

# Prática de tratamento de dados em Física Experimental

Professor: Zwinglio de Oliveira Guimaraes Filho

Grupo: Lucas Gustavo Gonçalves Pimenta; Reinaldo Melo; Thomas Florido

## Estudo da influência da temperatura sobre a condutividade de um resistor dependente de luz (LDR)

Neste trabalho montamos dois simples aparatos para estudar a variação da resistência de um LDR em função da temperatura. Nossa motivação para a realização deste experimento foi a obtenção de um grande número de dados para aplicarmos as técnicas de análise e tratamento estudadas na disciplina de Prática de Tratamento de Dados, além disso também nos motivou a larga aplicação do LDR em situações nas quais não se tem um bom controle da temperatura, como por exemplo experimentos didáticos, alarmes de incêndio, postes de iluminação pública, entre outros.

Durante a fase de obtenção dos dados nos deparamos com inúmeros desafios e fomos guiados para atividades mais experimentais ao longo de todo o trabalho. Percebemos que o problema que propusemos a analisar era mais interessante do que pensávamos e exigia mais tempo e dedicação do que dispúnhamos ao longo de um único semestre de curso. Depois de tomados os dados, fazendo uso do tempo que nos restava, nós os analisamos e comentamos de um ponto de vista qualitativo, tomando-se o cuidado de não nos excedermos em nossas conclusões além daquilo que sustentam os fatos.

### O sensor LDR

O sensor LDR (Light Dependent Resistor) é um resistor que varia sua resistência quando se incide luz sobre ele. Quanto maior a intensidade de luz que se incide sobre um LDR, menor é sua resistência a passagem de corrente elétrica.

O LDR funciona através do efeito fotovoltaico (vide apêndice C), ele é constituído por dois terminais ligados a uma camada usualmente feita de sulfeto de cádmio (CdS). O CdS é considerado um semicondutor que possui a propriedade de que quando exposto a luz aumenta o seu número de cargas livres e diminui sua resistência [6]. Mas semicondutores também sofrem efeitos térmicos, se aumentarmos gradualmente a temperatura de um semicondutor, eventualmente ligações covalentes se rompem e dão origem a elétrons livres, este processo é chamado de geração. Ao liberar um elétron é formada uma lacuna que é estudada como se fosse uma carga positiva (imagine uma fila de elétrons um a um preenchendo a lacuna deixada pelo posterior, é como se a lacuna se deslocasse em sentido oposto ao do elétron), quando um elétron livre preenche uma lacuna chamamos este evento de recombinação [1].

### Aparato Experimental

Foram utilizados dois diferentes aparatos para a aquisição dos dados. Em linhas gerais ambos consistiram de um recipiente metálico no interior do qual se encontravam sensores LDRs e um LM35 (sensor de temperatura, vide apêndice D), os recipientes foram aquecidos de diferentes modos enquanto se media a voltagem nos sensores LDRs e a temperatura no interior do recipiente (com auxílio do sensor LM35). As diferenças marcantes entre os dois aparatos são as que se seguem:

1. O primeiro aparato (AP1) construído possui uma resistência interna utilizada para aquecer o ambiente, esta resistência se encontra no mesmo interior onde temos o LDR e o sensor de temperatura (LM35). O segundo aparato (AP2) não possui resistência aquecedora, seu aquecimento é feito externamente, aquecendo-se suas paredes externas.
2. O AP1 possui apenas um sensor LDR enquanto que o AP2 possui 4 para fornecer um maior número de dados por experimento.

### Descrição do Aparato 1

Preliminarmente utilizando o serviço disponibilizado no site da referência [3] foi realizada uma simulação do circuito a ser utilizado, como não haviam disponíveis no site os componentes específicos usamos na simulação seus similares. Abaixo segue uma ilustração (figura 1) da imagem gerada pelo site que ajuda a visualizar as ligações entre os componentes do circuito.

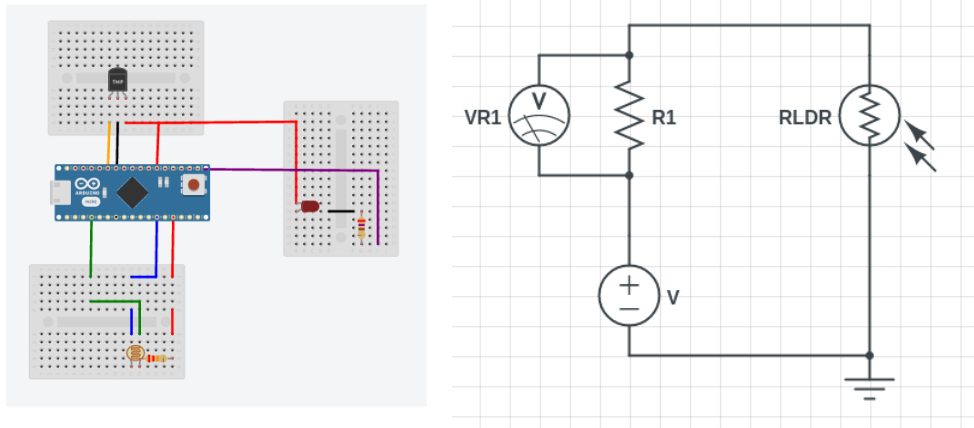


Figura 1: A imagem a esquerda foi obtida no site durante a simulação, ela ilustra a forma como foram conectados os componentes na placa Arduino, a direita temos um circuito simplificado que mostra mais claramente o nosso objetivo: medir a tensão em um resistor auxiliar R1 para calcularmos a corrente no circuito e posteriormente obtermos a resistência no LDR.

Como a placa utilizada para aquisição dos dados não realiza medições diretas de corrente no circuito, usamos um resistor auxiliar (de resistência conhecida) para através dele obtermos o valor de corrente no circuito e em seguida o valor da resistência do LDR de acordo com a fórmula:

$$R_{ldr} = \left( \frac{V_+}{V_{R1}} - 1 \right) \quad (1)$$

$R_{ldr}$  é a resistência do LDR,  $V_+$  é a saída da fonte (no nosso caso um dos pinos do arduino) que alimenta o circuito,  $V_{R1}$  trata-se da tensão medida entre os terminais do resistor auxiliar.

Para a aquisição de dados do nosso circuito foi utilizada uma placa Arduino Pro-mini. Uma breve apresentação desta plataforma de prototipagem open-source está disponível no apêndice E e na referência [2].

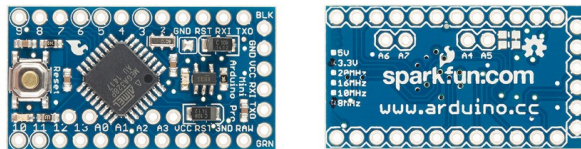


Figura 2: Arduino Pro-mini. Especificações completas desta placa podem ser encontradas na referência [2].

Depois de realizada a simulação montamos o aparato com os componentes listados na tabela 1.

Ítem	Quantidade	Identificação	Breve Descrição
1	1	Placa arduino Pro mini	Plataforma de prototipagem com chip ATmega328 - 16MHz
2	1	Lampada LED	Diodo emissor de luz de alto brilho, tipo branco
3	1	Resistor de precisão	Resistor de precisão de $22k \Omega \pm 1\%$
4	1	Resistor	Resistor de $270k \Omega \pm 5\%$
5	1	LDR	Resistor dependente de luz, 5mm de diâmetro
6	1	LM35 DZ	Sensor de temperatura com precisão de $\pm 0.5$ graus celsius
7	1	Protoboard	Placa para montagem de circuitos
8	1	Resistência aquecedora	Segmento de resistência de chuveiro
9	1	Caixa metalica	Foi utilizado aqui um simples cofre de metal de dimensões $\approx 12 \times 7,5 \times 10$ cm

Tabela 1: Elementos utilizados na montagem do aparato 1 (AP1) utilizado na primeira tomada de dados

segue abaixo uma fotografia do aparato montado.

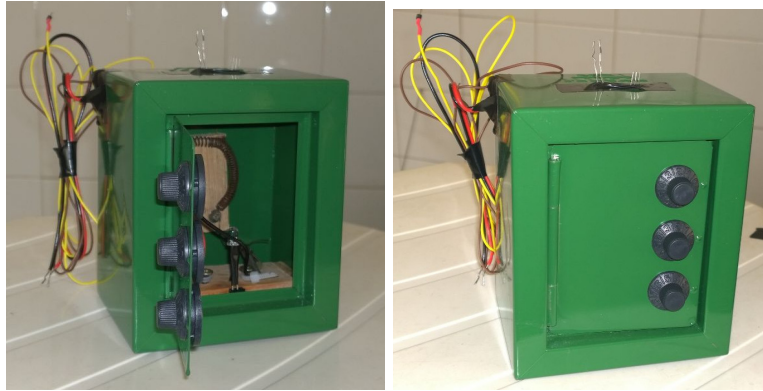


Figura 3: Foto do aparato experimental AP1

O código utilizado no arduino consta no apêndice A.

## Descrição do Aparato 2

Como dito inicialmente, foram utilizados dois diferentes aparatos o motivo para isto foi que depois de analisados os resultados obtidos com o primeiro aparato, constatamos que estes resultados iam contra nossas expectativas e então achamos que seria necessário a realização de mais experimentos para nos certificarmos de nossas conclusões formuladas com base em resultados obtidos com o AP1. Vamos agora descrever o aparato 2 (AP2).

Este aparato difere do anterior no fato de que este é aquecido externamente enquanto o AP1 faz uso de uma resistência para aquece-lo internamente, além disso o AP2 possui mais sensores LDRs sendo testados de uma só vez.

O AP2 consiste de um recipiente de metal (utilizamos aqui uma lata metálica de leite em pó). Dentro do recipiente em suas paredes internas fixamos 4 sensores LDRs diametralmente opostos. Um sensor de temperatura LM35 foi colocado no centro do recipiente de modo que ficasse aproximadamente equidistante de todos os 4 LDRs. No centro da tampa do recipiente colocamos um LED (luz branca). A tabela 2 lista os componentes usados na montagem do AP2.

ítem	Quantidade	Identificação	Breve Descrição
1	1	Placa Arduino Uno	Plataforma de prototipagem com chip ATmega328 - 16MHz
2	1	Lampada LED	Diodo emissor de luz de alto brilho, tipo branco
3	4	Resistor de precisão	Resistor de precisão de $100k \Omega \pm 1\%$
4	1	Resistor	Resistor de $270k \Omega \pm 5\%$
5	4	LDR	Resistor dependente de luz, 5mm de diâmetro
6	1	LM35 DZ	Sensor de temperatura com precisão de $\pm 0.5$ graus celsius
7	1	Protoboard	Placa para montagem de circuitos
8	1	Recipiente metálico	Uma embalagem de leite em pó de dimensões $\approx \Phi = 10cm$ e altura = $12cm$

Tabela 2: Elementos utilizados na montagem do aparato 2 (AP2)

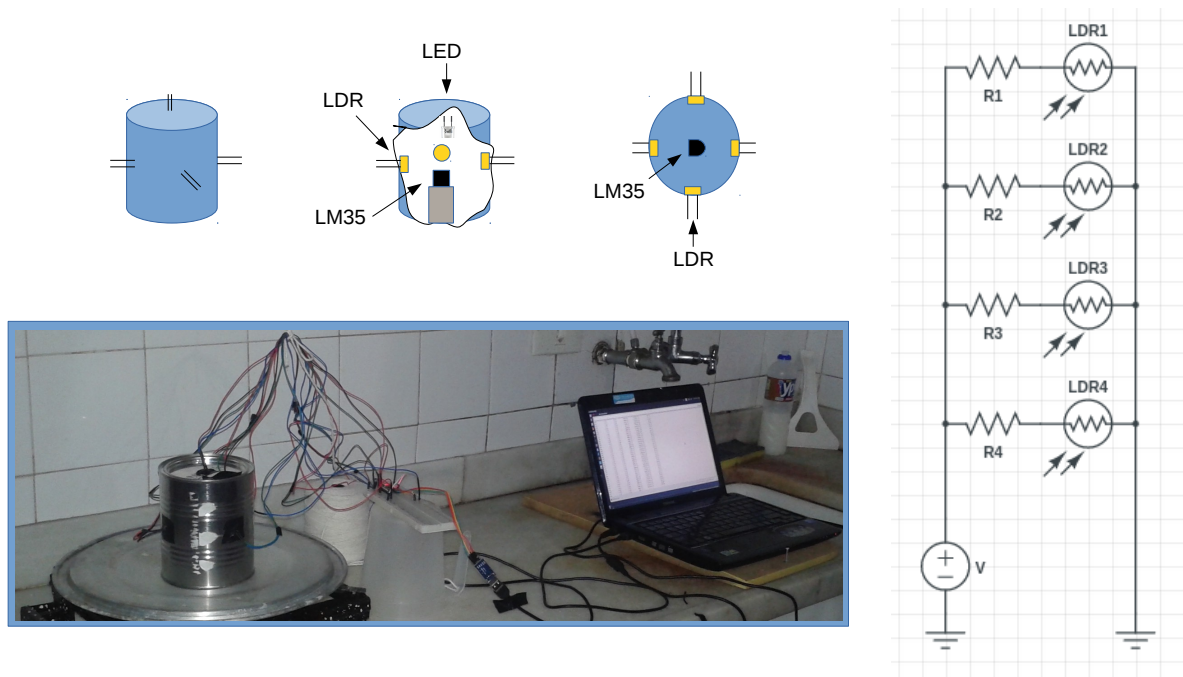


Figura 4: A esquerda e acima temos um esquema de como o aparato e os componentes foram montados na lata metalica, a esquerda e abaixo temos uma fotografia do aparato em funcionamento, utilizamos um pequeno fogão para aquecer uma chapa metalica sobre o qual se encontrava o recipiente contendo os sensores LDRs, a direita temos um esquema do circuito utilizado.

O código utilizado no arduino consta no apêndice B.

### Tomada de dados 1 com o AP1

Foram medidos os valores de voltagem no resistor auxiliar em função da temperatura para cinco diferentes intensidades de luz no LED, com o valor de voltagem do resistor auxiliar, obtemos a resistência do LDR e então plotamos gráficos de Resistência ( $\Omega$ ) x Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Para ficar mais claro, segue abaixo um passo a passo de como tomamos as medidas:

1. Ajustamos o iluminação no interior da caixa para 0% (LED desligado).
2. Iniciamos a tomada de dados (pressionamos o botao reset do arduino).
3. Ligamos a fonte de alimentação da resistencia de chuveiro.
4. Monitoramos a temperatura marcada pelo LM35.
5. Quando a temperatura atingiu cerca de  $90^{\circ}\text{C}$ , desligamos a fonte de alimentação da resistencia aquecedora e ligamos um ventilador para acelerar o resfriamento <sup>1</sup>.
6. Monitoramos a temperatura marcada pelo LM35.
7. Quando a temperatura atingiu entre  $23$  e  $30^{\circ}\text{C}$  e permaneceu aproximadamente constante, interrompemos a aquisição de dados e os salvamos para posterior análise.
8. Repetimos os itens de 1 a 7 para iluminações ajustadas em 25, 50, 75 e 100%.

### Resultados Obtidos com o Aparato 1

Com os dados em mãos plotamos os gráficos que se seguem. Todos os gráficos mostraram comportamento parecido exceto aquele para os dados tomados com intensidade de luz em 0%.

<sup>1</sup>Utilizamos o ventilador pois o resfriamento estava demorando muito para ocorrer.

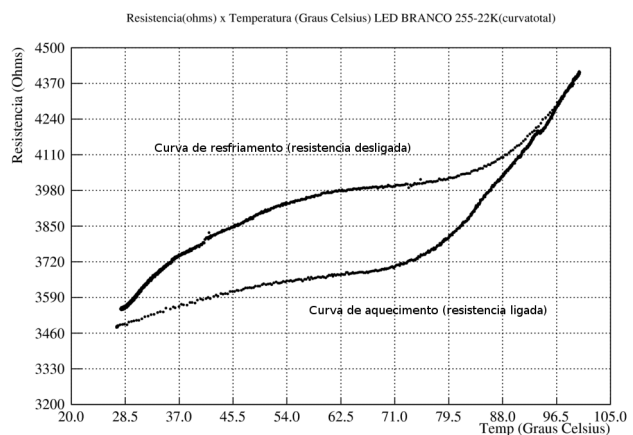
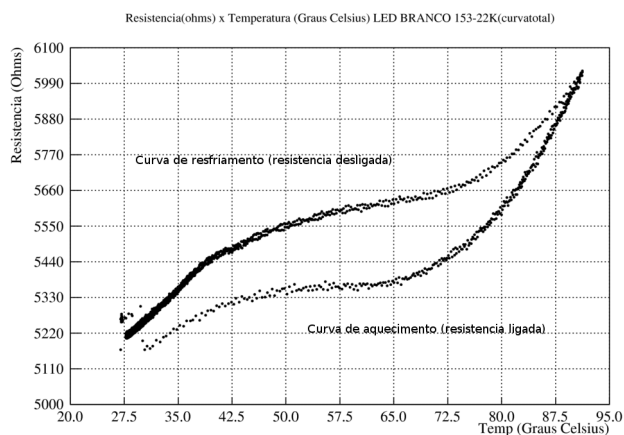
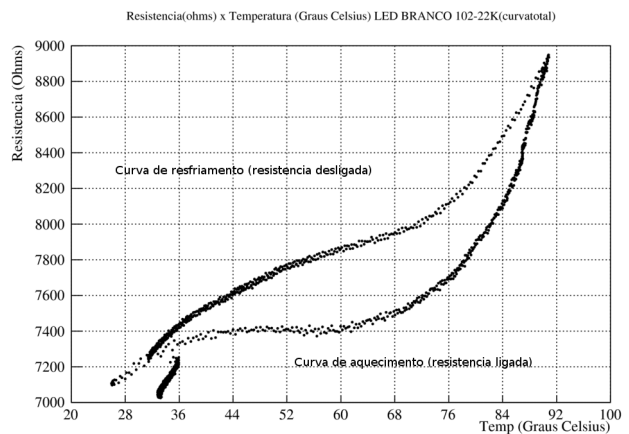
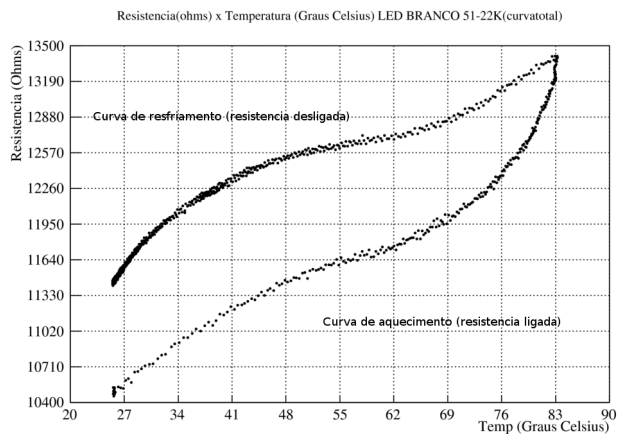


Figura 5: Gráficos da Resistência ( $\Omega$ ) x Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) em quatro diferentes intensidades de luz (de cima para baixo e da esquerda para a direita 25, 50, 75 e 100%). Observamos um perfil semelhante em todos os gráficos.

O perfil da curva mostrada no gráfico com iluminação a 0% difere bastante dos anteriores como pode ser observado na figura 6. No entanto como a resistência é muito alta fica difícil fazer afirmações sobre suas características.

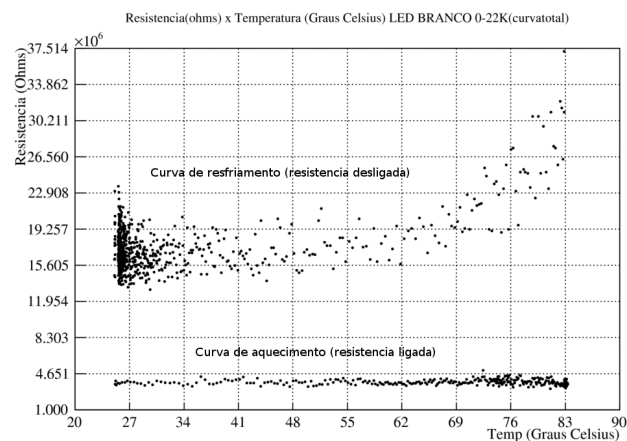


Figura 6: Gráfico da Resistência ( $\Omega$ ) x Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) na ausência de luz.

Com o intuito de investigarmos a diferença entre as curvas de aquecimento e resfriamento, plotamos os gráficos de Resistência ( $\Omega$ ) x Tempo( $UT$ ) e Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) x Tempo( $UT$ )<sup>2</sup>, examinando estes gráficos esperavamos encontrar alguma pista do motivo pelo qual a resistência durante o resfriamento se manteve maior do que aquela medida durante o aquecimento.

<sup>2</sup>UT significa unidade de tempo, não sabemos ao certo quanto ela vale em segundos, apenas que é sempre o mesmo valor entre duas medidas e que é da ordem de milisegundos.

Por exemplo, se esta diferença fosse devido a um delay na medida de temperatura, veríamos um deslocamento (de um gráfico em relação ao outro) no eixo do tempo dos pontos em que a curva muda de "formato", mas nada significativo foi observado. Segue abaixo um dos gráficos plotados, figura 7:

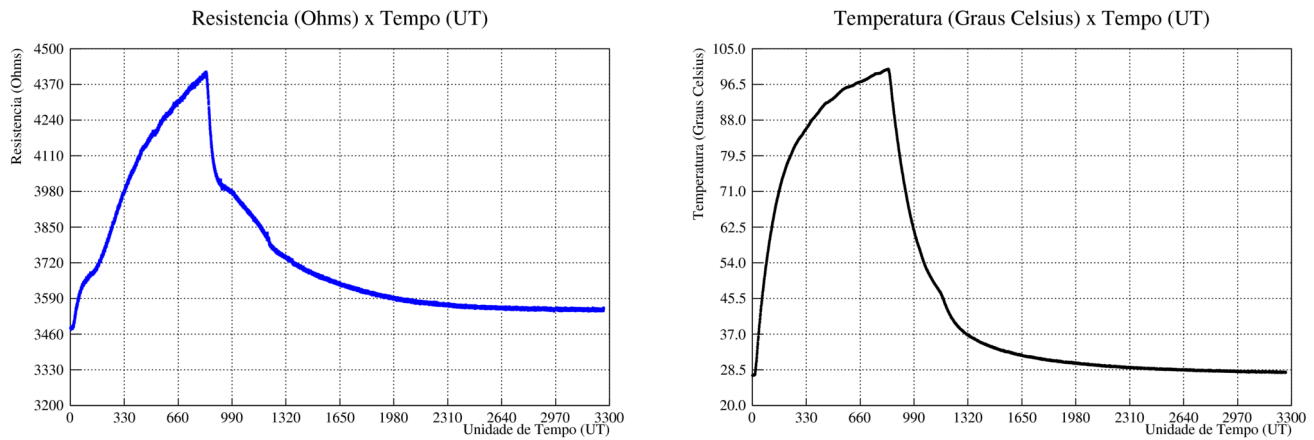


Figura 7: Gráficos da Resistência ( $\Omega$ ) x Tempo(UT) e Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) x Tempo(UT) referentes as medidas feitas para intensidade de luz de 100%. Não identificamos nestes gráficos indícios de algum tipo de delay significativo entre medidas da resistência do LDR e da temperatura.

## Comentários sobre os resultados obtidos com o AP1

A primeira observação que podemos fazer é que, ao contrario do que esperávamos, a resistência do LDR aumenta com a temperatura. Como o LDR utiliza sulfeto de cadmio (CdS) e CdS é considerado um semiconductor, esperavamos que o aumento da temperatura ocasionasse um aumento do número de elétrons livres e conseqüentemente diminuisse a resistência calculada para o LDR [7]. Mas também existe a possibilidade de estar ocorrendo uma sobreposição de efeitos devido ao efeito térmico também sobre os terminais dos componentes do circuito que também estão aquecendo.

A semelhança entre as curvas mostra a reprodutibilidade do experimento com o mesmo aparato (AP1), lembrando que utilizamos aqui um único sensor LDR durante todas as tomadas de dados.

Os gráficos da figura 7 não indicam a causa da diferença entre as resistências durante aquecimento e resfriamento.

## Conclusão 1

- A resistência do sensor LDR aumenta com o aumento da temperatura e de forma não linear.
- Os experimentos são reprodutíveis com o mesmo aparato e o mesmo sensor LDR.
- A resistência do LDR varia em função do aquecimento de forma diferente da qual varia em função do resfriamento quando aquecido e resfriado logo em seguida.

## Tomada de dados com Aparato 2

Foram medidos os valores de voltagem nos resistores auxiliares em função da temperatura para uma dada intensidade fixa de luz no LED, com o valor da voltagem dos resistores obtemos a resistência do LDR e então plotamos gráficos de Resistência ( $\Omega$ ) x Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Para aquecer externamente o recipiente onde estavam montados os sensores, utilizamos um fogão de uma boca e uma chapa de alumínio para apoiar o recipiente de modo que a chama do fogão não entrasse em contato direto com o metal do recipiente.

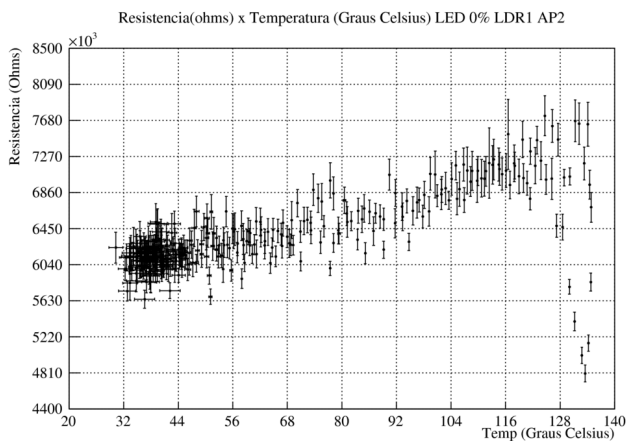
Abaixo segue uma descrição mais detalhada do procedimento experimental durante a tomada de dados:

1. Ajustamos o iluminação no interior do recipiente para 0% (LED desligado).
2. Iniciamos a tomada de dados (pressionamos o botao reset do arduino).
3. Acendemos o fogo.

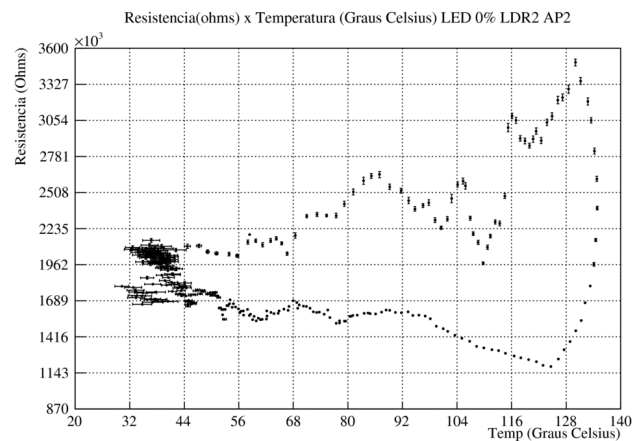
4. Monitoramos a temperatura marcada pelo LM35.
5. Quando a temperatura atingiu cerca de 120 °C, apagamos o fogo e ligamos um ventilador para acelerar o resfriamento.
6. Monitoramos a temperatura marcada pelo LM35.
7. Quando a temperatura atingiu entre 23 e 30 °C e permaneceu aproximadamente constante, interrompemos a aquisição de dados e os salvamos para posterior análise.
8. Repetimos os itens de 1 a 7 para iluminações ajustadas em 20, 40, 60, 80 e 100%.

## Resultados Obtidos com o Aparato 2

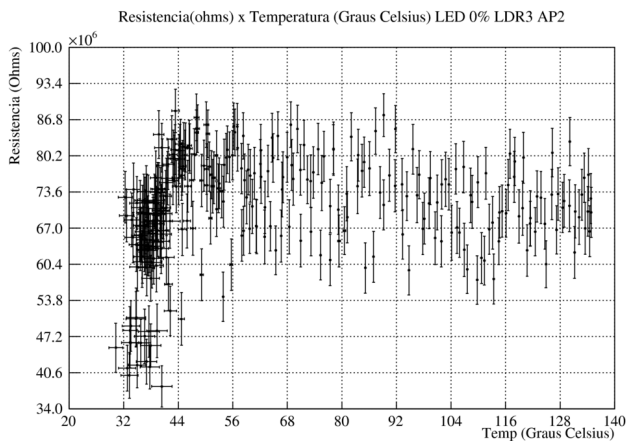
Seguem logo abaixo os resultados obtidos com o aparato AP2.



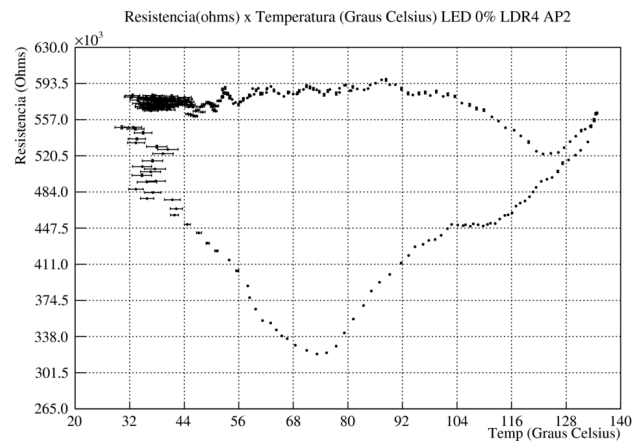
LDR1



LDR2



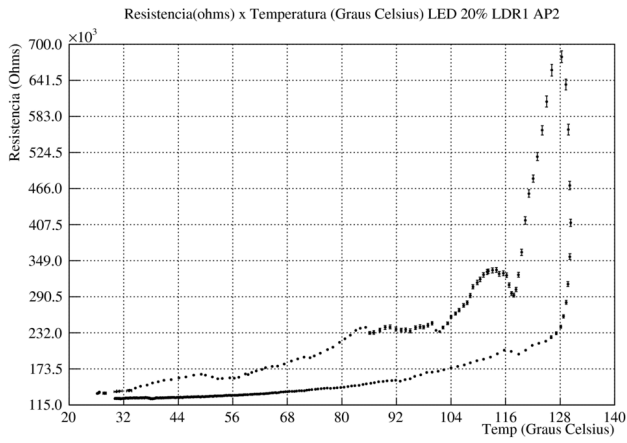
LDR3



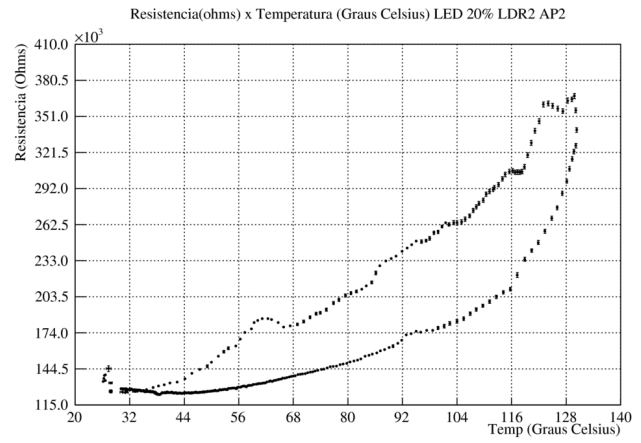
LDR4

Figura 8: Acima temos os gráficos obtidos para os 4 sensores LDR durante aquecimento e resfriamento sob uma iluminação de 0%. A curva de maior resistência diz respeito ao resfriamento e a de menor resistência ao aquecimento.

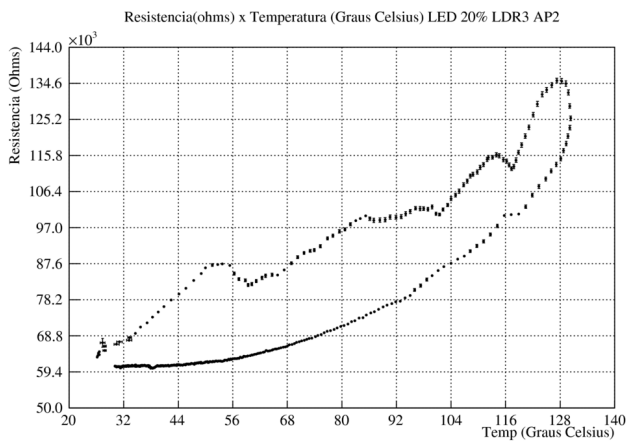
Mais uma vez devido aos grandes valores de resistência com o LED desligado optamos por não fazer nenhuma afirmação a respeito dos gráficos gerados por dados tomados com 0% de iluminação.



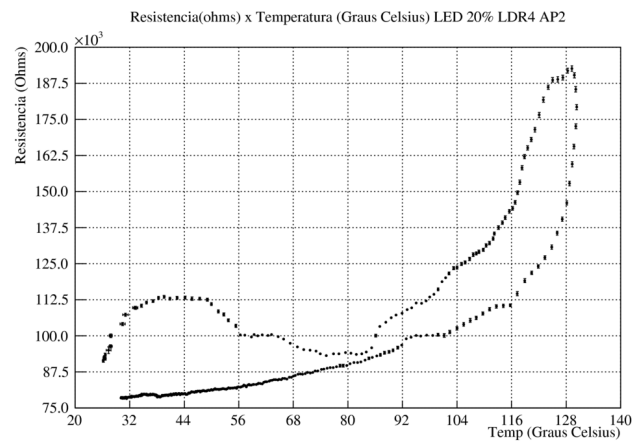
LDR1



LDR2



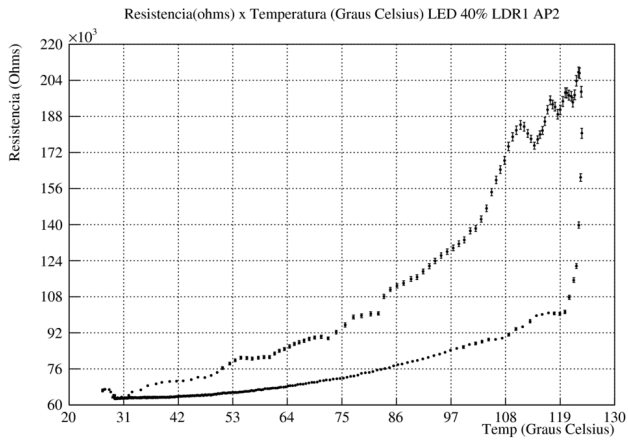
LDR3



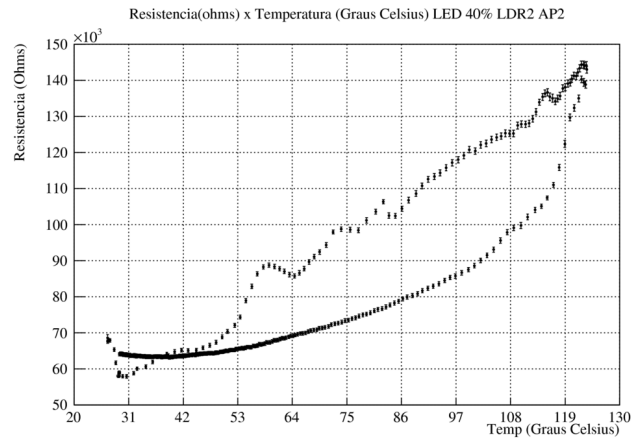
LDR4

Figura 9: Acima temos os gráficos obtidos para os 4 sensores LDR durante aquecimento e resfriamento sob uma iluminação de 20%.

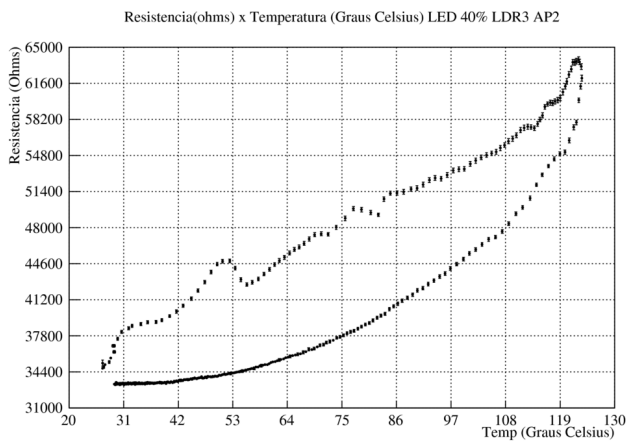




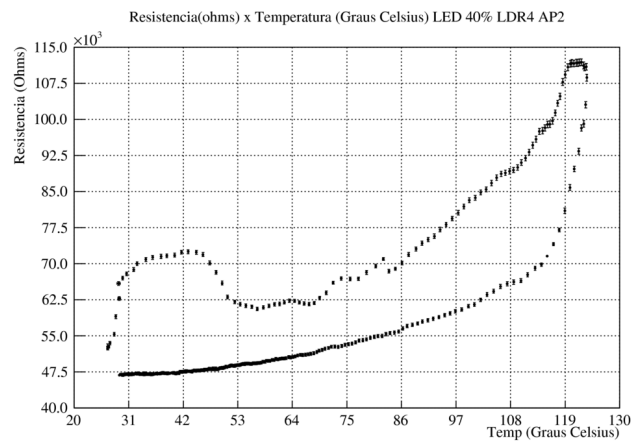
LDR1



LDR2

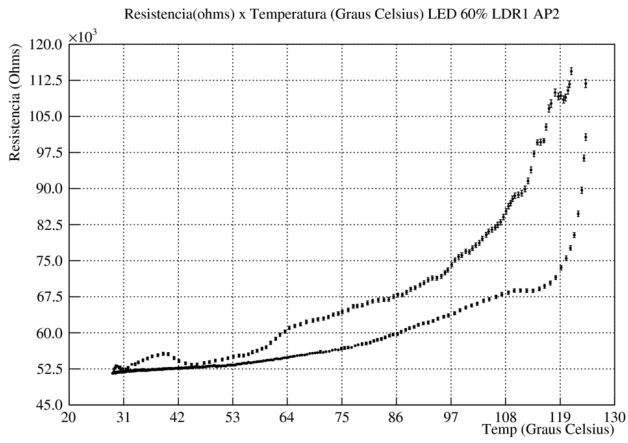


LDR3

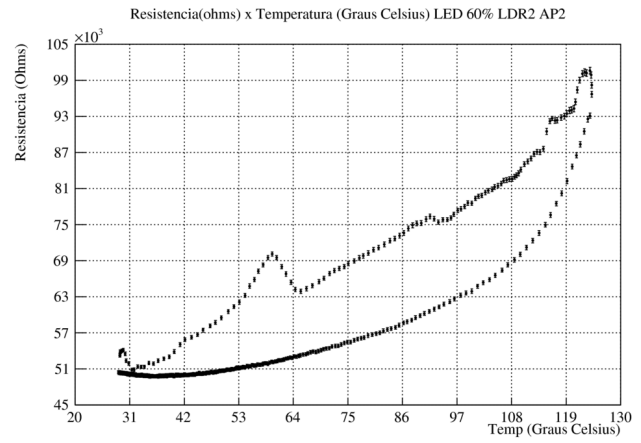


LDR4

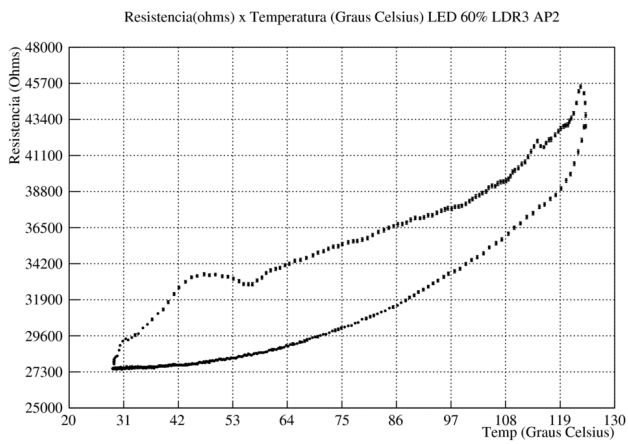
Figura 10: Acima temos os gráficos obtidos para os 4 sensores LDR durante aquecimento e resfriamento sob uma iluminação de 40%.



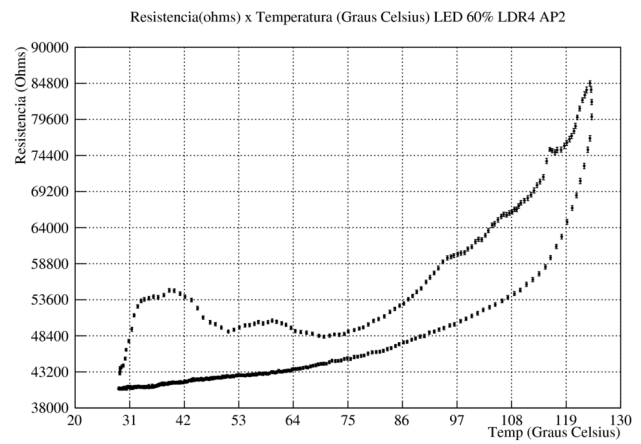
LDR1



LDR2

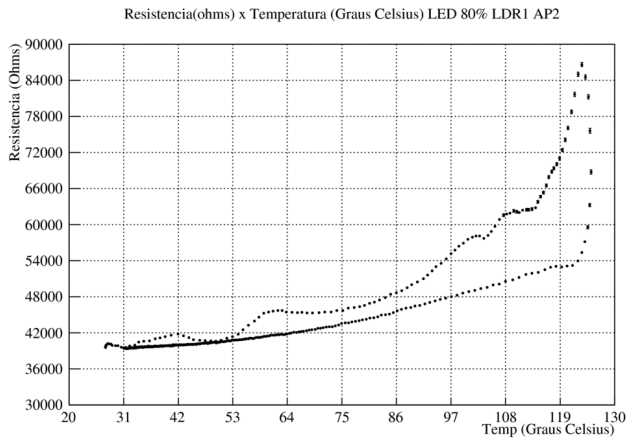


LDR3

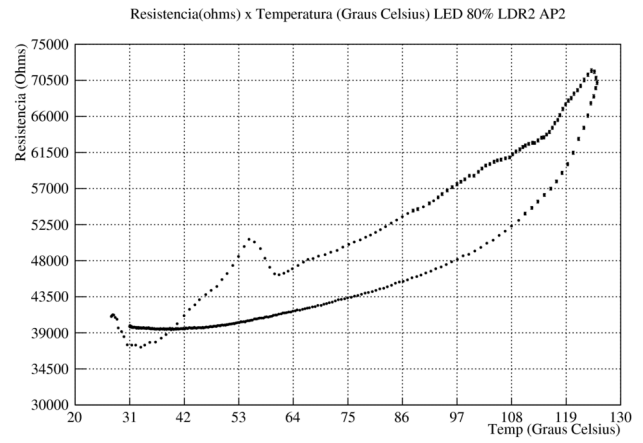


LDR4

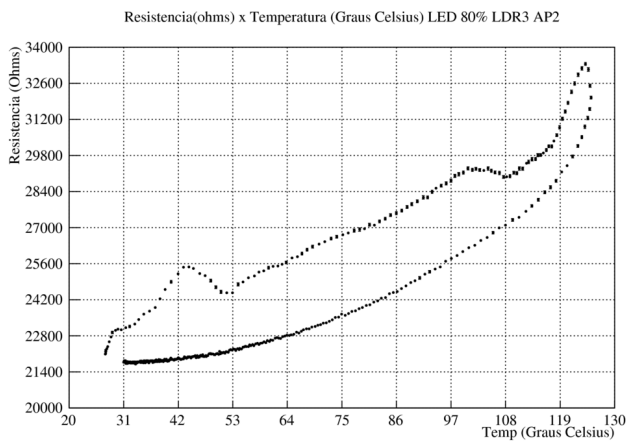
Figura 11: Acima temos os gráficos obtidos para os 4 sensores LDR durante aquecimento e resfriamento sob uma iluminação de 60%.



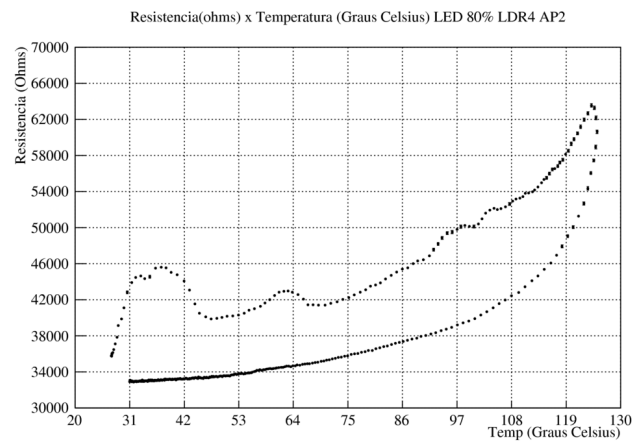
LDR1



LDR2

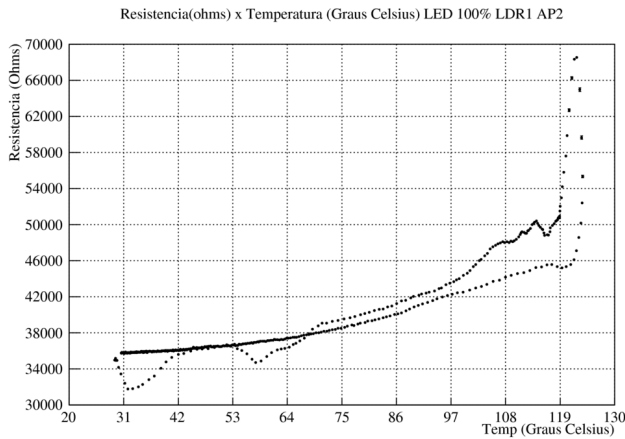


LDR3

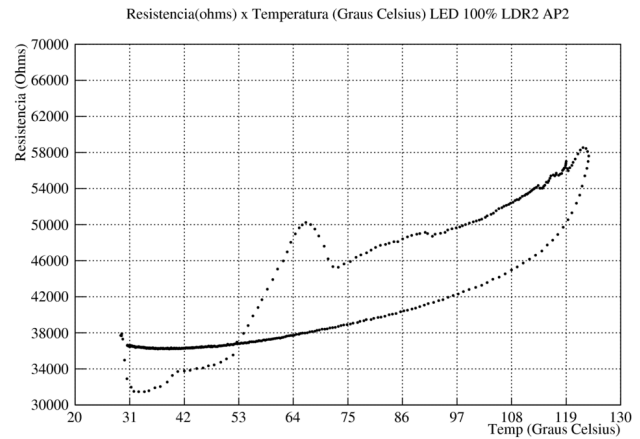


LDR4

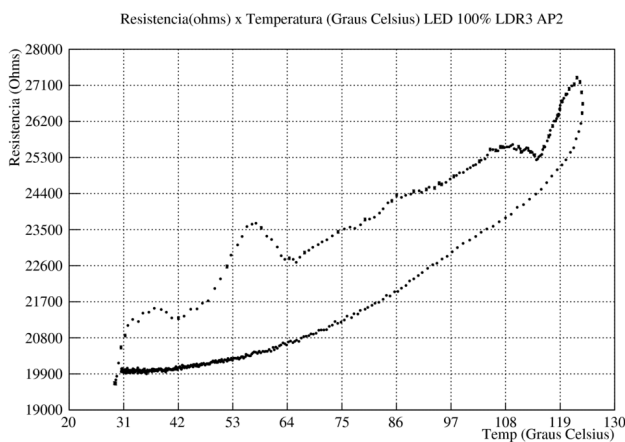
Figura 12: Acima temos os gráficos obtidos para os 4 sensores LDR durante aquecimento e resfriamento sob uma iluminação de 80%.



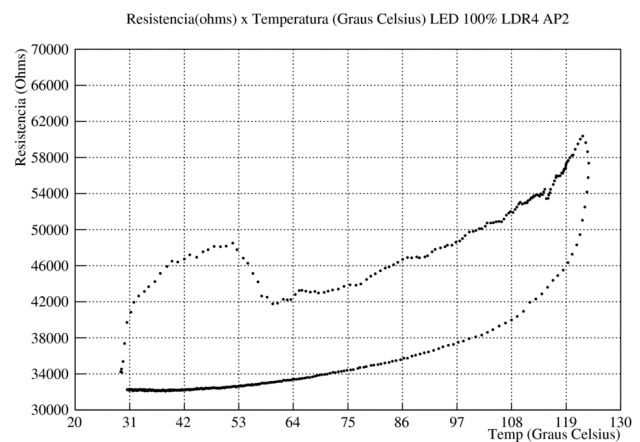
LDR1



LDR2



LDR3



LDR4

Figura 13: Acima temos os gráficos obtidos para os 4 sensores LDR durante aquecimento e resfriamento sob uma iluminação de 100%.

Também para os dados obtidos com o aparato AP2 plotamos e comparamos os gráficos Resistência ( $\Omega$ ) x Tempo( $UT$ ) e Temperatura ( $^{\circ}C$ ) x Tempo( $UT$ ) na tentativa de visualizarmos algum efeito de delay na medida de temperatura que nos ajudasse a entender o motivo de termos diferentes curvas de aquecimento e de resfriamento, mas a mudança no padrão das curvas acontece em um instante de tempo bem próximo. Como os dados tomados com o AP2 resultaram em um tipo de curva com quedas bruscas na resistência que se assemelham as vezes a um pico, nós utilizamos também os gráficos de Resistência ( $\Omega$ ) x Tempo( $UT$ ) para verificar se os picos aparecem em um mesmo momento em todos os 4 sensores LDRs ou momentos diferentes, esperando com este procedimento identificar algum efeito indesejado como por exemplo: alteração na iluminação no interior do recipiente ou alguma deformação do recipiente pelo calor. Acreditamos que um evento deste tipo causaria uma alteração nas quatro curvas em um mesmo momento que nos levaria a pensar que um tal defeito fosse um pico.

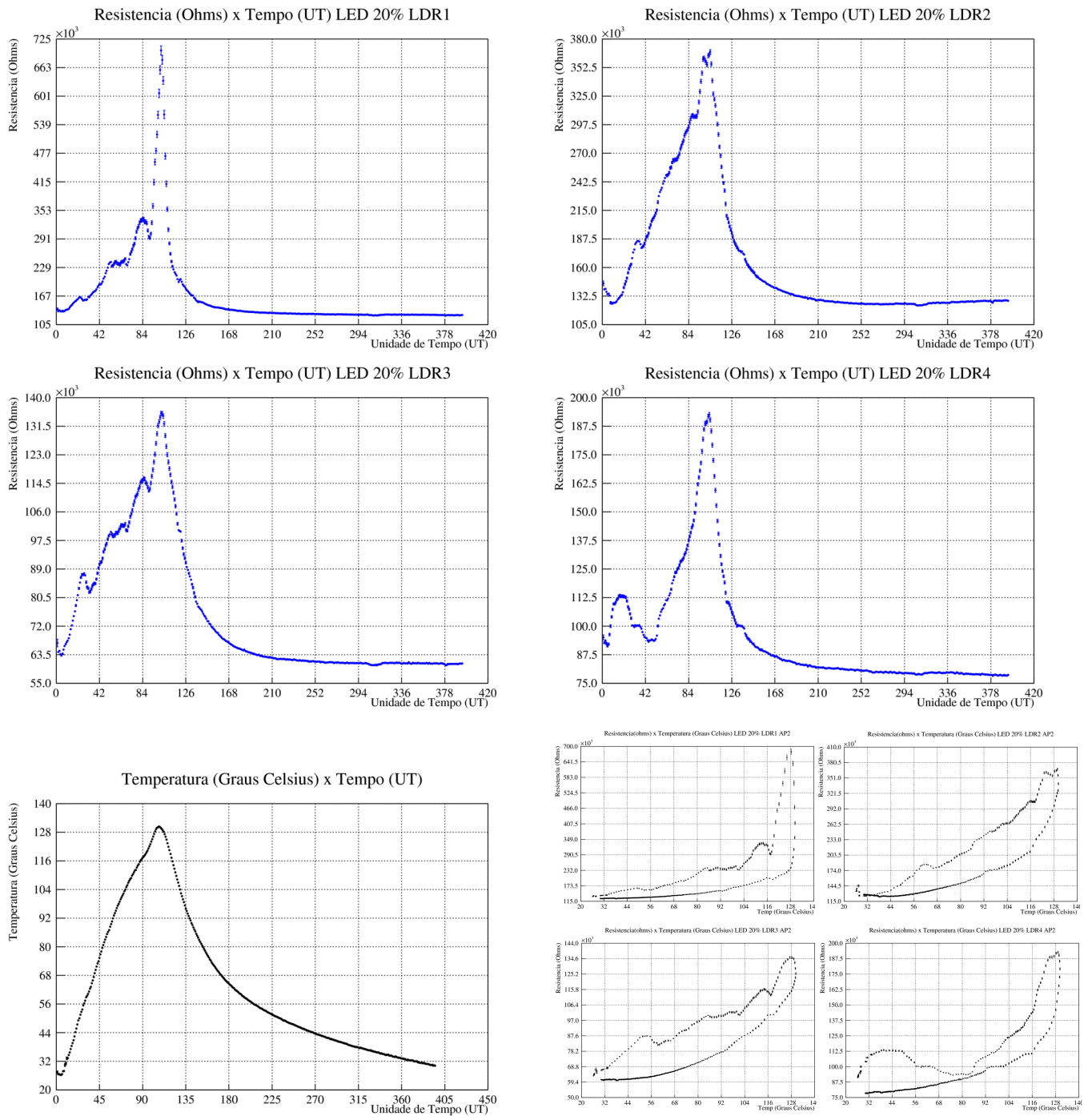


Figura 14: Gráficos da Resistência ( $\Omega$ ) x Tempo(UT) e Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) x Tempo(UT) referentes as medidas feitas para intensidade de luz de 20% para LDR1, LDR2, LDR3 e LDR4 com AP2. Não identificamos visualmente nestes gráficos indícios de algum tipo de delay significativo entre medidas da resistência do LDR e da temperatura.

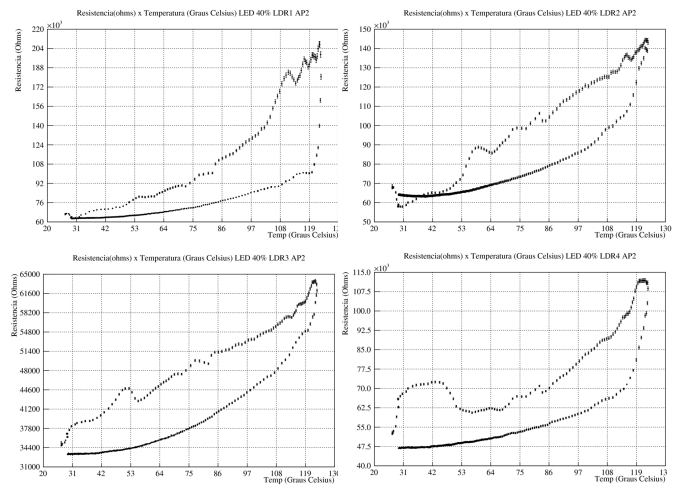
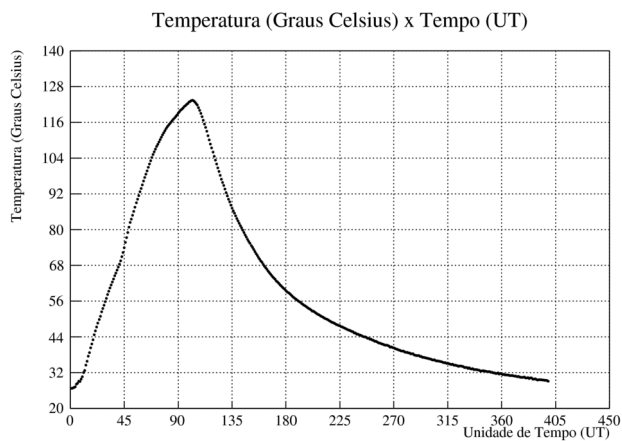
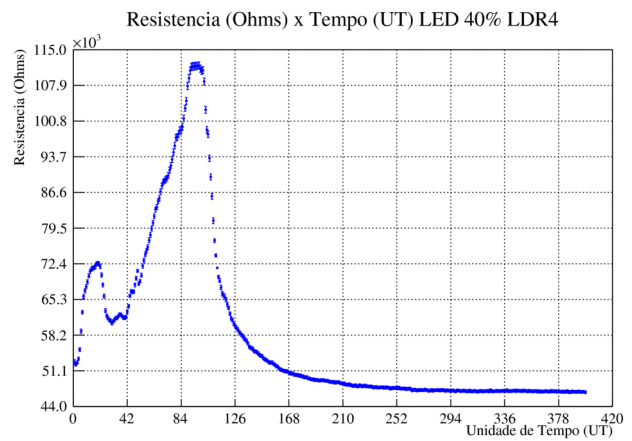
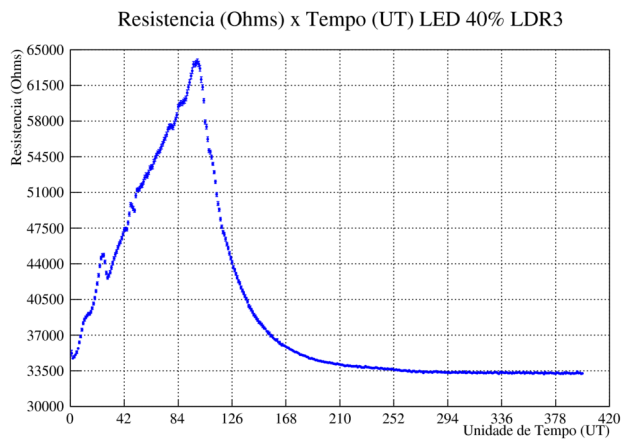
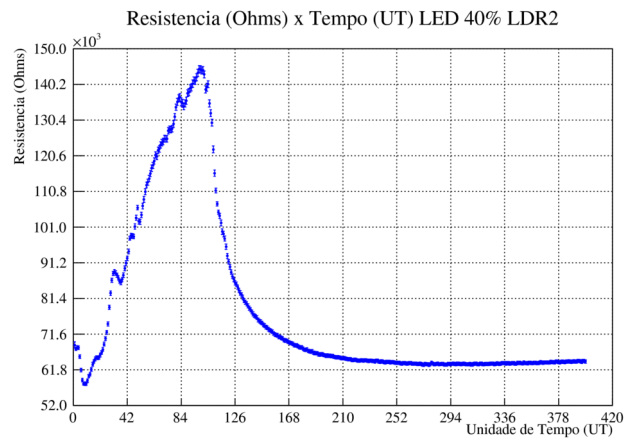
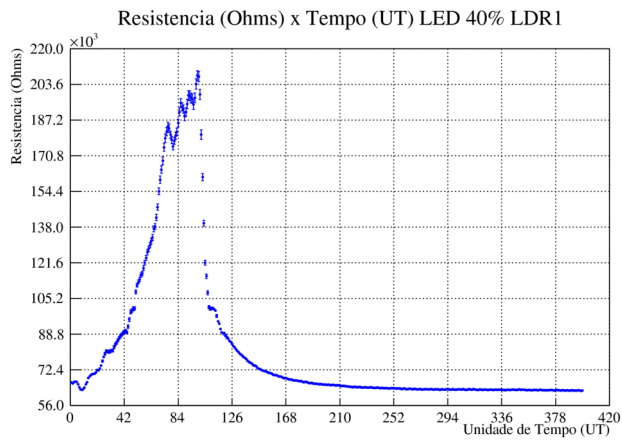


Figura 15: Gráficos da Resistência ( $\Omega$ ) x Tempo(UT) e Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) x Tempo(UT) referentes as medidas feitas para intensidade de luz de 40% para LDR1, LDR2, LDR3 e LDR4 com AP2. Não identificamos visualmente nestes gráficos indícios de algum tipo de delay significativo entre medidas da resistência do LDR e da temperatura.

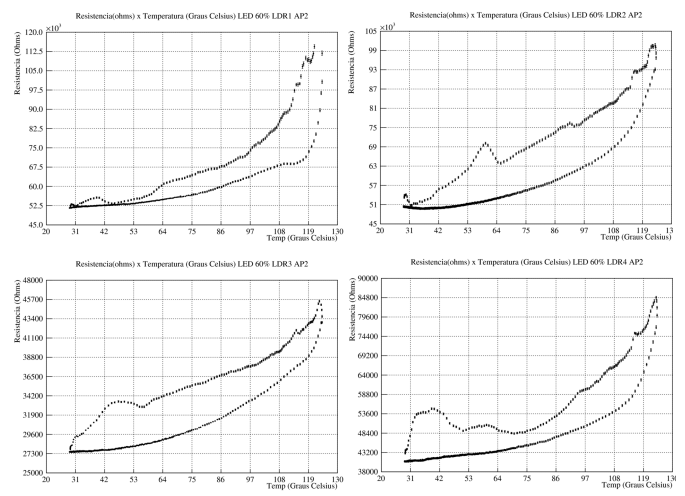
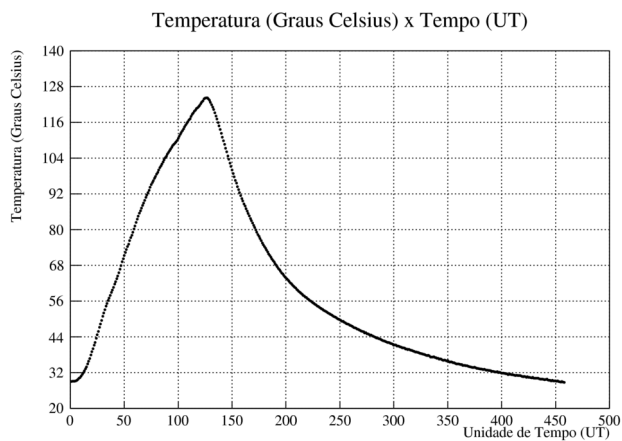
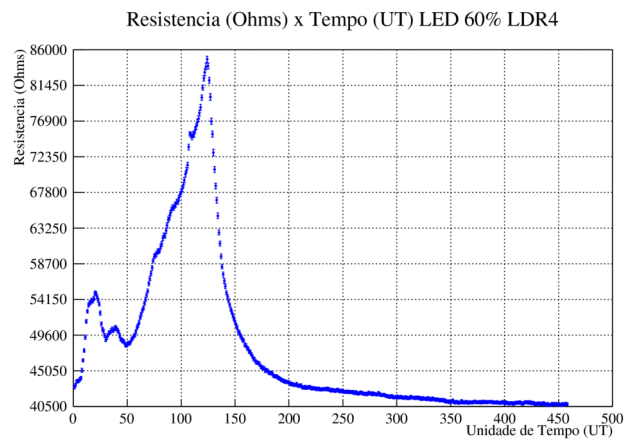
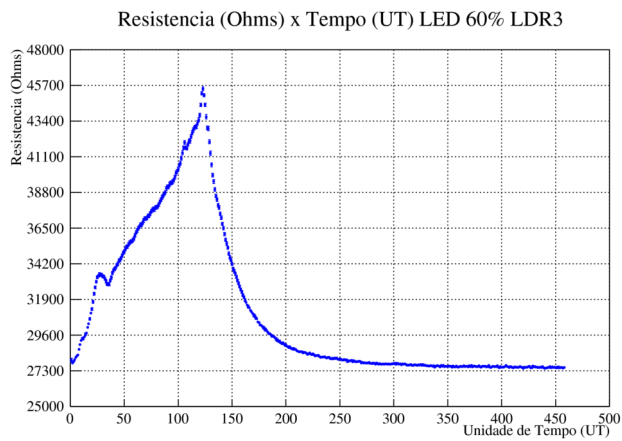
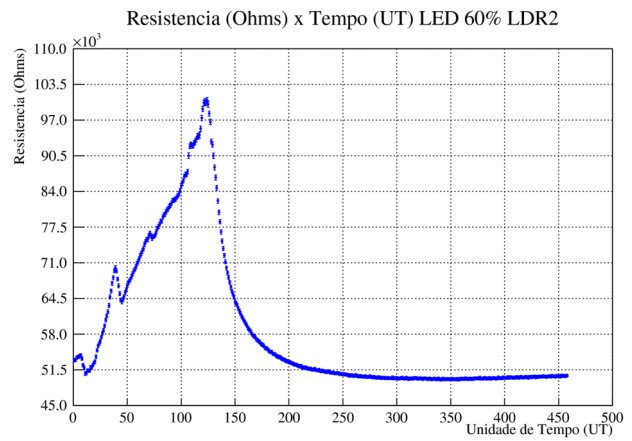
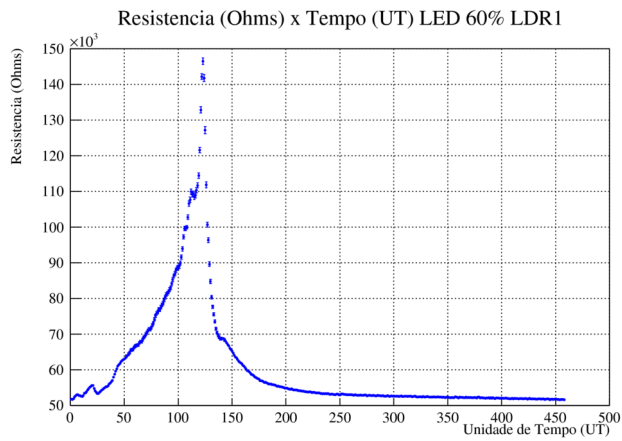


Figura 16: Gráficos da Resistência ( $\Omega$ ) x Tempo(UT) e Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) x Tempo(UT) referentes as medidas feitas para intensidade de luz de 60% para LDR1, LDR2, LDR3 e LDR4 com AP2. Não identificamos visualmente nestes gráficos indícios de algum tipo de delay significativo entre medidas da resistência do LDR e da temperatura.

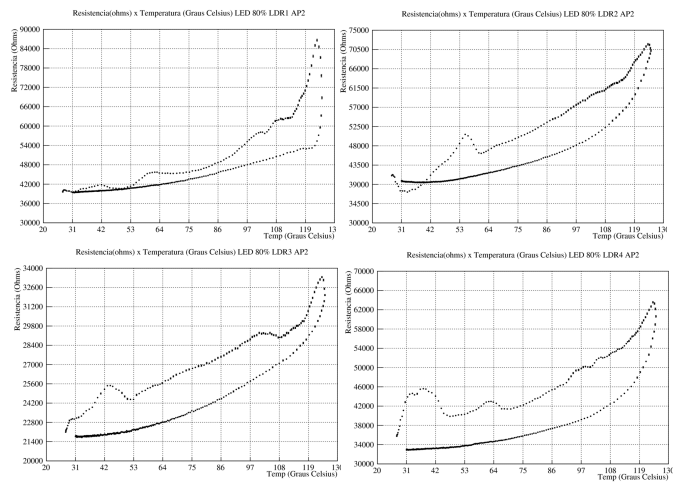
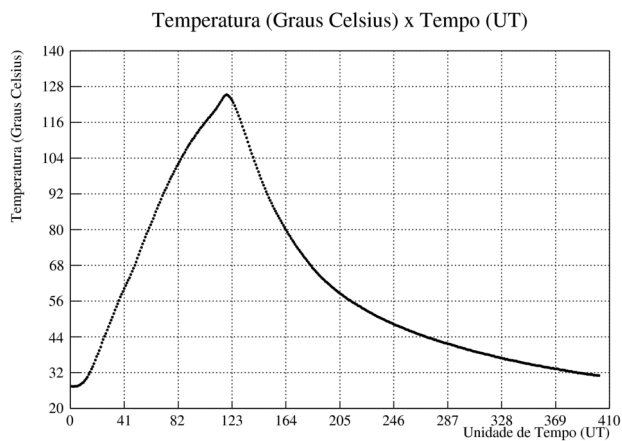
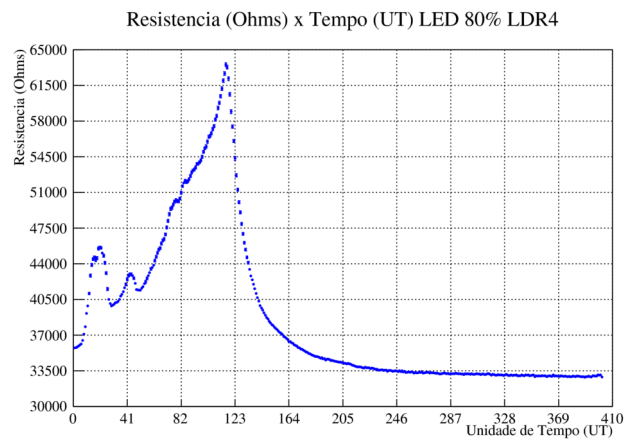
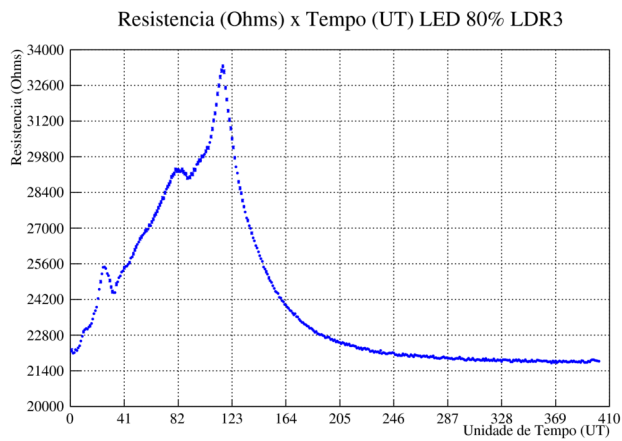
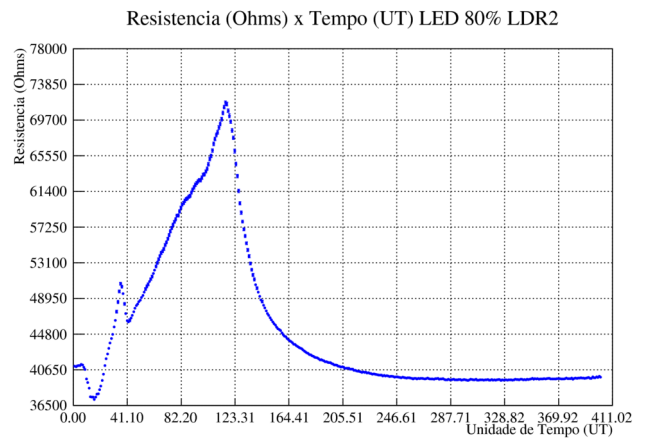
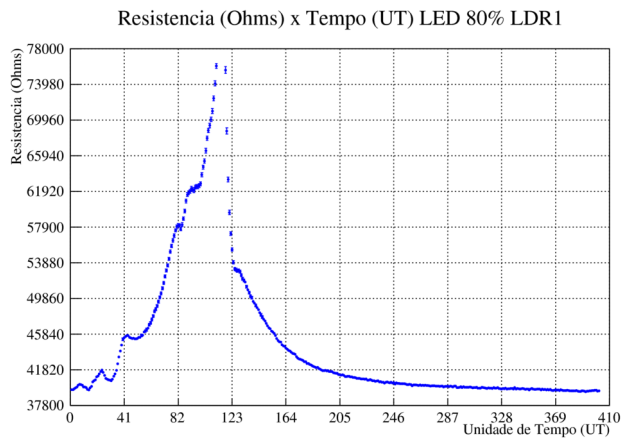


Figura 17: Gráficos da Resistência ( $\Omega$ ) x Tempo(UT) e Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) x Tempo(UT) referentes as medidas feitas para intensidade de luz de 80% para LDR1, LDR2, LDR3 e LDR4 com AP2. Não identificamos visualmente nestes gráficos indícios de algum tipo de delay significativo entre medidas da resistência do LDR e da temperatura.



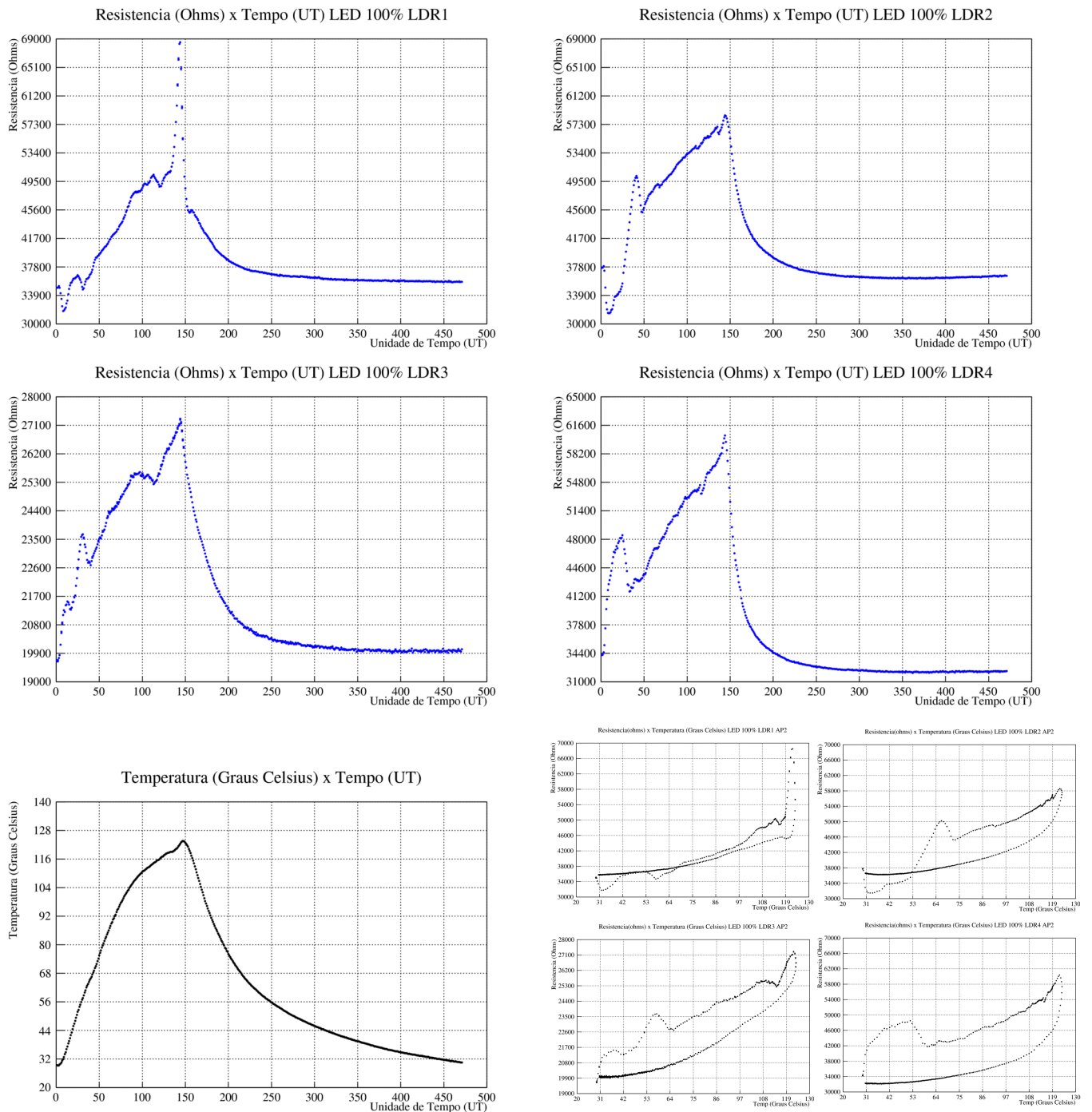


Figura 18: Gráficos da Resistência ( $\Omega$ ) x Tempo(UT) e Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) x Tempo(UT) referentes as medidas feitas para intensidade de luz de 100% para LDR1, LDR2, LDR3 e LDR4 com AP2. Não identificamos visualmente nestes gráficos indícios de algum tipo de delay significativo entre medidas da resistência do LDR e da temperatura.

## Comentários sobre os resultados obtidos com o AP2

As curvas de aquecimento são diferentes das de resfriamento. Durante o aquecimento observamos quedas bruscas da resistência, quando estas quedas são precedidas por uma taxa de variação de aumento muito grande ocorre a formação de algo parecido com um pico. Alguns deste picos ocorrem para diferentes temperaturas dependendo do sensor LDR, outros ocorrem para temperaturas próximas.

Observando todos os gráficos de resistência por temperatura, nós percebemos que os sensores recebem diferentes intensidades de luz, mais especificamente os sensores LDR1 e LDR2 recebem uma quantidade de luz aproximadamente

igual, mas menor que o LDR4 que por sua vez recebe menos luz que o LDR3<sup>3</sup>. Isso acontece devido a dificuldade de se posicionar os sensores LDRs no interior do recipiente e pode ser evidenciado observando-se o valor da resistência nos gráficos de Resistência por Temperatura para valores de temperaturas próximas a temperatura ambiente. Ou seja, sensores com o mesmo valor de resistência estão recebendo uma mesma intensidade de luz, sensores com resistência baixa estão recebendo alta intensidade de luz e sensores com resistência alta estão recebendo baixa intensidade de luz.

Portanto se os sensores LDR1 e LDR2 estão recebendo uma mesma intensidade de luz, esperávamos que as curvas de Resistência por Temperatura de ambos fossem semelhantes. E de fato são em algumas pequenas regiões (como na figura 10, onde podemos visualizar um pico em comum na temperatura de aproximadamente 115 °C), mas diferem em outras. Isso nos sugere que os sensores possuem algumas características particulares entre si.

Sensores os quais recebem diferentes intensidades de luz (LDR2 e LDR3 por exemplo) possuem picos em regiões diferentes. Alguns destes picos apesar de estarem em regiões diferentes se parecem muito uns com os outros. Parecem ser os mesmos picos (picos que diz a respeito de características em comum dos sensores) mas estão deslocados no eixo da temperatura. Como se o fato de um estar recebendo mais luz que outro fizesse com que este não necessitasse de tanta energia térmica para liberar elétrons e diminuir sua resistência.

Os gráficos de resistência por tempo não apresentaram sinais de que os picos resultam de variação na iluminação ou de alguma deformação no recipiente capaz de alterar a forma de como a luz se espalha em seu interior. Um sinal que indicasse isto seria visto como alguma alteração nos 4 LDRs em um mesmo instante de tempo. Mas como os LDRs não estão recebendo a mesma quantidade de luz desde o início do experimento este efeito pode ser manifestado por alguns e não por outros. Portanto o melhor a fazer seria fixar de algum modo a posição de cada sensor para que todos recebessem a mesma quantidade de luz antes de realizar a tomada de dados.

Mais uma vez nos deparamos com curvas de aquecimento diferentes das de resfriamento. Examinando os gráficos de Resistência por Tempo e Temperatura por Tempo não conseguimos detectar nem um atraso na mudança do perfil das curvas de um gráfico em relação ao outro. Uma hipótese para o fato de existirem duas diferentes curvas é que após liberar elétrons estes não retornam as lacunas formadas durante o tempo em que efetuamos as medidas de tensão enquanto ocorre o resfriamento.

Comparando os resultados com os obtidos com o AP1 percebemos que eles são muito diferentes. Diferem principalmente na presença picos e no fato de que apesar das curvas de aquecimento e resfriamento serem diferentes tanto com o AP1 quanto com o AP2, as obtidas com o AP1 possuem perfil semelhante, mas deslocadas enquanto que as obtidas com o AP2 são totalmente diferentes. A curva de aquecimento apresenta picos e a de resfriamento lembra a exponencial dada pela lei de resfriamento de Newton sem nenhum pico. A situação é como se ao trabalharmos com o AP2 estivéssemos medindo a voltagem em um material durante o aquecimento e em outro material durante o resfriamento.

## Conclusão 2

- A resistência do sensor LDR aumenta com o aumento da temperatura e de forma não linear e diminui bruscamente em determinadas temperaturas para determinadas intensidades de iluminação.
- Os experimentos são reproduzíveis com o mesmo aparato e os mesmos sensores LDRs.
- A resistência do LDR varia em função do aquecimento de forma diferente da qual varia em função do resfriamento quando aquecido e resfriado logo em seguida.
- Os sensores LDRs apresentam características em comum:

Picos semelhantes em uma mesma temperatura para uma mesma iluminação e picos semelhantes mas deslocados para diferentes iluminações.

- Os sensores LDRs apresentam características particulares de cada sensor:

Picos que só aparecem nos dados de um único sensor.

---

<sup>3</sup>Aqui, partimos do pressuposto de que em temperaturas próximas da temperatura ambiente o comportamento dos sensores são semelhantes de modo a nos permitir ordená-los pela intensidade de luz que recebem.

## Questões em Aberto

Os resultados obtidos neste trabalho não foram aqueles que esperavamos. Isso deixou a atividade mais interessante e serviu de estímulo durante o semestre para nos dedicarmos mais. No entanto muitas questões com as quais nos deparamos não puderam ser respondidas no intervalo de tempo de um semestre mas talvez possam ser investigadas por outros grupos. Algumas delas serviriam para dar mais credibilidade para nossas conclusões ou para nos ensinar que elas estão erradas, ambas as coisas nos dariam informações novas para complementar o que já foi feito. Segue abaixo as questões em aberto, abaixo de cada questão colocamos algum comentário (não é uma resposta):

1. Por que temos duas curvas?

Seria o aquecimento um mecanismo que altera uma característica do sensor tal que apenas o resfriamento logo em seguida não seja suficiente para o material retornar ao seu estado inicial? Ou seria uma limitação do aparato utilizado?

2. Por que obtivemos curvas diferentes para os diferentes aparatos?

O que há nos aparatos que faz com que forneçam dados diferentes? Qual entre os dois aparatos é aquele que fornece dados mais fidedignos? Como seria um aparato experimental que forneceria melhores resultados?

3. Como são fabricados os LDRs?

Durante o trabalho, tentamos entrar em contato com alguns fabricantes deste componente, mas não tivemos retorno.

4. Qual é a origem dos picos encontrados?

Os picos encontrados seriam devidos a liberação de cargas pelo material devido a energia térmica, acarretando um aumento no número de cargas livres e conseqüente diminuição de sua resistência?

## Agradecimentos

Agradecemos ao Professor Professor Zwinglio de Oliveira Guimarães Filho por sua ajuda e paciência durante todo o período do trabalho.

Agradecemos também aos colegas André Araújo (Geofísica - IAGUSP) e Mascus Lemes (IFUSP) pela ajuda na construção do aparato, fornecimento de parte do material e pela participação nas discussões sobre varias questões tanto técnicas quanto teóricas.

# Apêndice

## A - Código Utilizado na plataforma arduino referente ao aparato AP1

```
1 #define LED_Pin 11
2 #define temp_Pin 7
3 #define LM35 A3
4 #define Nsize 200
5 #define Rum 22000
6
7
8 int nloop=1;
9 int LDR_Pin = 0;
10 int LED_Stage=255;
11
12 float CELSIUS_BASE = 0.4887585532746823069403714565;
13 float Ntemp=Nsize;
14 float Nvolt=Nsize;
15 float temp=0;
16 float V_ldr=0;
17 float V_R1=0;
18 float rldr=0;
19 float Vr1erro=0;
20 float LMerro=0;
21 float medidas[Nsize];
22 float ldrerro=0;
23 void setup(){
24     Serial.begin(9600);
25     pinMode(LED_Pin, OUTPUT);
26     pinMode(temp_Pin,OUTPUT);
27     Serial.println();
28     Serial.print("MEDIDA  Voltagem R1 (V) sigma VR1 (V)  Voltagem LDR (V) sigma
29         Vldr (V) Resistencia LDR (ohms) sigma RLDR (ohms) Temperatura LM35DZ (C)
30         sigma temp");
31     Serial.println();
32 }
33 void loop(){
34     digitalWrite(temp_Pin, HIGH);
35     analogWrite(LED_Pin,LED_Stage);
36     V_R1= voltimetroR1();
37     V_ldr= 5.00-V_R1;
38     temp = temperatura();
39     rldr=((V_ldr)/(V_R1/Rum));
40     ldrerro=erroresistldr(Rum,V_R1, Vr1erro);
41     Serial.print(nloop);
42     Serial.print("\t\t");
43     Serial.print(V_R1);
44     Serial.print("\t\t");
45     Serial.print(Vr1erro);
46     Serial.print("\t\t");
47     Serial.print(V_ldr);
48     Serial.print("\t\t");
49     Serial.print(Vr1erro);
50     Serial.print("\t\t");
51     Serial.print(rldr);
52     Serial.print("\t\t");
53     Serial.print(ldrerro);
54     Serial.print("\t\t");
55     Serial.print(temp);
56     Serial.print("\t\t");
57     Serial.print(LMerro);
58     Serial.println();
59     delay(1000);
```

```

60     nloop=nloop+1;
61 }
62
63 //FUNCOES UTILIZADAS
64
65 float voltmetroR1(){
66     float L=0;
67     float erro=0;
68     float media=0;
69     float medida=0;
70     for(int i=0; i< Nvolt; i++){
71         medida=analogRead(LDR_Pin)*(0.0048829125);
72         L+=medida;
73         medidas[i]=medida;
74     }
75     media=L/Nvolt;
76     for(int i=0; i< Nvolt; i++){
77         Vr1erro+=(medidas[i]-media)*(medidas[i]-media);
78     }
79     Vr1erro = (sqrt((Vr1erro)/(Nvolt-1)))*1/sqrt(Nvolt);
80     return (media);
81 }
82
83
84 float temperatura(){
85     float T=0;
86     float erro=0;
87     float media=0;
88     float medida=0;
89     for(int i=0; i< Ntemp; i++){
90         medida=analogRead(LM35) * CELSIUS_BASE;
91         T+=medida;
92         medidas[i]=medida;
93     }
94     media=T/Ntemp;
95     for(int i=0; i< Ntemp; i++){
96         LMerro+=(medidas[i]-media)*(medidas[i]-media);
97     }
98     LMerro = (sqrt((LMerro)/(Ntemp-1)))*1/sqrt(Ntemp);
99     return (media);
100 }
101
102 float erroesistldr(float R1, float Vr1, float sigmaVr1){
103     float erro=0;
104     float a=(25.0/(Vr1*Vr1*Vr1*Vr1));
105     float b=((5.0-Vr1)/(Vr1))*((5.0-Vr1)/(Vr1));
106     erro=((sqrt((a*(sigmaVr1*sigmaVr1)))+(b*0.0001))*R1)*1/sqrt(Nsize);
107     return (erro);
108 }

```

## B - Código Utilizado na plataforma arduino referente ao aparato AP2

```

1 #define LED_Pin 11
2 #define temp_Pin 6
3 #define LDR_A0 A0
4 #define LDR_A1 A1
5 #define LDR_A2 A2
6 #define LDR_A4 A4
7 #define LM35 A3
8 #define Rum 100000
9 const float CELSIUS_BASE = 0.4887585532746823069403714565;
10 int nloop=1;
11
12 int LED_Stage=255;
13
14

```

```

15 float temp=0;
16 float V_ldr0=0;
17 float V_ldr1=0;
18 float V_ldr2=0;
19 float V_ldr4=0;
20 float V_R0=0;
21 float V_R1=0;
22 float V_R2=0;
23 float V_R4=0;
24 float rldr0=0;
25 float rldr1=0;
26 float rldr2=0;
27 float rldr4=0;
28 void setup(){
29     Serial.begin(9600);
30     pinMode(LED_Pin, OUTPUT);
31     pinMode(temp_Pin, OUTPUT);
32     Serial.println();
33     Serial.print("Medida Voltagem LDR0 (v) Voltagem LDR1 (v) Voltagem LDR2 (v)
34         Voltagem LDR4 (v) R_LDR0(ohms) R_LDR1(ohms) R_LDR2(ohms) R_LDR4(
35         ohms) tem (C)");
36     Serial.println();
37 }
38 void loop(){
39     digitalWrite(temp_Pin, HIGH);
40     analogWrite(LED_Pin, LED_Stage);
41
42     V_ldr0= analogRead(LDR_A0)*(0.0048829125);
43     V_R0= 5.00-V_ldr0;
44     delay(5);
45     V_ldr1= analogRead(LDR_A1)*(0.0048829125);
46     V_R1= 5.00-V_ldr1;
47     delay(5);
48     V_ldr2= analogRead(LDR_A2)*(0.0048829125);
49     V_R2= 5.00-V_ldr2;
50     delay(5);
51     V_ldr4= analogRead(LDR_A4)*(0.0048829125);
52     V_R4= 5.00-V_ldr4;
53     delay(5);
54
55     temp = analogRead(LM35) * CELSIUS_BASE;
56
57
58     rldr0=((V_ldr0)/(V_R0/Rum));
59     rldr1=((V_ldr1)/(V_R1/Rum));
60     rldr2=((V_ldr2)/(V_R2/Rum));
61     rldr4=((V_ldr4)/(V_R4/Rum));
62
63     Serial.print(nloop);
64     Serial.print("\t\t");
65     Serial.print(V_ldr0);
66     Serial.print("\t\t");
67     Serial.print(V_ldr1);
68     Serial.print("\t\t");
69     Serial.print(V_ldr2);
70     Serial.print("\t\t");
71     Serial.print(V_ldr4);
72     Serial.print("\t\t");
73
74
75     Serial.print(rldr0);
76     Serial.print("\t\t");
77     Serial.print(rldr1);
78     Serial.print("\t\t");

```

```

79 Serial.print(rldr2);
80 Serial.print("\t\t");
81 Serial.print(rldr4);
82 Serial.print("\t\t");
83
84 Serial.print(temp);
85
86 Serial.println();
87
88 nloop=nloop+1;
89 }

```

## C - O Efeito Fotovoltaico

O efeito fotovoltaico está bastante presente em diversos equipamentos atualmente. Como por exemplo os painéis solares que são utilizados para captação de energia estão diretamente relacionados ao efeito fotovoltaico, mas o efeito está presentes em diversos outros componentes do nosso cotidiano, como o LDR, o objeto de estudo.

Mas o que é o efeito fotovoltaico?

Ele nada mais é que a criação de tensão ou corrente elétrica num material por exposição à luz.

O efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez pelo físico francês Alexandre-Edmond Becquerel em 1839. Ele explicou sua descoberta em Les Rendus de l'Académie des Sciences , “ a produção de uma corrente elétrica quando duas placas de platina ou ouro mergulhadas em uma solução ácida, neutra, ou alcalina são expostas de forma desigual à radiação solar. ”

O efeito fotovoltaico está diretamente relacionado com o efeito fotoelétrico, embora sejam processos diferentes. Quando luz incide sobre uma superfície material, os elétrons presentes na banda de valência absorvem a energia dessa luz, e sendo excitados, pulam para a banda de condução e tornam-se livres. O efeito fotovoltaico também pode ocorrer quando dois fótons são absorvidos simultaneamente num processo chamado efeito fotovoltaico de dois fótons. No efeito fotoelétrico, por contraste, os elétrons são ejetados a partir da superfície de um material em vácuo, após a exposição à luz. Isso também gera um pouco de energia elétrica (como o elétron ejetado, eventualmente, é capturado em outro eletrodo), embora normalmente há um limite de alta energia fóton. O efeito fotovoltaico difere em que os elétrons excitados passam diretamente de um material para outro, evitando a difícil passagem através do vácuo entre eles [8].

## D - LM35

O LM35 é um sensor de precisão em centígrados e tem uma voltagem de saída analógica, sua faixa de medição é de  $-55^{\circ}\text{C}$  a  $+150^{\circ}\text{C}$  com uma precisão de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ . A tensão de saída é de  $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ . A sua saída pode ser conectado diretamente a uma porta de qualquer microcontrolador [4].

O LM35 tem um funcionamento básico, para cada  $10\text{mV}$  na saída representa um grau Celsius, então se é medido em sua saída  $222\text{mV}$ , isso representa que a temperatura é de  $22.2^{\circ}\text{C}$ .

Quando usado  $5\text{V}$ , a resolução resultante é  $5000\text{mV}/1024 = 4.8\text{mV}$ . Como o LM35 tem uma resolução de saída de  $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ , o termômetro tem a resolução de  $10\text{mV}/4.8\text{mV} 0,5^{\circ}\text{C}$ .

O Arduino e o LM35 formam um par perfeito quando se fala em medição de temperatura, para mostrar como é fácil, para fazer um termômetro você só precisa de um Arduino e o sensor de temperatura LM35.





A primeira é mais compacta e geralmente utilizada para projetos embarcados, a segunda é mais usada em bancada, é mais robusta, possui entrada para alimentação, maior número de pinos, etc.

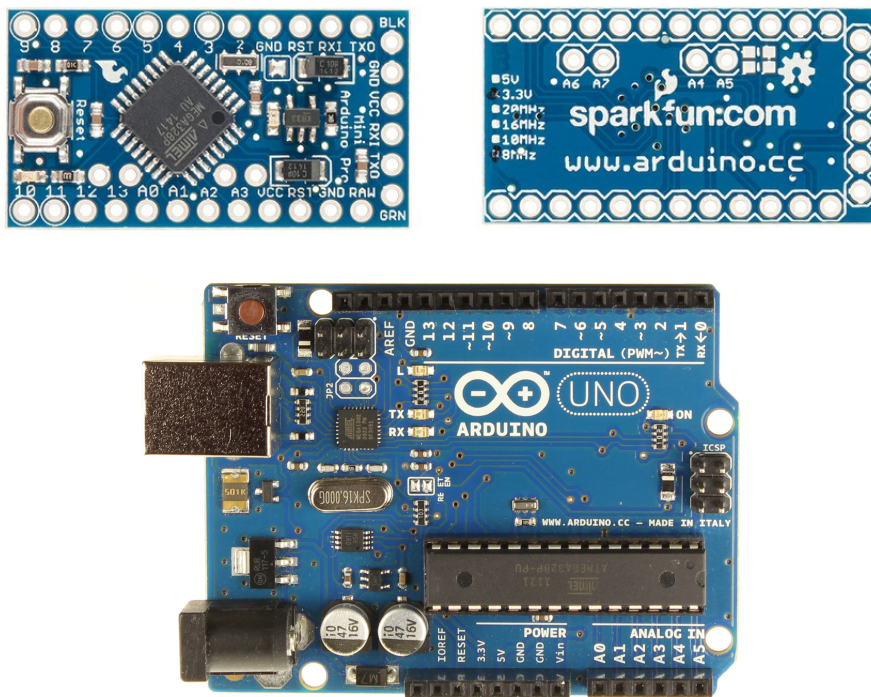


Figura 21: Acima temos a foto da parte frontal e de trás de uma placa arduino pró-mini, abaixo temos uma foto da parte frontal de uma placa arduino-uno (as imagens não estão em escala).

Um site útil para quem deseja dar os primeiros passos com a placa se encontra na referência [3], neste site você pode montar simples circuitos usando algumas placas arduino e simular o resultado. Também no próprio site da empresa Arduino você encontra inúmeras informações de como trabalhar com arduino.

## Referências

- [1] R. Andrade de Mello, Hilton; Sergio de Biasi. *Introdução a Física dos Semicondutores*. Editora MEC, 1ed edition, 1975.
- [2] Arduino. Arduino, Dezembro 2015. <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardProMini>.
- [3] AUTODESK. 123d circuits, Outubro 2015. <https://123d.circuits.io/>.
- [4] T. I. (Dallas). Lm35 precision centigrade temperature sensors, Dezembro 2015. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>.
- [5] C. ESTAMOS. Lm35 – o sensor de temperatura mais popular, Dezembro 2015. <http://blog.novaeletronica.com.br/lm35-o-sensor-de-temperatura-mais-popular/>.
- [6] D. J. K. P. K. Ldr characteristics, Dezembro 2015. <http://blog.novaeletronica.com.br/lm35-o-sensor-de-temperatura-mais-popular/>.
- [7] A. P. Malvino. *Eletrônica*. Amgh Editora, 4ed edition, 2009.
- [8] Wikipedia. Photovoltaic effect, dezembro 2015. <https://en.wikipedia.org/wiki/Photovoltaiceffect>.