

Instituto Superior de Engenharia de Lisboa
ISEL

Sensores e Atuadores

7º Trabalho Prático

Discentes:

Jorge Fernandes nº 39372

Docentes:

Manfred Niehus

Carlos Carvalho

Dezembro 2012

Lisboa

Índice

Objectivos da Actividade.....	3
Dimensionamento dos Circuitos	4
Circuito com o Termístor.....	4
Circuito com o LDR	7
Circuito com a Iluminação.....	8
Código a Implementar.....	12
Código genérico do Voltímetro	12
Código do Termómetro	14
Código do Medidor de Intensidade Luminosa	16
Cálculo do Valor de Duty-Cycle	16
Gerar o Sinal	17
Desligar a iluminação	18
Autómato	18
Código e Circuito completos	20
Código.....	20
Circuito Completo	21
Realização Prática.....	22
Dimensionamento dos circuitos na prática.....	22
Conclusões	28
Bibliografia	28

Objectivos da Actividade

Para este 7º trabalho prático foi de minha opção adoptar o projecto relativo ao primeiro tópico do enunciado.

Como efeito desenvolverei um sistema de iluminação inteligente para acender as luzes exteriores de uma moradia que deve obedecer às seguintes regras:

- i. As luzes devem acender ao anoitecer e apagar ao amanhecer, excepção feita quando se cumpre a regra ii.
- ii. No verão quando a temperatura for superior a 30 graus, as luzes não se acendem para não se fundirem com o excesso de calor.

Para tal, numa primeira abordagem pode verificar-se que a necessidade de utilizar sensores quer de temperatura, quer de luminosidade para a realização do projecto que me proponho desenvolver. Serão estes um termístor e um LDR, respectivamente.

Ambos são resistências de valor variável, pelo que serão criados divisores de tensão que possibilitem converter os valores de resistência respectivos à temperatura e luminosidade, em valores de potencial eléctrico.

Dimensionamento teórico

Tal como foi vagamente abordado nos objectivos, este circuito será constituído por três outros circuitos mais simples, independentes a nível de montagem.

São eles um divisor de tensão contendo o termístor a partir do qual se poderá determinar a temperatura ambiente; um divisor de tensão contendo o LDR a fim de determinar a luminosidade relativa e o circuito de iluminação. Abordaremos seguidamente cada um deles separadamente.

Dimensionamento dos Circuitos

Circuito com o Termístor

O circuito utilizado é em tudo idêntico ao desenvolvido no trabalho prático anterior. Esse converte a variação de resistência numa variação máxima de tensão na gama [0, 5]V, para uma variação de temperatura na gama [-15, 50] °C, à qual o termístor poderá vir a ser exposto. Neste 7º trabalho demonstrou-se de elevada importância distinguir o valor de 30°C, contudo, não havia necessidade de maximizar a variação de tensões para os valores próximos deste, pois o circuito desenvolvido anteriormente mostrou-se bastante preciso. Assim, poderemos saber qual a temperatura ambiente, numa gama de valores de temperatura mais vasta.

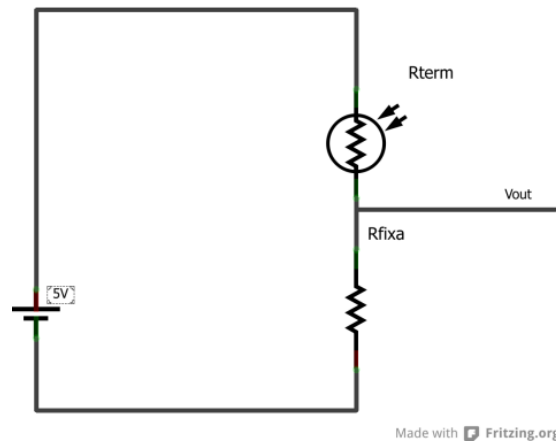
De modo a maximizar esta tensão, foi necessário recorrer ao datasheet do transístor de modo a saber a resistência correspondente a cada valor de temperatura.

T °C	R _{Termístor} (kΩ)
-15	15,9
0	7,9
10	4,4
20	2,7
25	2,2
30	1,8
40	1,2
50	0,79

Note-se que o valor de resistência diminui com o aumento da temperatura e que se pretende um divisor de tensão no qual o potencial eléctrico no nó entre a resistência fixa e o termístor deverá ser tanto maior quanto maior a temperatura do sistema. (V_{out} representado na próxima figura) Deste modo, ao valor de temperatura máximo deverá corresponder o valor de resistência mínimo e vice-versa.

Para que isto se verifique o termístor deverá surgir em primeiro na série de resistências.

O circuito terá o seguinte aspecto:



Assim, é possível calcular a diferença de potencial no divisor de tensão através da seguinte fórmula geral:

$$V_{out} = V_{fonte} \times \frac{R_{fixa}}{R_{fixa} + R_{term}} \Rightarrow V_{out} = \frac{5}{1 + \frac{R_{term}}{R_2}}$$

O objectivo ao dimensionar o circuito é maximizar a variação da gama de tensões V_{out} . Não se sabendo o valor de resistência fixa, terá que maximizar-se a variação de V_{out} em função da mesma.

Para tal, teremos que maximizar:

$$\Delta V_{out(R_{fixa})} = V_{R_{term}=0,79k\Omega} - V_{R_{term}=15,9k\Omega}$$

O máximo da função será encontrado no ponto onde $\frac{d\Delta V_{out}}{dR_{fixa}} = 0$.

Visto ser necessário fazer um dimensionamento com cálculos idênticos, deduziremos a formula geral através da qual poderemos determinar R_{fixa} para a qual o valor de ΔV_{out} é máximo.

$$\begin{aligned} \Delta V_{out} &= \frac{5 * R_{fixa}}{R_{fixa} + R_{min}} - \frac{5 * R_{fixa}}{R_{fixa} + R_{max}} \\ &= \frac{(5 * R_{fixa})(R_{fixa} + R_{max}) - (5 * R_{fixa})(R_{fixa} + R_{min})}{(R_{fixa} + R_{min})(R_{fixa} + R_{max})} \\ &= \frac{(5 * R_{fixa})^2 + 5 * R_{fixa} * R_{max} - (5 * R_{fixa})^2 - 5 * R_{fixa} * R_{min}}{(R_{fixa} + R_{min})(R_{fixa} + R_{max})} \end{aligned}$$

C.aux:

$$\Delta V_{out} = \frac{5 * R_{fixa} * (R_{max} - R_{min})}{(R_{fixa} + R_{min})(R_{fixa} + R_{max})}$$

$$(R_{fixa} + R_{min})(R_{fixa} + R_{max}) = R_{fixa}^2 + (R_{max} + R_{min})R_{fixa} + R_{max} * R_{min}$$

A partir desta expressão, calcularei a derivada de ΔV_{out} .

$$\frac{d\Delta V_{out}}{dR_{fixa}} = \left\{ \frac{5 * R_{fixa} * (R_{max} - R_{min})}{(R_{fixa} + R_{min})(R_{fixa} + R_{max})} \right\}'$$

$$= \frac{5(R_{max} - R_{min})(R_{fixa} + R_{min})(R_{fixa} + R_{max}) - [(R_{max} - R_{min}) * 5 * R_{fixa}](2R_{fixa} + R_{max} + R_{min})}{[(R_{fixa} + R_{min})(R_{fixa} + R_{max})]^2}$$

$$= \frac{5(R_{max} - R_{min})(R_{fixa} + R_{min})(R_{fixa} + R_{max}) - 5 * (R_{max} - R_{min}) * R_{fixa} * (2R_{fixa} + R_{max} + R_{min})}{[(R_{fixa} + R_{min})(R_{fixa} + R_{max})]^2}$$

$$= \frac{5(R_{max} - R_{min})[(R_{fixa} + R_{min})(R_{fixa} + R_{max}) - R_{fixa} * (2R_{fixa} + R_{max} + R_{min})]}{[(R_{fixa} + R_{min})(R_{fixa} + R_{max})]^2}$$

$$= \frac{5(R_{max} - R_{min})[R_{fixa}^2 + R_{fixa} * R_{max} + R_{fixa} * R_{min} + R_{min} * R_{max} - 2R_{fixa}^2 - R_{max} * R_{fixa} - R_{min} * R_{fixa}]}{[(R_{fixa} + R_{min})(R_{fixa} + R_{max})]^2}$$

$$= \frac{5(R_{max} - R_{min})[-R_{fixa}^2 + R_{min} * R_{max}]}{[(R_{fixa} + R_{min})(R_{fixa} + R_{max})]^2}$$

$$= \frac{-(5R_{max} - 5R_{min})R_{fixa}^2 + (5R_{max} - 5R_{min}) * (R_{min} * R_{max})}{[(R_{fixa} + R_{min})(R_{fixa} + R_{max})]^2}$$

$$= \frac{(5R_{min} - 5R_{max})R_{fixa}^2 + (5R_{max} - 5R_{min}) * (R_{min} * R_{max})}{[(R_{fixa} + R_{min})(R_{fixa} + R_{max})]^2}$$

Recordando que $\frac{d\Delta V_{out}}{dR_{fixa}} = 0$

$$\frac{(5R_{min} - 5R_{max})R_{fixa}^2 + (5R_{max} - 5R_{min}) * (R_{min} * R_{max})}{[(R_{fixa} + R_{min})(R_{fixa} + R_{max})]^2} = 0$$

$$\Leftrightarrow (5R_{min} - 5R_{max})R_{fixa}^2 + (5R_{max} - 5R_{min}) * (R_{min} * R_{max}) = 0$$

$$\Leftrightarrow R_{fixa}^2 = \frac{-(5R_{max} - 5R_{min}) * (R_{min} * R_{max})}{(5R_{min} - 5R_{max})}$$

$$\Leftrightarrow R_{fixa}^2 = \frac{-(5R_{max} - 5R_{min}) * (R_{min} * R_{max})}{-(5R_{max} - 5R_{min})}$$

$$\Leftrightarrow R_{fixa}^2 = (R_{min} * R_{max}) \Leftrightarrow R_{fixa} = \sqrt{R_{min} * R_{max}}$$

Neste caso, $R_{min} = 0.79k\Omega$ e $R_{max} = 15.9 k\Omega$. Assim:

$$R_{fixa} = \sqrt{R_{min} * R_{max}} \Rightarrow R_{fixa} = \sqrt{0.79 * 15.9} = \pm 3.544k\Omega$$

Como o valor de resistência é positivo, o valor de resistência fixa a usar é de cerca de 3544Ω .

Deste modo, optar-se-á pelo uso de uma série de 3 resistências de $1k\Omega$, uma de 472Ω e outra de 68Ω , somando uma resistência total de 3538Ω .

Circuito com o LDR

De modo a poder determinar a luminosidade relativa do ambiente no qual o sistema de iluminação se insere terá de se utilizar um componente fotossensível. Adoptar-se-á o componente NSL 4962, de modo a projectar um circuito com essa característica, que permita a conversão da variação da resistência do LDR numa variação de tensão na gama $[0, 5]V$.

Ao pesquisar os dados necessários para dimensionar o circuito, apenas foi possível encontrar o valor de resistência mínimo e máximos típicos, no datasheet do componente.

Estes eram $10 k\Omega$ e $24 k\Omega$.

Denotou-se ainda que o valor de dark resistance (resistência de uma célula de selénio ou outro componente fotoeléctrico em escuridão total) era de $10000k\Omega$. Daqui tornou-se possível deduzir que quanto maior a luminosidade menor o valor de resistência. Assim, analogamente ao sensor de temperatura, o LDR terá de ser colocado junto do terminal de maior tensão da fonte de modo a que quanto maior a luminosidade, maior o valor V_{out} . Optou-se por esta relação luminosidade-tensão por aparentar ser mais intuitiva a compreensão da mesma relação assim.

Verificou-se ainda que valores de $10 k\Omega$ e $24 k\Omega$ (mínimo e máximo típicos) não teriam interesse para o fim destinado, pois eram valores típicos para situações de luminosidade. Sendo de conveniência a sensibilidade a situações de penumbra, foi necessário medir os valores máximo e mínimo de resistência do LDR nestas condições, de modo a poder maximizar a variação de tensão para o intervalo a definir.

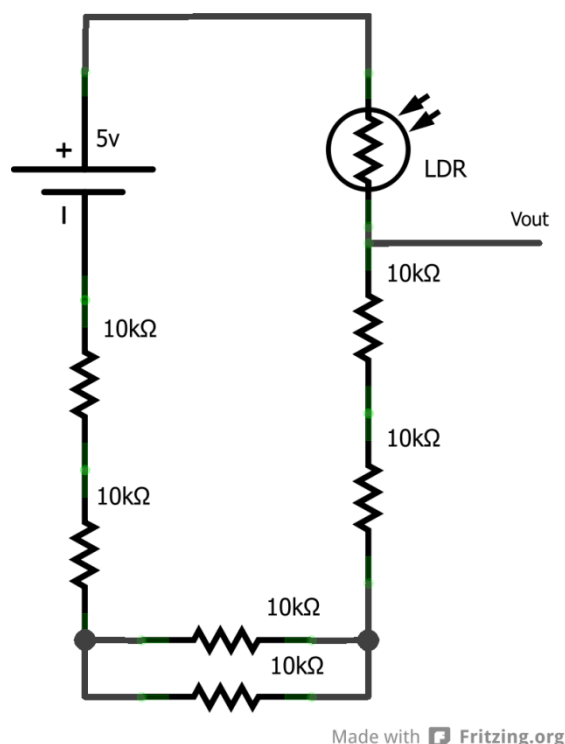
Verificou-se que aquando exposto à luminosidade em que deveria começar a acender o sistema de iluminação exposto posteriormente, o valor de resistência do LDR era de $24k\Omega$ e na situação em que o circuito deveria de ter as luzes completamente acesas, a resistência tomava um valor de $55,3k\Omega$.

Maximizou-se assim a variação de tensão para o intervalo referido, através da fórmula deduzida anteriormente. Assim:

$$R_{fixa} = \sqrt[2]{R_{min} * R_{max}} \Rightarrow R_{fixa} = \sqrt[2]{24 * 55.3} = \pm 36.63k\Omega$$

Sendo que uma resistência toma sempre valor positivo, adoptou-se um valor de resistência total de 36,5 k Ω . Neste caso não se torna relevante a diferença entre o valor calculado e o adoptado, pois os valores nos quais a luz acende ou apaga serão determinados posteriormente, tendo em conta este arredondamento.

Dando por terminado o dimensionamento do circuito com o LDR, este terá o seguinte aspecto:



Circuito com a Iluminação

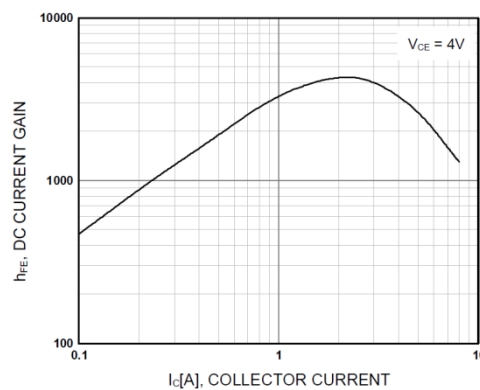
Para o circuito de iluminação foram consideradas diversas soluções. Numa primeira abordagem pensou colocar-se os leds em série nas saídas digitais do Arduino. Contudo, estas saídas apenas poderão fornecer no máximo 5V de potencial eléctrico. Para além disso, para alterar o número de lâmpadas teria de se alterar o código de modo a aumentar ou diminuir o número de portas de saída do sinal a acender os leds.

Revelou-se ainda de significativa importância o facto de a solução adoptada dever ser apropriada para ajustar a um circuito de iluminação de habitação, cujas lâmpadas necessitarão certamente de bastante mais tensão. Para tal, o Arduino não se demonstra suficiente para alimentar o circuito real a construir na habitação do Senhor Joaquim.

Tomando em conta estes factores, concluiu-se que o sinal de saída do Arduino deveria apenas dar indicação de quando acender a iluminação e apagar, não sendo da competência do Arduino alimentar o circuito de iluminação.

Demonstrou-se notável assim o uso de um transistor bipolar, TIP 120, que colocará o circuito ao corte quando a tensão do sinal de saída do Arduino for 0V e fechará o circuito quando esta tensão for 5V. Tendo-se em mente criar um sinal de saída do Arduino do tipo PWM, o transistor bipolar funcionará como um interruptor, controlando a intensidade da corrente do mesmo.

A corrente máxima nos Leds é de 20mA. Do datasheet do transistor analisou-se o seguinte gráfico:

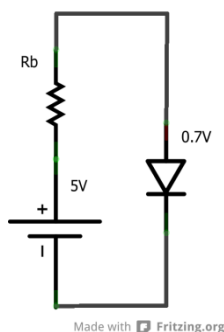


Da análise do mesmo pode verificar-se que o menor valor de corrente no colector que o transistor consegue fazer fluir é de 100mA, para o qual o ganho é de cerca de 470. Dimensionar-se-á o circuito para este valor.

Para o mesmo $\begin{cases} I_c = 100mA \\ h_{FE} = 470 \end{cases}$. Sabe-se ainda que $h_{FE} = \frac{I_c}{I_b} \Leftrightarrow I_b = \frac{I_c}{h_{FE}}$

$$\text{Neste caso } I_b = \frac{100mA}{470} = 0,213mA$$

Circuito a resolver:



O transistor entre o colector e a base é equivalente a um díodo.

Assim:

$$I_b = \frac{V_{\text{signal}} - V_{be}}{R_b} \Leftrightarrow R_b = \frac{V_{\text{signal}} - V_{be}}{I_b}$$

$$R_b = \frac{5 - 0.7}{0,212mA} = 20,28k\Omega$$

Com este valor de resistência, quando o sinal do PWM de saída do Arduino tiver tensão de 5V, a intensidade de corrente no colector

será de 100mA, e quando tiver tensão numa, o fluxo de corrente será também nulo.

Contudo, seria conveniente ter um fluxo de corrente de intensidade constante quando o sinal PWM de saída do Arduino é 5V, dado que a intensidade luminosa dos LED's é controlada em função do valor de duty-cycle do sinal PWM e não da intensidade de corrente do mesmo. Considerou-se assim outro esquema de montagem para o circuito abordado.

Para que o referido se suceda, terá que colocar-se a resistência entre o *Emitter* e a massa. Pela lei das malhas:

$$0 = 5V - 0,7V - V_R \Leftrightarrow V_R = 4,3V$$

Pela lei de Ohm:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{4,3V}{0,1A} = 43\Omega$$

Resta agora arranjar uma solução para dispor o circuito com os LEDs. Sabendo-se que $\begin{cases} I_c = 100mA \\ I_{LED_{max}} = 20mA \end{cases}$ poderá fazer-se um paralelo de LEDs de modo a que por cada um passe 20mA de corrente. Torna-se útil o uso de um divisor de corrente também pelo facto de para colocar todos os LEDs em série, ser necessário um valor de tensão na fonte muito elevado, o que complicaria a construção prática do circuito.

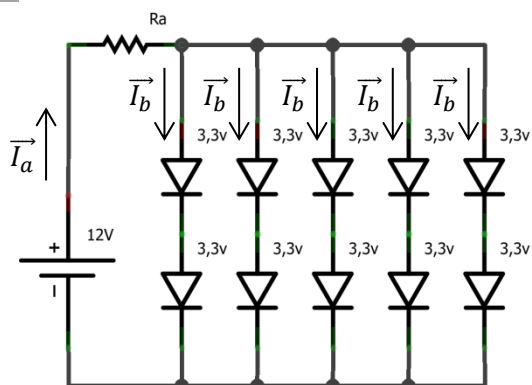
Sendo a Potência dissipada dada por $P = U * I$, é-nos conveniente ao dimensionar o circuito, minimizar a tensão dissipada no transistor. A diferença de potencial em cada LED é de 3,3V. Experimentar-se-ão ainda valores V_{fonte} Possíveis de se obter com séries de pilhas.

As opções são as seguintes:

	V_{fonte}	$N^o \text{ de LEDs}$	$V_{LEDs} = N^o \text{ de LEDs} * 3,3V$	$V_{CE} = V_{fonte} - V_{LEDs} - V_{Resistência}$
1	7,5V	1	3,3V	-0,1V
2	9V	1	3,3V	1,4V
3	10,5V	1	3,3V	2,9V
4	12V	2	6,6V	1,1V
5	13,5V	2	6,6V	2,6V
6	15V	3	9,9V	10,8V

Sendo $I_c = 100mA$ e $I_{LED_{max}} = 20mA$, pode fazer-se um paralelo de cinco LEDs ou de cinco séries de LEDs idênticos.

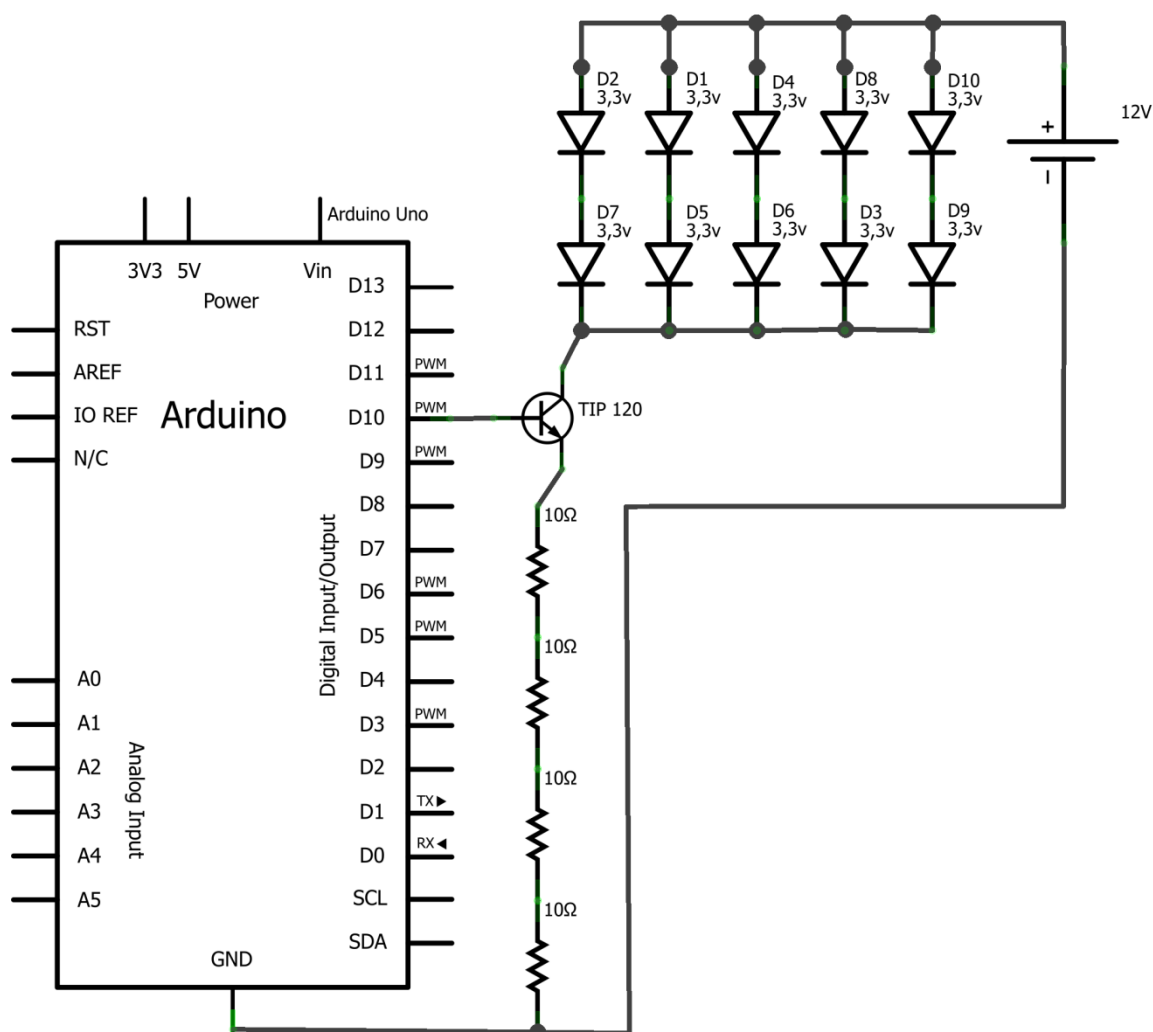
Pretendendo-se acender 10 LEDs, será conveniente optar pela solução número 4 da tabela anterior, pois é a opção na qual são considerados 10 LEDs no circuito onde a dissipação de energia no transistor é menor. O circuito simplificado terá o seguinte aspecto:



$$\begin{cases} R_a = 40\Omega \\ I_a = 0.1075A \approx 0.1A \\ I_a \approx 20mA \end{cases}$$

Relembra-se que a solução adoptada foi pensada de modo a que sempre que se pretenda efectuar alterações ao sistema de iluminação, baste dimensionar o mesmo, isoladamente do código implementado e dos outros circuitos interligados ao Arduino. Foi para esse fim que se pensou neste circuito com alimentação independente do Arduino.

O esquema do circuito de iluminação completo é o seguinte:



Código a Implementar

Código genérico do Voltímetro

Visto que os circuitos com os sensores são divisores de tensão, terá que se implementar um voltímetro no Arduino. Abordar-se-ão adiante os princípios de funcionamento e a construção do mesmo.

Terá que se recorrer ao conversor analógico-digital do Arduino, de modo a obter o valor de tensão lido numa das portas analógicas do Arduino, convertido em código binário.

Sabemos ainda que o conversor analógico-digital do Arduino é de 10 bits, concluindo-se que dele resultam valores entre 0 e $2^{10}-1$. Este valor varia assim entre 0 e 1023.

Fazendo-se a leitura do valor analógico correspondente à tensão no ponto pretendido, através do Arduino, poderemos obter o valor em código binário que pretendemos converter em diferença de potencial.

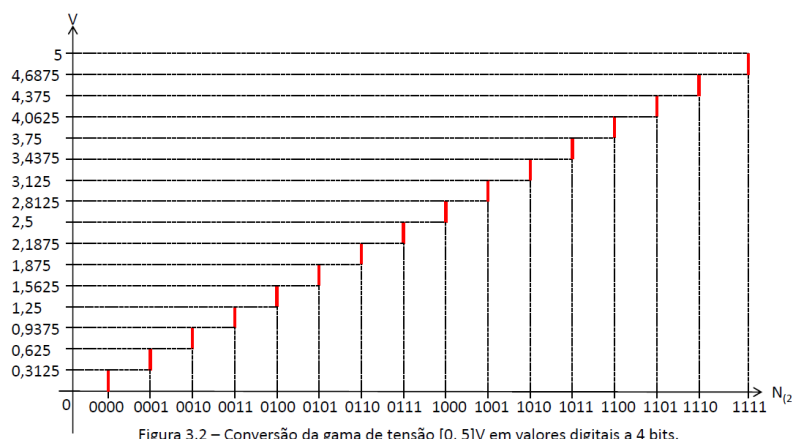


Figura 3.2 – Conversão da gama de tensão [0, 5]V em valores digitais a 4 bits.

O gráfico de tensão em relação ao valor binário obtido na actividade será idêntico a apresentado anteriormente. Diferencia-se apenas no facto de o Arduino ser um conversor de 10 bits e deste modo, o eixo da variável independente ter bastantes mais valores (1023 no caso do conversor de 10 bits). Assim, poderá obter-se uma maior divisão da escala de tensões, lidando-se com um voltímetro mais exacto do que se fosse um conversor de 4 bits como o da figura. Obteremos assim uma maior divisão da escala de tensões, sendo o valor de sensibilidade máxima de:

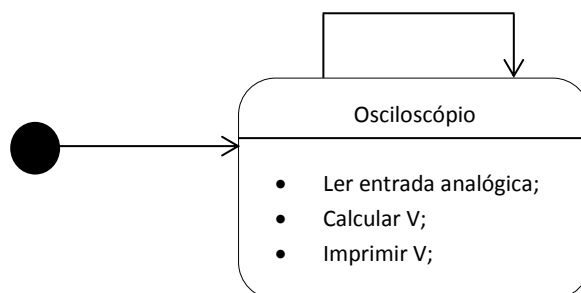
$$\frac{5v}{2^{10} - 1} = 0.0049v$$

Observando-se que a relação entre a tensão lida e o número binário obtido é de proporcionalidade directa, poderemos calcular a razão de proporcionalidade de modo a fazer a conversão de valores binários para valores de tensão de modo mais simples.

$$v_{out} = \frac{analogRead(porta) * 5}{1023}$$

Tem-se neste ponto todos os conhecimentos necessários para a construção do código do voltímetro. Sumariamente, basta fazer a leitura do valor analógico duma porta analógica à escolha e converter esse valor em tensão através da expressão anteriormente exposta.

Segue-se o diagrama UML e o código criado para a implementação do voltímetro.



```
//Definir Variáveis
```

```
float adc;
```

```
float voltage;
```

```
//Inicialização:
```

```
void setup(){
```

```
  Serial.begin(9600);
```

```
  pinMode(A0, INPUT);
```

```
}
```

```
//Definição das actividades
```

```
void Osciloscopio(){
```

```
  adc=analogRead(A0);
```

```
  voltage=adc*5/1024;
```

```
  Serial.println(voltage);
```

```
  delay(100);
```

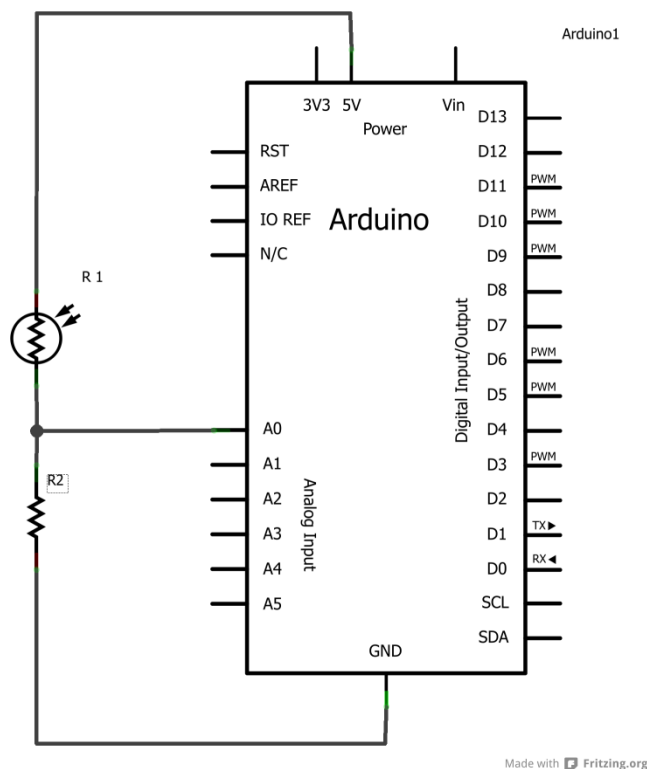
```
}
```

```
void loop(){
```

```
  Osciloscopio();
```

```
}
```

Observa-se na página seguinte o esquema de montagem do voltímetro genérico, de modo a calcular o potencial eléctrico na entrada analógica número 0 do Arduino.



Código do Termómetro

Tomando como base o voltímetro, pode converter-se os valores de tensões medidas em valores de temperatura, de modo a fazer a monitorização do circuito.

Recorreu-se ao datasheet do componente de modo a obter a relação entre resistência do componente e a temperatura ao qual este está exposto. Essa relação encontra-se abaixo, na qual A1,B1,C1 e D1 são constantes que dependem do componente e R_{ref} é o valor de resistência à temperatura de referência (25oC). T é dada na escala de kelvin.

$$T(R) = \left(A_1 + B_1 \ln \frac{R}{R_{ref}} + C_1 \ln^2 \frac{R}{R_{ref}} + D_1 \ln^3 \frac{R}{R_{ref}} \right)^{-1}$$

No datasheet pode encontrar o valor das constantes. Esses são:

Constante	Valor
A1	3.354016E-03
B1	2.884193E-04
C1	4.118032E-06
D1	1.786790E-07
Rref	2200Ω

Com os dados obtidos até ao momento basta apenas saber a resistência do termístor para determinar a temperatura do sistema. Este valor será variável. Assim, terá de encontrar-se um modo de determinar a resistência do termístor no momento da medição.

Pela lei de ohm $R = \frac{U}{I}$

Pela lei das malhas sabemos que $V_{termistor} = 5V - V_{out}$

Assim poderá calcular-se a Intensidade de corrente no circuito através de $I = \frac{V_{out}}{R_{fixa}}$ e consequentemente, calcular a resistência do termístor através da seguinte expressão:

$$R_{term} = \frac{5 - V_{out}}{I} = \frac{5 - V_{out}}{\frac{V_{out}}{R_{fixa}}}$$

Neste ponto fez-se a abordagem de todas as grandezas e contantes necessária para determinar a temperatura na escala de Kelvins. Será conveniente ainda converter os valores de temperatura obtidos da escala Kelvin para Celcius através de $T(^{\circ}C) = T_k - 273.15$.

No código, achou-se pertinente fazer todos estes cálculos de forma separada e declarar os valores de constantes inicialmente, associando-os a variáveis, de modo a tornando-se mais fácil lidar com as expressões.

Segue-se o código relativo à actividade Termometro:

```
void Termometro(){
    adcTERM=analogRead(A0);
    voltageTERM=adcTERM*5/1024;
    I=voltageTERM/Rfix;
    Rterm=(5-voltageTERM)/I;
    Tkel=pow(A+B*log(Rterm/R25c)+C*pow(log(Rterm/R25c),
2)+D*pow(log(Rterm/R25c), 3), -1);
    Tc=Tkel-273.15;
    Serial.print(Tc);
    Serial.println(" C");
}
```

A actividade Termometro consiste em fazer a leitura do valor da entrada analógica, converte-lo em tensão, e calculando todas as grandezas necessárias, proceder ao cálculo da temperatura, imprimindo o valor na consola.

Código do Medidor de Intensidade Luminosa

Dado que o valor de intensidade luminosa não tem nenhuma grandeza definida para a qual se possa converter os valores de tensão medidos, poderemos fazer a análise dos resultados das medições tomando-os como valores relativos comparáveis a valores de referência definidos aquando a realização do dimensionamento do circuito. Para tal, a actividade que determina a intensidade luminosa relativa poderá ter apenas como base o voltímetro.

O código que define esta actividade será o seguinte:

```
void VoltmetroLDR(){  
    adcLDR=analogRead(A1);  
    voltageLDR=adcLDR*5/1024;  
    Serial.println(voltageLDR);  
}
```

Cálculo do Valor de Duty-Cycle

Aquando a realização do presente trabalho, observou-se que a transição entre a luz estar acesa e apagada deveria ser graduar, de modo a que na situação limite entre os dois estados a luz não permanecesse intermitente. Assim, de modo a tornar a transição entre os dois estados suave, e de modo a poupar energia, pois não se justifica acender os LEDs a intensidade máxima numa situação de penumbra, definir-se-á uma gama de luminosidades na qual o sinal é um PWM cujo valor de duty-cycle aumenta à medida que a luminosidade diminui.

De modo a emitir o sinal PWM através do Arduíno recorreu-se à função `digitalWrite(pino, valor)`, cujos pinos podem ser os pinos digitais 3, 5, 6, 9, 10, 11 e valor pode ser qualquer valor entre 0 e 255, correspondente ao valor de duty-cycle.

Deste modo existe a necessidade de fazer corresponder o valor de tensão medida no circuito com o LDR aquando começar a acender o sistema de iluminação com o valor 0 a colocar na função, e fazer corresponder o valor de tensão aquando o sistema deverá estar a intensidade luminosa máxima com o valor de 255 a inserir na função. A função a determinar deverá também fazer corresponder uma variação gradual de tensões entre a tensão na qual o sistema liga os LEDs e a situação na qual estes trabalham a intensidade máxima.

A correspondência de tensão, valor a inserir na função e duty-cycle nas situações limite é a seguinte:

$V_{out\ LDR}$	Valor	Duty-cycle
4V	255	100%
4,63V	0	0%

Pretendendo-se relacionar a tensão medida com o valor a inserir na função através duma relação do tipo $y = mx + b$, o declive da recta será:

$$m = \frac{255-0}{4-4.63} = -404.76$$

Poderá calcular-se b com um dos valores da situação limite:

$$Valor = -404.76 * V_{LDR} + b$$

$$0 = -404.76 * 4.63 + b \Leftrightarrow b = 1874.04$$

A relação será:

$$Valor = -404.76 * V_{LDR} + 1874.04$$

Contudo, os valores obtidos terão de estar compreendido entre 0 e 255. Para tal, usar-se-à a função `constrain(x, a, b)`, na qual x é o valor, a o mínimo do intervalo e b o máximo.

O código completo da actividade é o seguinte:

```
void calcularDuty(){
    ValorPWM=constrain(-404.76*voltageLDR+1874.04,0 , 255);
    Serial.print("Valor PWM=");
    Serial.println(ValorPWM);
}
```

Gerar o Sinal

A fim de gerar o sinal PWM, é suficiente utilizar a função `digitalWrite(pino, valor)`, já explicada no tópico anterior.

O código da actividade responsável por gerar o sinal é o seguinte:

```
void gerarPWM(){
    analogWrite(luzes,ValorPWM);
}
```

Desligar a iluminação

A fim de desligar a iluminação, quando o meio estiver a uma temperatura superior a 30°C, é suficiente anular o valor correspondente ao sinal PWM a inserir na função `digitalWrite(pino, valor)`.

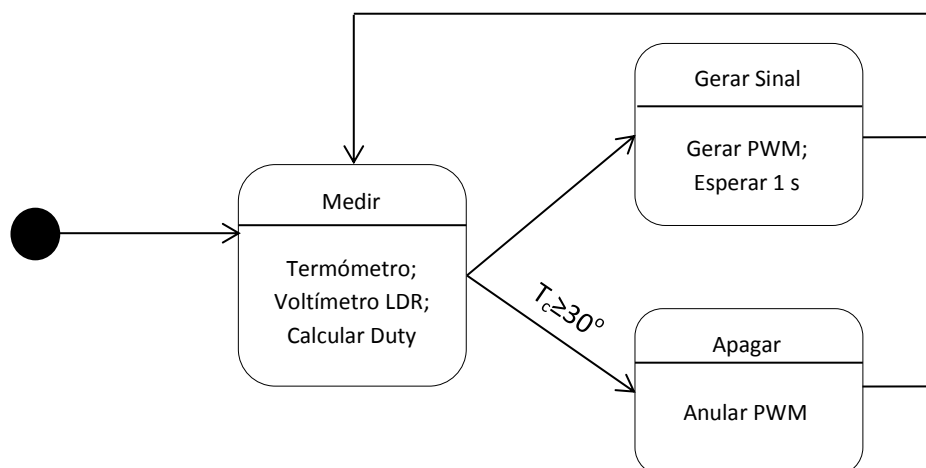
Apresenta-se abaixo o código da actividade.

```
void anularPWM(){  
    ValorPWM=0;  
}
```

Autómato

O autómato será o responsável por definir a transição entre estados e as condições que faram estas transições ocorrerem ou não.

O UML a implementar no autómato é o seguinte:



O código do autómato apresenta-se na página seguinte.

```
void Administrador(){  
    switch (estado) {  
        case Medir:  
            Termometro();  
            VoltmetroLDR();  
            calcularDuty();  
            if(Tc>=30){  
                estado=Apagar;  
            }else{  
                estado=GerarSinal;  
            }  
            break;  
        case Apagar:  
            anularPWM();  
            estado=GerarSinal;  
            break;  
        case GerarSinal:  
            gerarPWM();  
            delay(1000);  
            estado=Medir;  
            break;  
    } // fecho do switch  
} // fecho do método
```

Código e Circuito completos

Código

```
/////LDR
#define Medir 0
#define Apagar 1
#define GerarSinal 2

//Definir Variáveis
float adcLDR;
float voltageLDR;
float adcTERM;
float voltageTERM;
float A;
float B;
float C;
float D;
float I;
float Rfix;
float R25c;
float Rterm;
float Tkel;
float Tc;
int luzes;
int estado;
float ValorPWM;

//Inicialização:
void setup(){
  Serial.begin(9600);
  pinMode(A1, INPUT);
  pinMode(A0, INPUT);
  A=3.354016E-03;
  B=2.884193E-04;
  C=4.118032E-06;
  D=1.786790E-07;
  Rfix=3544;
  R25c=2200;
  estado=Medir;
  luzes=10;
  pinMode(luzes, OUTPUT);
}

//Definição das actividades
void VoltmetroLDR(){
  adcLDR=analogRead(A1);
  voltageLDR=adcLDR*5/1024;
  Serial.println(voltageLDR);
}

void Termometro(){
  adcTERM=analogRead(A0);
  voltageTERM=adcTERM*5/1024;
  I=voltageTERM/Rfix;
  Rterm=(5-voltageTERM)/I;

  Tkel=pow(A+B*log(Rterm/R25c)+C*pow(log(Rterm/R25c),
2)+D*pow(log(Rterm/R25c), 3), -1);
  Tc=Tkel-273.15;
  Serial.print(Tc);
  Serial.println(" C");
}

void calcularDuty(){
  ValorPWM=constrain(-
404.76*voltageLDR+1874.04,0 , 255);
  Serial.print("Valor PWM=");
  Serial.println(ValorPWM);
}

void anularPWM(){
  ValorPWM=0;
}

void gerarPWM(){
  analogWrite(luzes,ValorPWM);
}
```

```
void loop(){
  Administrador();
}
```

Realização Prática

Dimensionamento dos circuitos na prática

Aquando a realização prática do trabalho, pode verificar-se o bom funcionamento de todos os circuitos e códigos expostos no dimensionamento teórico, destacando-se a alteração dos valores de Duty-Cycle em função da luminosidade.

A única grandeza cuja diferença entre o esperado e o obtido é susceptível de se apontar é a intensidade de corrente máxima no *Collector*. O valor para o qual o circuito foi dimensionado era de uma intensidade de corrente de 100 mA contudo, obteve-se um fluxo de 110mA. Este facto não é prejudicial ao sistema, pois os LEDs suportam até 30mA de intensidade de corrente.

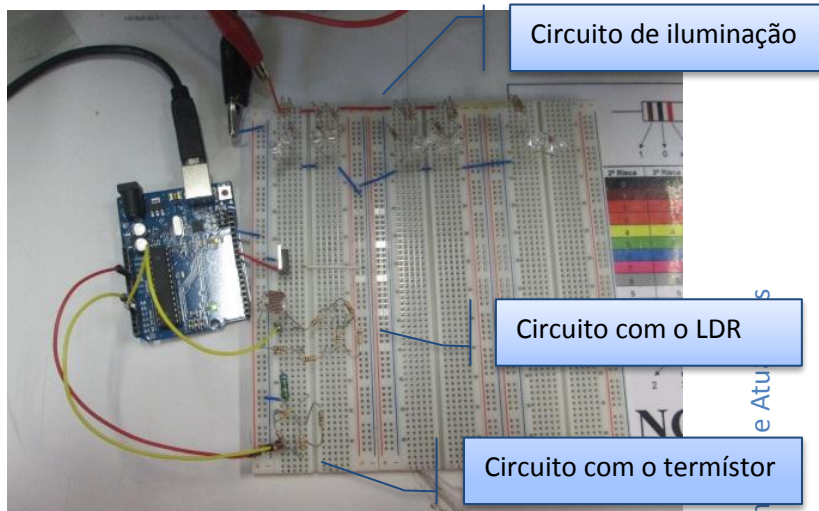
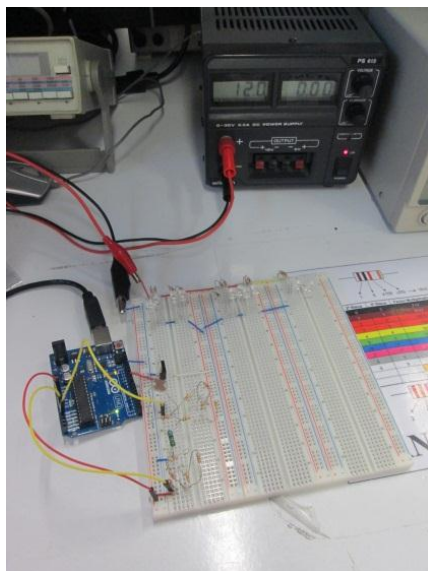
O erro não é significativo, podendo apontar-se que a causa do mesmo fora ter-se aproximado o valor de resistência dimensionada.

Com uma resistência de 40Ω para uma queda de potencial de 4,3V, $I = 0.1075\text{mA} \cong 0.11\text{mA}$.

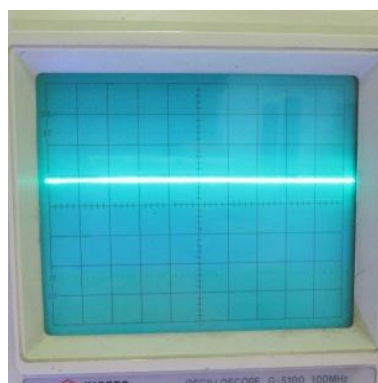
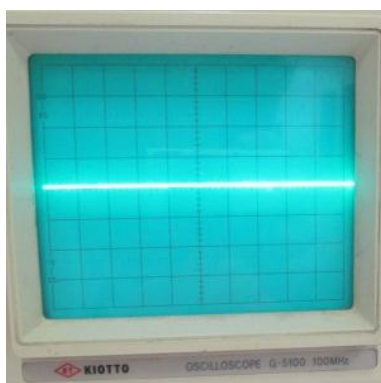
Apresentar-se-ão abaixo as imagens registadas aquando a experimentação do circuito.

Na primeira imagem pode denotar-se o bom funcionamento do transístor como resposta a um correcto sinal de PWM numa situação de boa iluminação. Neste caso, a corrente no circuito de iluminação é de 0mA.

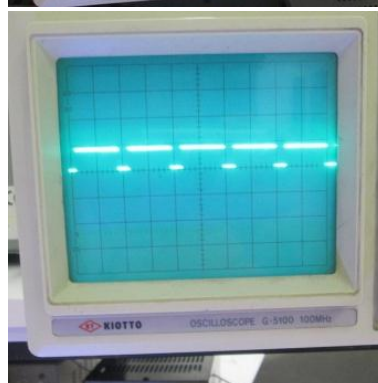
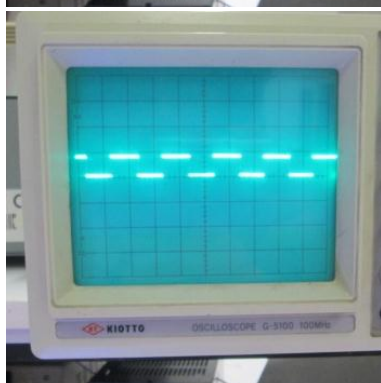
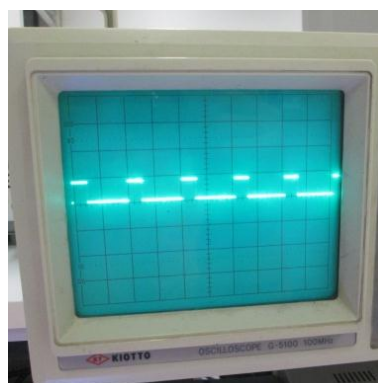
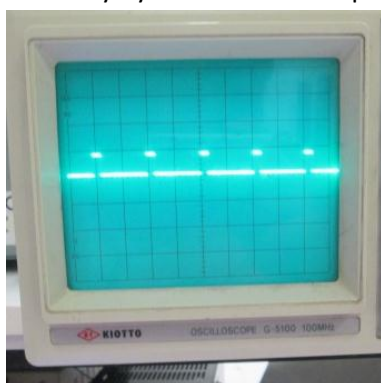
Tanto na primeira como na segunda fotografia se pode observar a montagem real do circuito.



Nas duas imagens seguintes poderá observar-se o sinal PWM em situação de grande luminosidade e em situação de muito fraca iluminação, na imagem da esquerda e na da direita, respectivamente. Poderemos verificar que em concordância com o convencionado no dimensionamento teórico, o sinal tem uma tensão quer de 0V quer de 5V na respectiva situação.



Nas restantes imagens do sinal PWM de saída do arduino poderemos observar a Variação do duty-cycle do mesmo dependendo da intensidade luminosa.



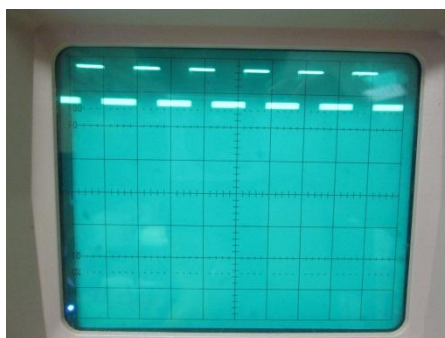
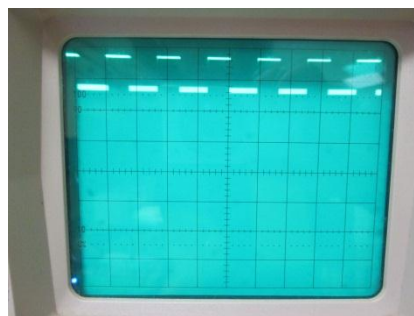
Nas imagens seguintes poderemos verificar o bom funcionamento do transistor bipolar em conformidade com o sinal PWM no Gate, para diferentes luminosidades.

A escala do eixo das tensões é de 2V.

Conforme o dimensionamento teórico, a tensão no *Collector* é a soma da queda de tensão nas resistências do circuito de iluminação com a queda de tensão entre o *Collector* e o *Emitter*. Haverão assim duas situações:

- Circuito ao corte: Tensão no Collector é 9V;
 - Não há queda de tensão na resistência, pois não há corrente. A queda de tensão no transistor é os 9V;
- Circuito em condução: 5.8V;
 - 4,4V relativos à queda de potencial nas resistências ($V = R * I = 40\Omega * 0.11A = 4,4V$) e 1.4V da queda de potencial entre o *Collector* e o *Emitter*, pois, pela lei das malhas: $0 = 12V - 6.6V - 4V - V_{CE}$.

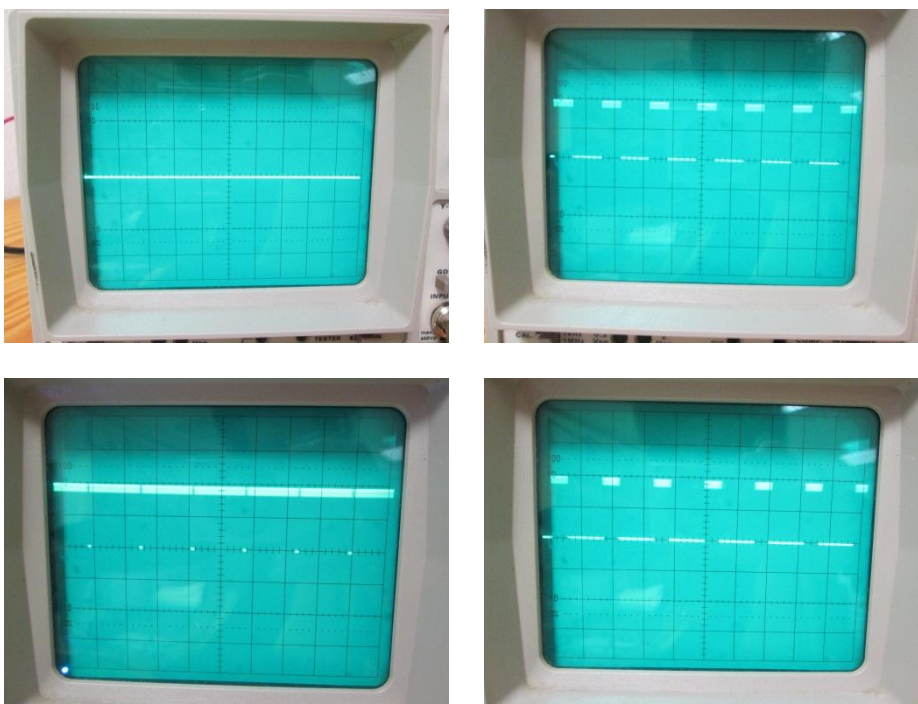
Conforme se pode verificar através das imagens seguintes, o resultado foi próximo do esperado.



A tensão no *Emitter* deverá ter valor:

- 0V quando o circuito está ao corte;
 - Não há queda de tensão na resistência, pois não há corrente;
- 4,4V quando o circuito está em condução;
 - Relativos à queda de potencial nas resistências, pois a queda de potencial é dada por: $U = R * I = 40\Omega * 0.11A = 4,4V$.

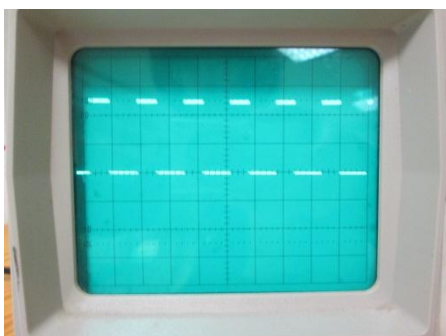
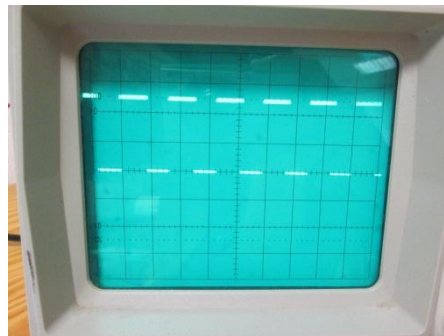
Estes valores foram verificados experimental, comprovando-se pelas imagens seguintes:



Podemos ainda verificar nas próximas imagens a tensão na *Base*, que deverá ser:

- 0V quando o circuito está ao corte;
 - Pois o sinal do PWM tem tensão 0V;
- 5V quando o circuito está em condução;
 - Pois o sinal do PWM tem tensão 5V;

O mesmo pode também ser verificado nas primeiras imagens de representações de sinais obtidas em osciloscópio presentes nesta secção do presente relatório, com uma escala de tensão de 5V.

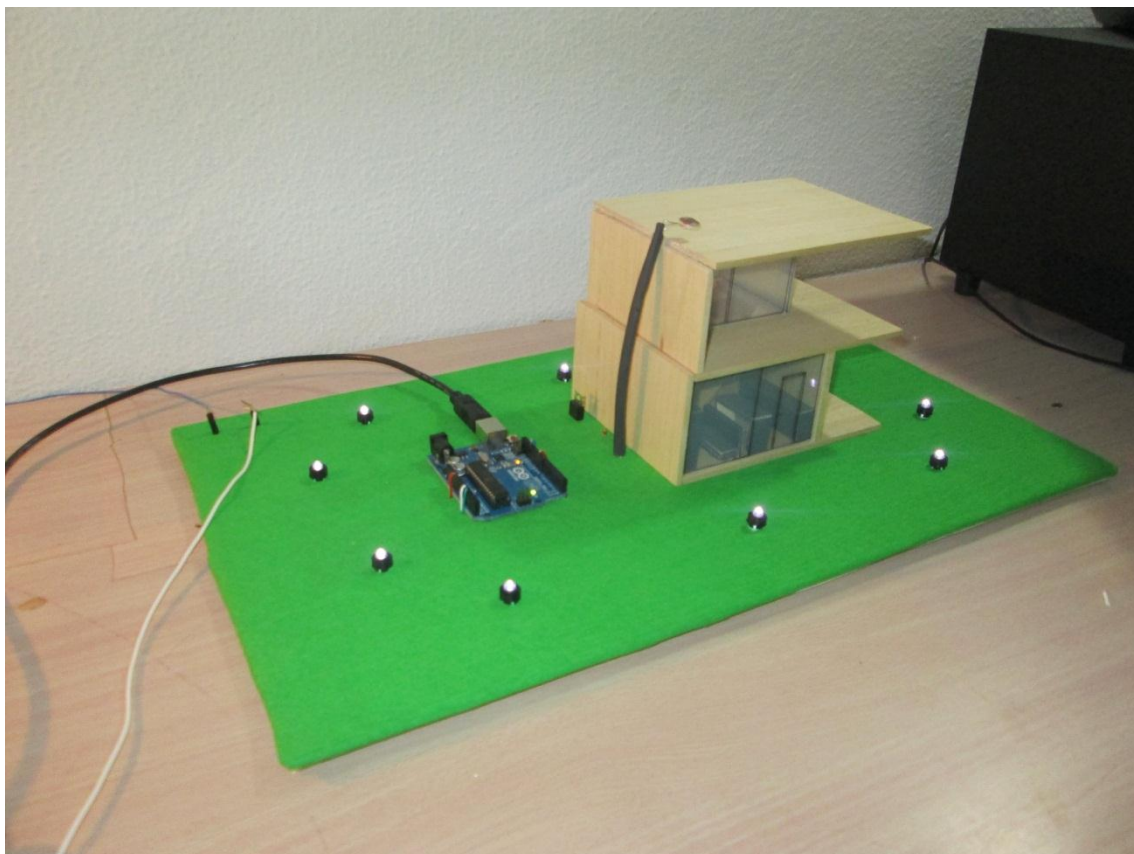


Nas ultimas imagens poderemos verificar a limitação de corrente no circuito de iluminação, através da corrente fornecida pela fonte, colocada em série com o circuito.



Quando a intensidade luminosa nos LED's é máxima, verificou-se que a corrente na fonte era de 110 mA, e quando os LED's estão desligados, a corrente é nula, como esperado, contudo, na situação intermédia a corrente varia, aumentando com a diminuição da luminosidade do ambiente em que se experimenta o sistema.

Por fim, a apresentação final do projecto exposto ao longo deste relatório foi a seguinte:



Conclusões

Este trabalho foi bastante estimulante de se desenvolver, distinguindo-se dois motivos principais que fundamentam esta afirmação.

O primeiro é o facto de este projecto fazer denotar como o trabalho desenvolvido ao longo do semestre pode ser interligado num autómato de forma relativamente simples e como desta união pode surgir uma interface bastante dinâmica e útil, inserida nos padrões das tecnologias indispensáveis à vida quotidiana dos cidadãos da sociedade actual.

Outro dos motivos pelo qual este projecto foi bastante desafiante foi por nos ser apresentado apenas um desafio, para o qual a solução teria de ser inteiramente pensada por nós, de modo a fazer cumprir-se o requerido da forma mais eficiente possível. Neste aspecto, tornou-se bastante relevante a realização do presente projecto a fim de consolidar e aplicar todos os conceitos apreendidos ao longo do semestre.

A nível de execução, o resultado do projecto foi bastante satisfatório, na medida em que o circuito, tomando em atenção cada componente, actuou como pensado aquando a concepção da solução ao problema e respectivo dimensionamento teórico.

Pode por fim dar-se como cumprido o proposto, um sistema de iluminação inteligente, capaz de acender quando a iluminação é diminuta e a temperatura é inferior a 30°C.

Bibliografia

Para a realização deste trabalho prático tomou-se como fonte de informação teórica os seguintes documentos e web-sites:

- Datasheets dos sensores utilizador;
- Folhas da disciplina;
- <http://www.answers.com/topic/dark-resistance#ixzz2lhufg9Vv>
- <http://www.arduino.cc/>