulação e experimentação, foi possível verificar que o circuito de controlo de corrente funcionou conforme o esperado. A corrente nos LEDs variou conforme o dimensionado com a tensão V_0 , o que permitiu controlar o brilho de forma estável e progressiva.

Os valores obtidos na prática foram bastante próximos dos valores teóricos e simulados, validando o dimensionamento dos componentes utilizados. O circuito mostrou-se robusto, sem oscilações, e com um ótimo funcionamento.

d. Circuito de condicionamento de sinal para ajuste da tensão V_1 para V_0

i. Dimensionamento

Para adaptar a tensão V_1 , proveniente do amplificador de instrumentação, à tensão V_0 necessária para o controlo da corrente nos LEDs, foi utilizado um amplificador operacional em somador inversor.

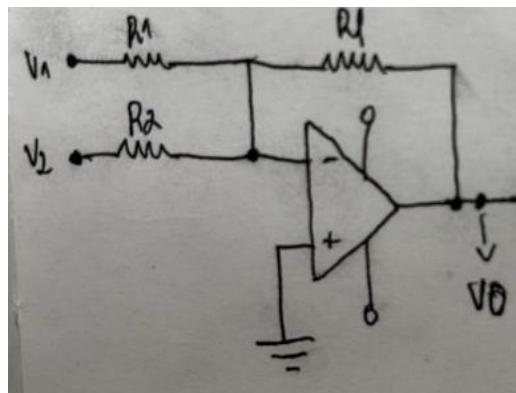


Figura 10- Circuito condicionamento de sinal

O objetivo era transformar o intervalo $V_1 = [5 \text{ V}, 0 \text{ V}]$ no intervalo $V_0 = [2,72 \text{ V}, 8 \text{ V}]$, de forma a inverter a relação entre temperatura e a tensão: quanto mais alta a temperatura, menor o V_1 , e maior o $V_0 \rightarrow$ maior brilho dos LEDs.

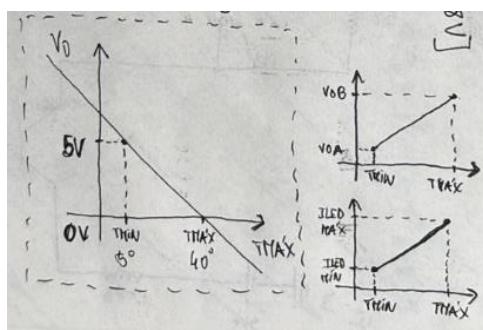
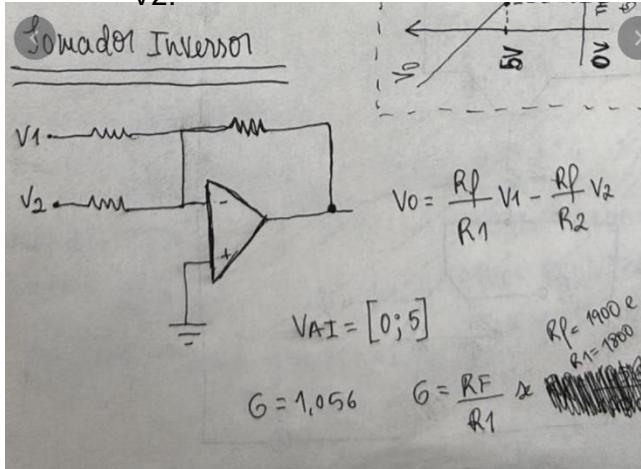


Figura 11- Gráficos de V_1 , V_0 e I_{Led} vs Temperatura

A equação usada para calcular a tensão de saída foi, $V_0 = - (R_1/R_F) \times V_1 - (R_2/R_F) \times V_2$.



$$G = \frac{8 - 2,72}{5} = 1,056$$

$$V_0 = -G \times V_1 - \frac{R_F}{R_2} \times V_2 \Leftrightarrow 2,72 = -1,056 \times 5 - \frac{1900}{R_2} \times (-15) \Leftrightarrow$$

$$2,72 = -5,28 - \frac{1900 \times (-15)}{R_2} \Leftrightarrow R_2 = \frac{28500}{2,72} = 3562,5$$

Figura 13- Cálculos condicionamento de sinal parte 1

Estes valores permitem obter a função linear necessária para converter V_1 em V_0 , com o comportamento desejado. Assim, foi possível condicionar o sinal de entrada para controlar a corrente dos LEDs.

ii. Simulação

De forma a ter certeza, de que o dimensionamento do circuito de condicionamento de sinal está correto, fez-se uma simulação para observar a tensão de saída do condicionamento de sinal (V_0) em função da tensão de entrada do circuito (V_1), conseguindo então verificar o funcionamento do amplificador inversor somador, $V_0=f(V_1)$, como é possível visualizar na figura seguinte.



Figura 14 – Simulação de $V_0=f(V_1)$ no PSpice

iii. Experimentação

Para verificar que o circuito está correto e que, como pretendido, quando a tensão do amplificador de instrumentação (V_1) aumenta, a tensão à saída do condicionamento de sinal (V_0) diminui, ligou-se as duas pontas de provas nas respetivas saídas, e colocou-se o osciloscópio e, modo XY, de forma a observar o gráfico $V_0=f(V_1)$, como é possível observar na seguinte figura.

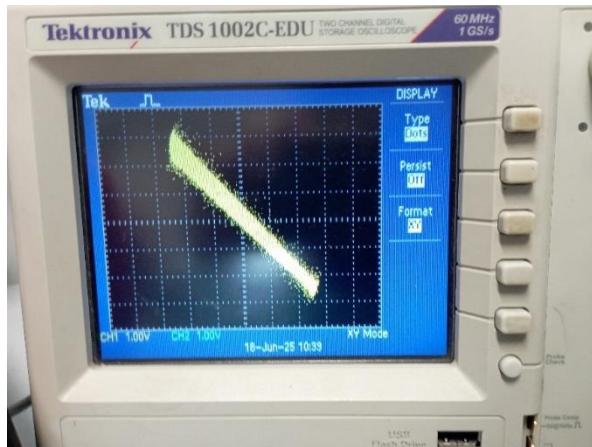


Figura 15 - $V_0=f(V_1)$ no osciloscópio em modo XY

iv. Conclusão

A análise do circuito de condicionamento de sinal confirmou que a conversão de V_1 para V_0 foi realizada com sucesso. Os cálculos teóricos permitiram definir os resistores do somador inversor de forma a obter a gama desejada de saída, com ganho e offset ajustados corretamente.

A simulação validou o comportamento esperado, mostrando uma relação linear e invertida entre V_1 e V_0 . Experimentalmente, foi possível confirmar essa relação utilizando o osciloscópio em modo XY, onde se observou uma reta descendente, tal como previsto.

Assim, conclui-se que o circuito permite ajustar corretamente o sinal de entrada, garantindo o controlo adequado da corrente nos LEDs.

e. Funcionamento do circuito completo

i. Simulação

Para verificar se os LEDs alteram o brilho como previsto após montar o circuito inteiro, fez-se uma simulação em que se visualiza a corrente nos LEDs (I_{LED}) em função da tensão de entrada (V_1), $I_{LED}=f(V_1)$, como se pode observar figura seguinte.

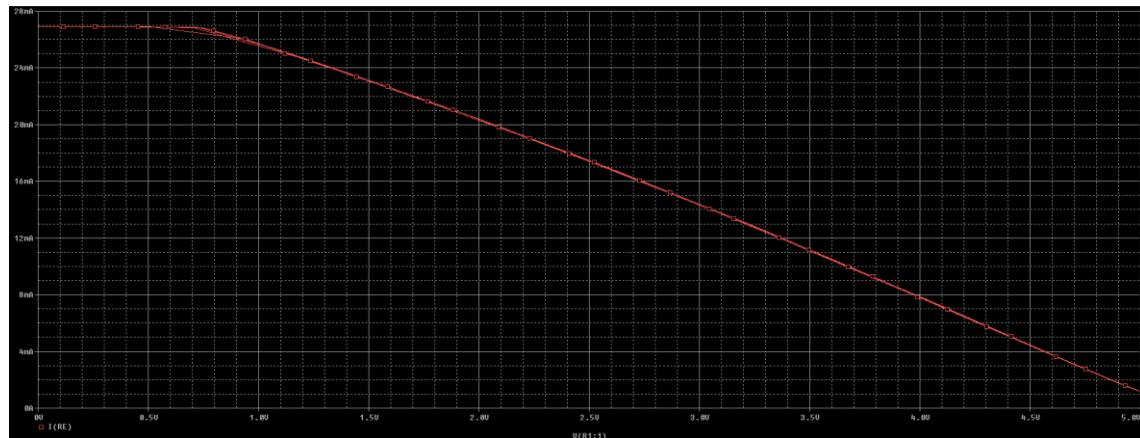


Figura 16 – Simulação de $I_{LED}=f(V_1)$ no PSpice

ii. Experimentação

De forma a ter certeza de que os LEDs estão a mudar o brilho como desejado e que as tensões também são as desejadas isolou-se o circuito, colocando no ponto onde estaria a saída do amplificador de instrumentação, ou seja na entrada deste circuito (V_1), colocou-se uma fonte de 5 V e verificou-se que os LEDs estavam desligados, de seguida retirou-se essa fonte, e os LEDs ligaram-se com o brilho máximo, exatamente como desejado. Podendo verificar as medições da tensão de saída do condicionamento de sinal (V_0) e o brilho dos LEDs nas seguintes figuras.

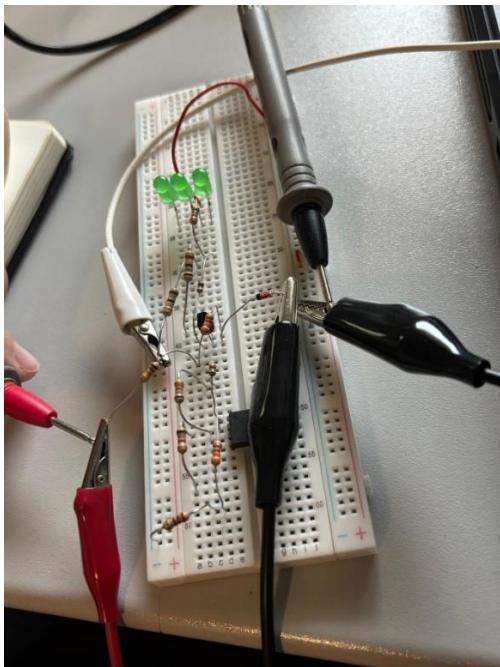


Figura 17 – Montagem do circuito quando $V_1=5V$



Figura 18 – V_0 quando

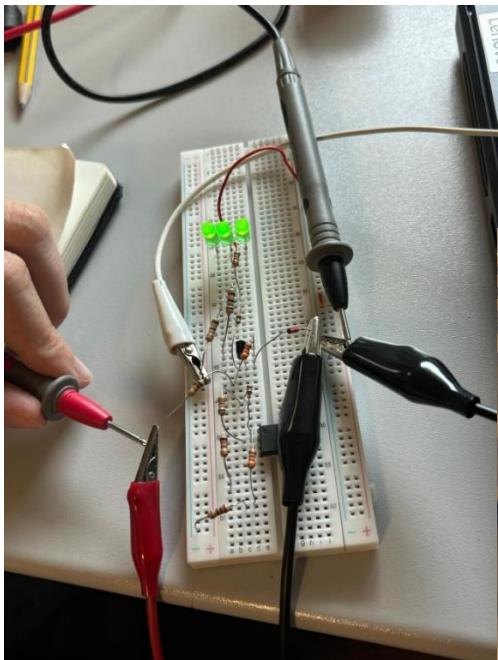


Figura 19 - Montagem do circuito quando $V_1=0V$
 $V_1=0V$



Figura 20 - V_0 quando

iii. Conclusão

Com os dois circuitos juntos controlou-se corretamente a corrente nos LEDs em função da tensão V_0 . O brilho variou de forma estável e progressiva, confirmando que o sistema se comporta conforme os cálculos e simulações realizados.

Em suma, o circuito respondeu adequadamente às variações de temperatura, cumprindo o objetivo do controlo de brilho.

4. Controlo de brilho do LED por tensão

a. Circuito Schmitt trigger

i. Dimensionamento

O circuito Schmitt Trigger foi utilizado para gerar o sinal PWM que controla o brilho dos LEDs. Este sinal é obtido comparando uma onda triangular (V_a) com a tensão de controlo V_1 , proveniente do amplificador de instrumentação. A principal vantagem da utilização do Schmitt Trigger é a introdução de histerese, evitando comutações indesejadas quando V_a se aproxima de V_1 .

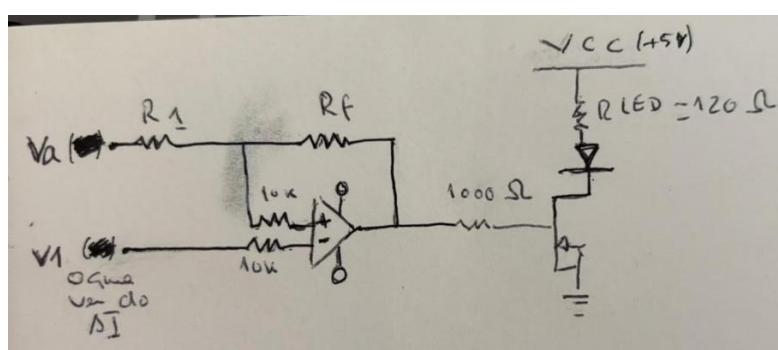


Figura 21- Circuito Schmitt trigger

O comportamento do circuito foi analisado utilizando a seguinte equação, $V_i = V_{CPO} \times ((RF+R1)/ RF) - (R1/RF) \times V_0$

1º caso

$$V_{0\text{ Atual}} = -15V \quad V_i > V_{CPL} \Rightarrow V_{0\text{ target}} = +15V$$

$$V_{CPH} = 2,545V$$

$$V_{CPO} \left(\frac{RF+R1}{RF} \right) - \frac{R1}{RF} \times V_{0\text{ Atual}} > V_{CPH}$$

$$2,5 \left(\frac{RF+R1}{RF} \right) - \frac{R1}{RF} \times (-15) > 2,545 \text{ (2)}$$

$$(2) 2,5 \times (1+A) - A \times 15 > 2,545 \text{ (2)}$$

$$(2) 2,5 + 2,5A - 15A > 2,545 \text{ (2)}$$

$$(2) 17,5A > 0,045 \text{ (2)}$$

$A = \frac{R1}{RF}$

Com estes cálculos garante-se uma histerese estável e adequada para o funcionamento do comparador schmitt. O resultado é um sinal V_{pwm} com razão cíclica variável em função da temperatura, usado para controlar o brilho dos LEDs por modulação por largura de impulso (PWM).

2º caso

$$V_{0\text{ Atual}} = +15V \quad V_i < V_{CPL} \Rightarrow V_{0\text{ target}} = -15V \quad V_{CPL} = 2,455V$$

$$V_{CPO} \left(\frac{RF+R1}{RF} \right) - \frac{R1}{RF} \times V_{0\text{ Atual}} < V_{CPL}$$

$$A = \frac{R1}{RF}$$

$$2,5 \left(1 + A \right) - 15A < 2,455 \text{ (2)}$$

$$(2) 2,5 + 2,5A - 15A < 2,455 \text{ (2)}$$

$$(2) -12,5A < -0,045 \text{ (2)}$$

$$(2) A > \frac{0,045}{12,5} \text{ (2)}$$

$$(2) \frac{R1}{RF} > \frac{0,045}{12,5}$$

Soluções Caso 1 - $\frac{R1}{RF} > \frac{0,045}{17,5}$ Caso 2 - $\frac{R1}{RF} > \frac{0,045}{12,5}$
 Escolher solução intermédia $\Rightarrow \frac{R1}{RF} = \frac{0,045}{15} \Rightarrow R1 = 820\Omega$ $RF = 270k\Omega$

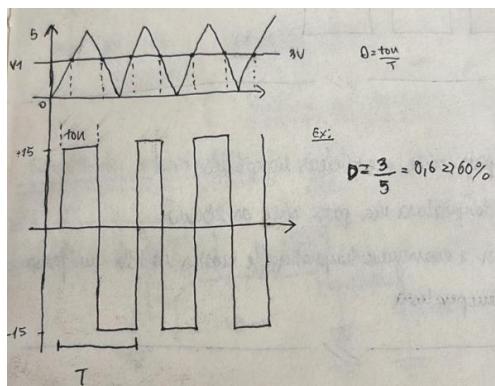


Figura 24- Exemplo do sinal PWM gerado

ii. Simulação

De forma a testar o circuito antes de o implementar em laboratório, de forma a diminuir os riscos de uma má montagem esta foi feita previamente no PSpice. Começou-se por desenhar o esquema do circuito, esquema este que pode ser visualizado na próxima figura.

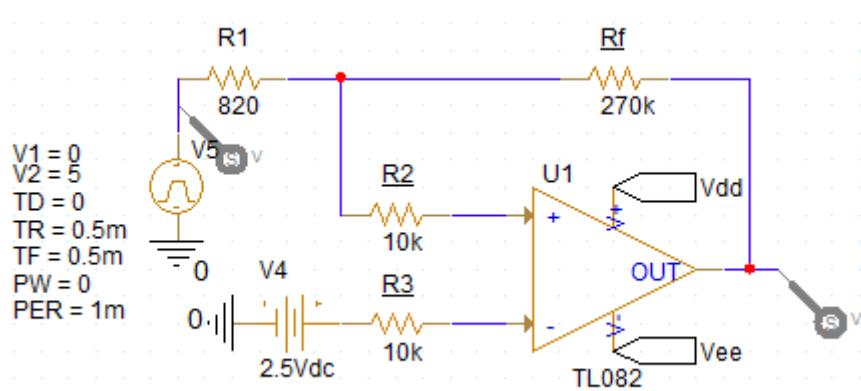


Figura 25 – Circuito do comparador Schmitt trigger no PSpice

Em seguida fez-se uma simulação em que se tem a tensão de saída (V_{pwm}) em função da tensão de entrada ($V1$), podendo então observar a função de transferência $V_{pwm}=f(V1)$ na figura seguinte.

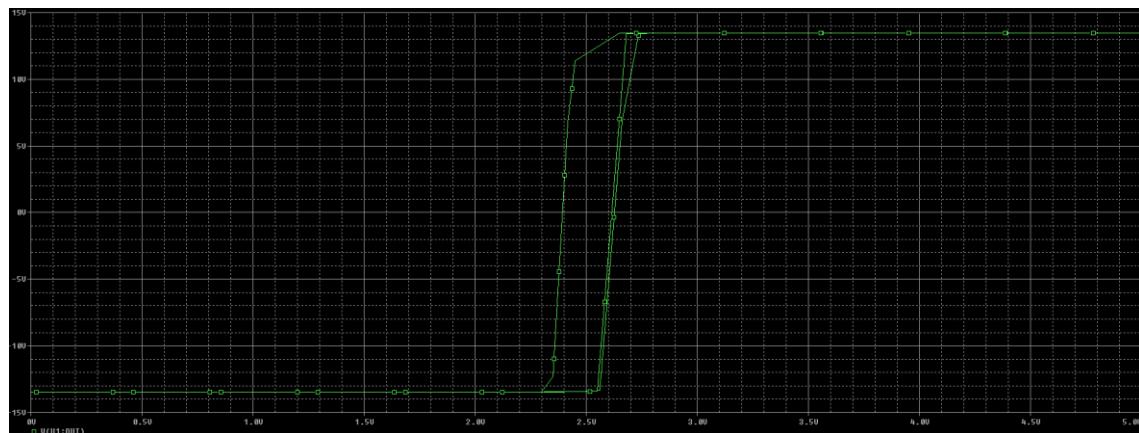


Figura 26 – Simulação de $V_{pwm}=f(V1)$ no PSpice

Fez-se também uma simulação no domínio do tempo (transiente) em que se pode observar, em simultâneo, a onda triangular e a onda PWM, como se pode ver na seguinte figura.

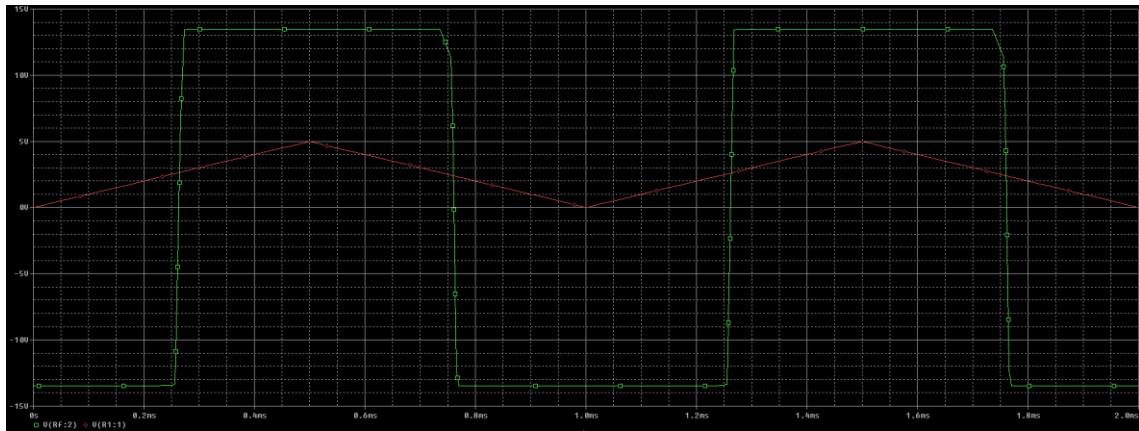


Figura 27 – Simulação das ondas triangular e PWM no PSpice

iii. Experimentação

Para verificar o correto funcionamento do circuito, mais concretamente, verificar se a histerese funciona como previsto, isolou-se o circuito, e onde estaria a saída do amplificador de instrumentação colocou-se 2,5 V e no local da onda triangular foi introduzida uma onda sinusoidal de amplitude de cerca de 2,5 vezes a histerese (V1), e verificou-se que é criada a onda PWM (Vpwm). Em seguida, foi colocado o osciloscópio em modo XY, para observar a histerese, visualizando então o gráfico $V_{pwm}=f(V_1)$. Conseguindo então observar as ondas sinusoidal e PWM, assim como a histerese nas seguintes figuras.

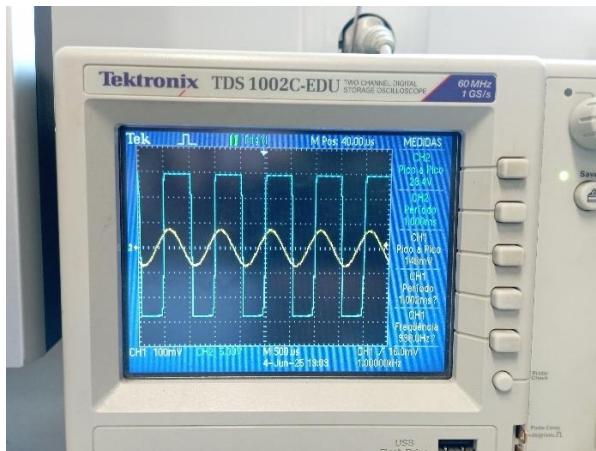


Figura 28 – Visualização das ondas sinusoidal e PWM em modo XY

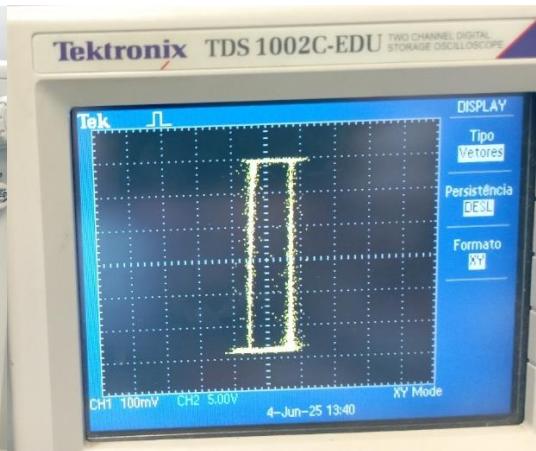


Figura 29 – Visualização da histerese em modo XY

iv. Conclusão

Após a realização dos cálculos, simulação e experimentação do circuito Schmitt Trigger, concluiu-se que o seu funcionamento está de acordo com o previsto. Através dos cálculos, foi possível determinar os pontos de comutação superiores e inferiores (V_{CPH} e V_{CPL}), garantindo uma histerese adequada ao funcionamento pretendido.

A simulação confirmou os valores teóricos, validando a escolha das resistências R1 e RF. Experimentalmente, utilizando o osciloscópio em modo XY, observou-se a variação correta do sinal V_{pwm} em função da tensão triangular V_a e da referência V₁, demonstrando que o circuito comuta entre os dois níveis de saída com estabilidade.

A razão cíclica do sinal PWM variou como esperado com a alteração de V₁, o que permite controlar o brilho dos LEDs de forma eficaz. Não foram observadas oscilações indesejadas nas transições, confirmando que a histerese introduzida é suficiente para garantir um bom funcionamento do sistema.

5. Utilização do LabVIEW para mostrar a temperatura

Para visualizar a temperatura medida no sistema, foi utilizado o LabVIEW. Como já existia um programa previamente desenvolvido em Arduino, que enviava os dados da temperatura através da porta Serial com Serial.println(), foi criado um programa em LabVIEW para receber e representar esses dados em tempo real.

O programa desenvolvido em LabVIEW utiliza o bloco VISA para estabelecer comunicação serial com o Arduino. Os dados recebidos são lidos, convertidos e apresentados num gráfico do tipo "Waveform Chart", que permite acompanhar a evolução da temperatura ao longo do tempo.

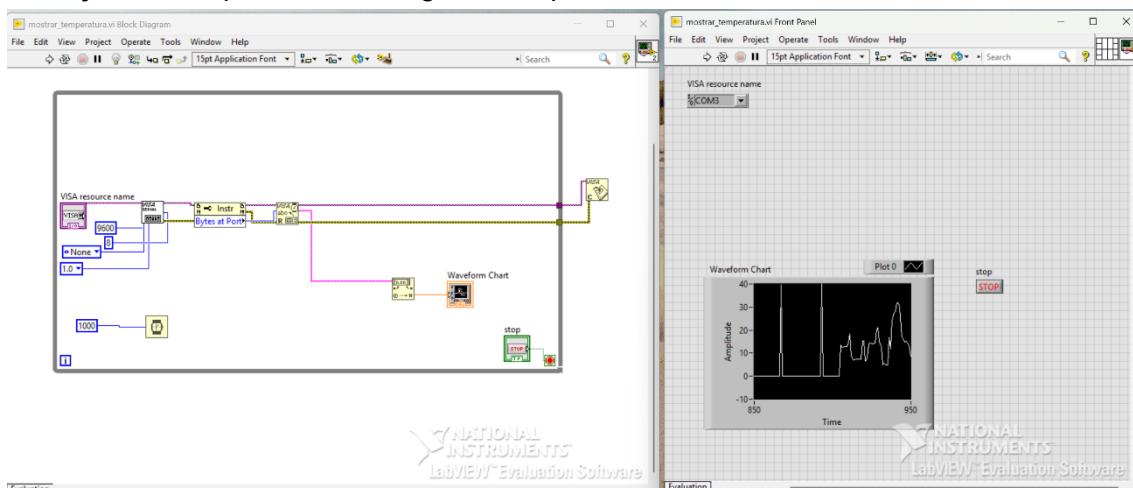


Figura 30- Programa desenvolvido em LabVIEW para visualização da temperatura

Esta aplicação mostrou-se funcional e eficaz na visualização da variável temperatura, permitindo validar visualmente o comportamento do sistema em tempo real.

6. Circuito final

Após o teste de todos os circuitos de forma isolada, juntou-se todos os circuitos, e, substituindo o NTC por um potenciômetro para simular a sua resistência, confirmou-se que todos os circuitos funcionavam como previsto, verificando a mudança de brilho dos vários LEDs com a alteração da resistência do potenciômetro, e observando também o gráfico no PC com a alteração devida da temperatura quando se altera também a resistência do potenciômetro. As seguintes figuras mostram os circuitos todos ligados entre si.

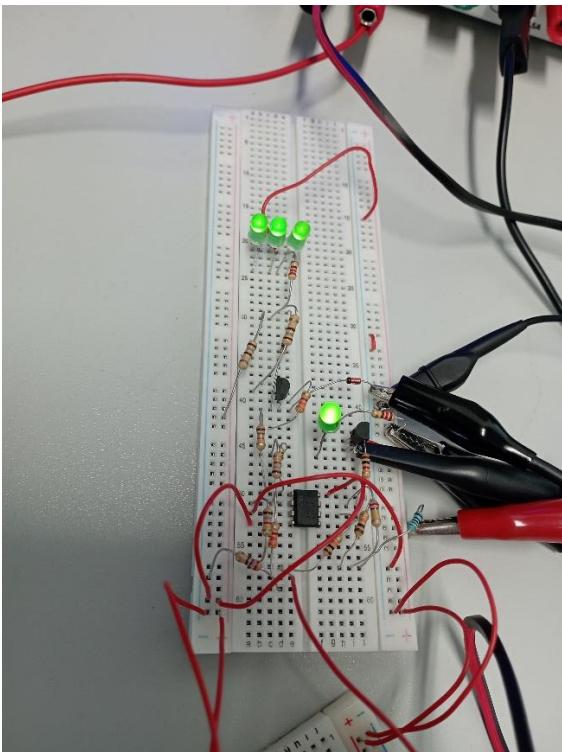


Figura 31 – Montagem dos circuitos de controlo de brilho previamente feito

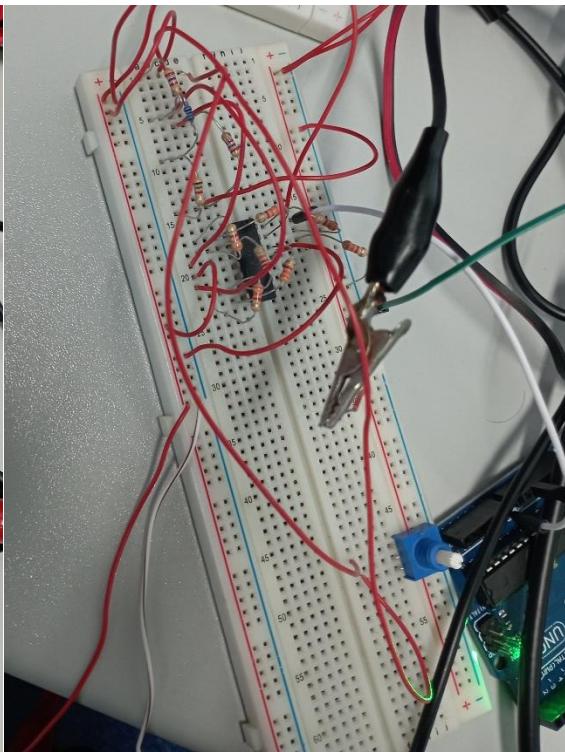


Figura 32 – Montagem do circuito

7. Conclusão

Ao longo do projeto foram implementados dois circuitos diferentes de controlo do brilho dos LEDs: um baseado no controlo da corrente e outro através de modulação por largura de impulso (PWM).

Comparando os dois circuitos, o controlo por corrente apresenta uma resposta mais linear e previsível, enquanto o controlo por PWM é mais eficiente e permite uma implementação mais simples com menos componentes.

Ambos os circuitos funcionaram bem, permitiram ajustar o brilho dos LEDs em função da temperatura. Embora não tenham surgido problemas relevantes durante a execução do projeto, a implementação prática validou todos os cálculos e simulações efetuados. Em suma os objetivos propostos foram atingidos.