Física Moderna
Difração de Multiplas Fendas

Luiz Fernando Gomes de Oliveira- 10/46969
Lucas Severo Alves- 10/0034772
Leonardo- xx/yyyyy

Resumo

Este experimento tem como objetivo apresentar o experimento de Thomas Young - experimento da fenda dupla. Este experimento demonstra como a luz em especifico pode se comportar como partícula e onda ao mesmo tempo, o que gera uma grande dificuldade de compreensão de sua composição. Este experimento tem implicações profundas, determinando maior parte da física do século XIX e resultando em várias tentativas para descobrir o éter, ou do meio de propagação da luz. Embora a experiência seja mais notável com a luz, o facto é que este tipo de experiência pode ser realizada com qualquer tipo de onda, tal como a água. Para esse experimento, no entanto, vamos focar no comportamento da luz.

This experiment aims to present the experiment of Thomas Young - double slit experiment. This experiment demonstrates how light can behave as specific particle and wave at the same time, which creates a great difficulty to understand its composition. This experiment had profound implications, determining most of nineteenth century physics and resulting in several attempts to discover the ether, or the medium of light propagation. Though the experiment is most notable with light, the fact is that this sort of experiment can be performed with any type of wave, such as water. For this experiment, however, we'll focus on the behavior of light.

Index Terms

Física Moderna, Arduino, Difração de Multiplas Fendas, Thomas Young, Double-slit experiment, ondas, partículas

SUMÁRIO

Revisado em 16 de janeiro de 2013.

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Listings

1 INTRODUÇÃO

Esse relatório descreve a reprodução do experimento de Thomas Young proposta para a disciplina de Física Moderna da Faculdade UnB-Gama. Visa assim mostrar propriedades de onda que a luz possui, e colher dados experimentais para análise, sendo realizado da seguinte forma: Confecção de fendas para difração, confecção do circuito que possibilita utilizar um sensor (LDR), leitura do sensor para um microcontrolador e em seguida leitura e tratamento dos dados na porta serial do computador.

Se a luz consistisse estritamente de partículas normais ou clássicas, e estas partículas fossem disparadas em linha reta através de uma fenda e deixa-se chegar a uma superfície, do outro lado, seria de esperar um padrão correspondente ao tamanho e à forma da fenda. No entanto, quando esta "experiência de única fenda"é efectivamente realizado, o padrão na superfície (parede) é um padrão de difração em que a luz se espalha. Quanto menor a fenda, maior o angulo de dissipação.

Da mesma forma, se a luz consistisse de partículas estritamente clássicas e iluminado duas fendas paralelas, o padrão esperado na superfície seria simplesmente a soma das duas fendas de um único padrão. Na realidade, porém, o padrão muda para uma série de faixas claras e escuras. Quando Thomas Young demonstrou pela primeira vez este fenômeno, indicou que a luz consiste de ondas, já que a distribuição de brilho pode ser explicada pela interferencia construtiva e interferência destrutiva de frentes de onda. A experiência de Young, realizada no início de 1800, desempenhou um papel vital na aceitação da teoria ondulatória da luz, vencendo a teoria corpuscular da luz, proposta por Isaac Newton, que tinha sido o modelo aceito de propagação da luz nos séculos 17 e 18. No entanto, a descoberta posterior do efeito fotoeléctrico demonstrou que, em função das circunstâncias, a luz pode comportar-se como se ela fosse composta de partículas discretas. Estas descobertas aparentemente contraditórias tornou necessário ir além da física clássica e tomar a natureza quântica da luz em conta.

1.1 Dualidade

A teoria quântica nos diz que tanto a luz quanto a matéria consistem de pequenas partículas que apresentam propriedades semelhantes à das ondas. A luz é composta de partículas chamadas de fótons e a matéria é composta de partículas chamadas de elétrons, prótons, nêutrons. É só quando a massa de uma partícula fica pequena o suficiente que suas propriedades ondulatórias aparecem.

Com o experimento feito por Thomas Young percebemos propriedades de onda na luz, sendo essas a difração e interferência:

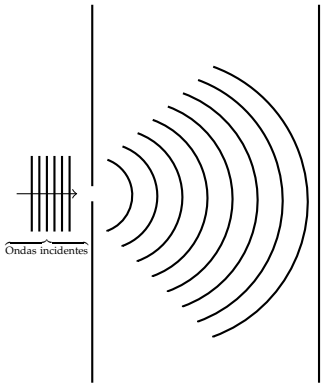


Figura 1: Difração em fenda simples

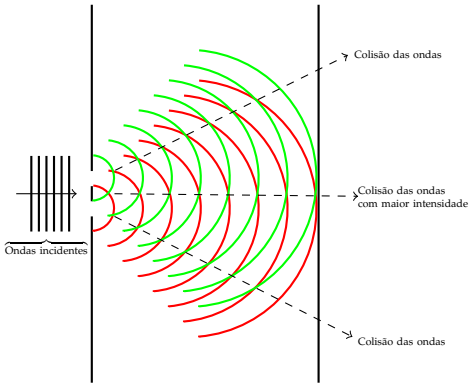


Figura 2: Difração em fenda dupla (com interferência)

Mesmo que a luz seja composta de partículas chamadas fotons, pode-se facilmente mostrar que a luz pode ser considerada uma onda electromagnética que se propaga com a velocidade da luz. A frequência da luz está relacionada com o seu comprimento de onda de acordo com

$$f = \frac{C}{\lambda} \tag{1}$$

Sendo C a velocidade da luz, λ o seu comprimento de onda, e f a frequência.

Pode parecer bastante óbvio que a luz se comporta como uma onda, mas a prova de que a luz é realmente composta de partículas vem da experiência do efeito fotoelétrico.

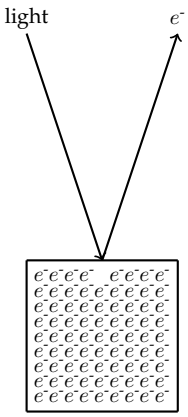


Figura 3: Efeito fotoelétrico

Uma característica importante deste trabalho é que o eletron é emitido a partir do metal com uma energia cinética específica (isto é, uma velocidade específica). Agora qualquer um que esteja familiarizado com o comportamento das ondas sabe que a energia associada com uma onda está relacionada com a sua amplitude ou intensidade. Assim, todos os que pensavam que a luz é apenas uma onda estavam realmente confusos quando a intensidade da luz foi aumentada (luz brilhante) e a energia cinética do elétron emitido não mudou. O que acontece é que, ao aumentar o brilho da luz mais elétrons são emitidos, mas todos têm a mesma energia cinética.

A energia cinética do elétron emitido tem que depender de alguma coisa. Foi descoberto então que variar a frequência da luz modifica a energia cinética do eletron emitido.

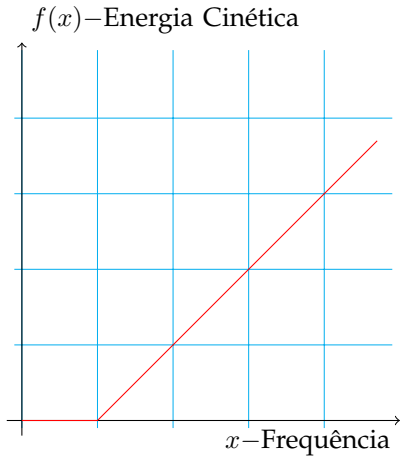


Figura 4: Gráfico Energia cinética vs. Frequência

No entanto, existe uma frequência crítica para cada metal, f_0, abaixo da qual não são emitidos eletrons. Isto mostra que a energia cinética é igual à frequência luz multiplicada por uma constante (isto é, o declive da linha) Essa constante é chamada constante de Plank e é dada pelo símbolo h.

$$h = 6.63 \cdot 10^{-}34J \cdot s \tag{2}$$

Assim é possível escrever uma equação para a energia cinética do eletron emitido.

$$E_c = h \cdot f - h \cdot f_0 \tag{3}$$

Este resultado não é consistente com a teoria da luz como uma onda. Uma explicação que é consistente com essa imagem é que a luz vem em pacotes discretos, chamados fótons, e cada fóton deve ter energia suficiente para ejetar um único elétron. Caso contrário, nada acontece. Assim, a energia de um único foton é:

$$E_f = hf \tag{4}$$

2 Objetivos

Reproduzir o experimento que foi realizado por Thomas Young e perceber o comportamento de onda que a luz possui, em contraste com o comportamento de partucula que ela também possui (verificado em outro experimento, o do efeito fotoelétrico).

3 Ferramentas e Materiais

4 Criação do Circuito

PARA a criação do circuito, precisamos inicialmente entender como funciona uma ponte de *Wheatstone*.

4.1 Ponte de Wheatstone

A ponte de Wheatstone, representada na figura 5, é utilizada quando queremos balancear um circuito com uma resistência desconhecida. A ponte é comumente caracterizada pelo desenho na figura 5, onde pode-se obter uma corrente no amperímetro igual a zero quando a seguinte equação é respeitada:

$$R_1 \cdot R_x = R_3 \cdot R_2 \tag{5}$$

Quando a equação 5 é respeitada, as tenções entre os pontos **A** e **B** é a mesma, de forma que não existe corrente nestes pontos

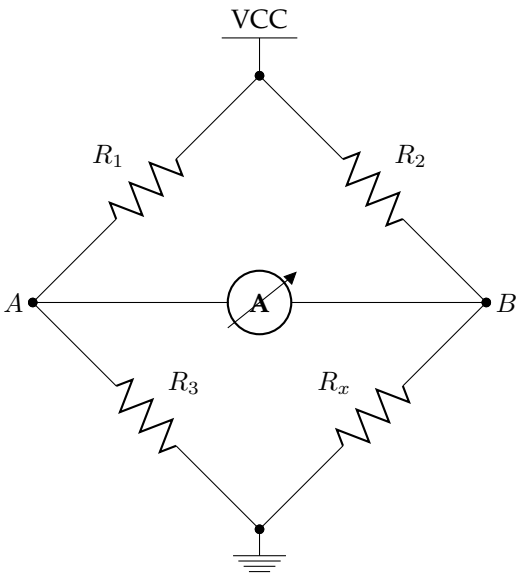


Figura 5: Ponte de Wheatstone

4.2 Abstração da ponte para o circuito final

Com base no conhecimento obtido na sessão 4.1, podemos inferir que no circuito da figura 6 teremos equilíbrio se:

$$R_1 \cdot R_x = R_3 \cdot R_2 \text{ , sendo}$$
$$R_x = \frac{(R_3 + LDR) \cdot R_4}{(R_3 + LDR) + R_4}$$

Para uma maior facilidade em montar o circuito, podemos considerar que $R_1 = R_2 = R_3 = R$. Outra fator importante é considerar o range da resistência que o LDR adota de acordo com a intensidade de luz.

Normalmente, um LDR possui resistência em torno de 100Ω quando exposto a luz e $10^6\Omega$ quando em completa escuridão.

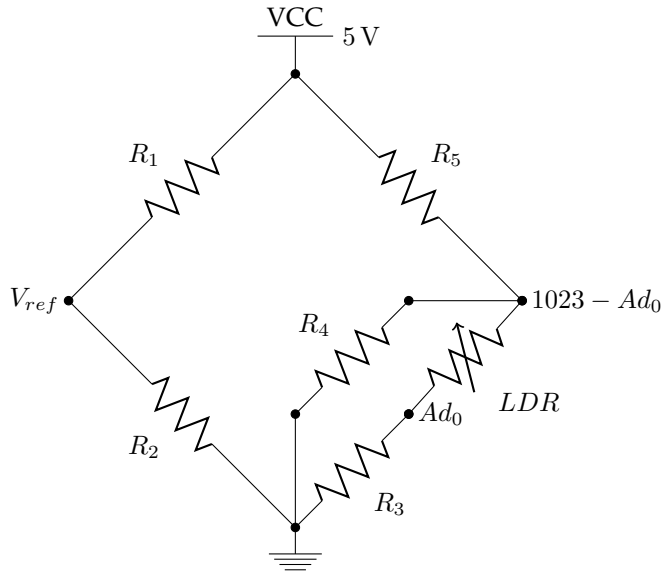


Figura 6: Circuito do LDR

Com base neste range e, adotando um valor para $r = 10K\Omega$, podemos fazer alguns calculos na tentativa de obter alguns valores razoaveis para os resistores R_4 e R_3 que solucionem o sistema proposto:

$$R \cdot R_x = R \cdot R$$
$$R_x = R$$
$$R_x = \frac{(R_3 + LDR) \cdot R_4}{(R_3 + LDR) + R_4}$$
$$R_x = \frac{(R_3 + LDR) \cdot R_4}{(R_3 + LDR) + R_4} = 10^3$$
$$10^3 = \frac{(R_3 + LDR) \cdot R_4}{(R_3 + LDR) + R_4}$$
$$\text{Tal que: } 10^2\Omega < LDR < 10^6\Omega$$

Podemos observar que assumindo $R_3 = 8.2 \cdot 10^3\Omega$, temos o valor de R_4 muito próximo para ambos os casos (10^3 e $1.2 \cdot 10^3$). Assim, uma possibilidade para o circuito final que abranja quase todo o range de resistência do LDR é o circuito apresentado na figura 7.

Observe que este circuito permite a leitura de dados de forma distinta. Caso o pino do ADC seja conectado no ponto $1023 - Ad_0$ teremos os dados expressos de forma inversa, ou seja, quanto maior a intensidade de luz, mais baixo serão os níveis de tensão coletados pelo microcontrolador. Já no ponto Ad_0 temos a leitura como esperada, ou seja, a amplitude do sinal coletado será diretamente proporcional à intensidade de luz observada pelo sensor.

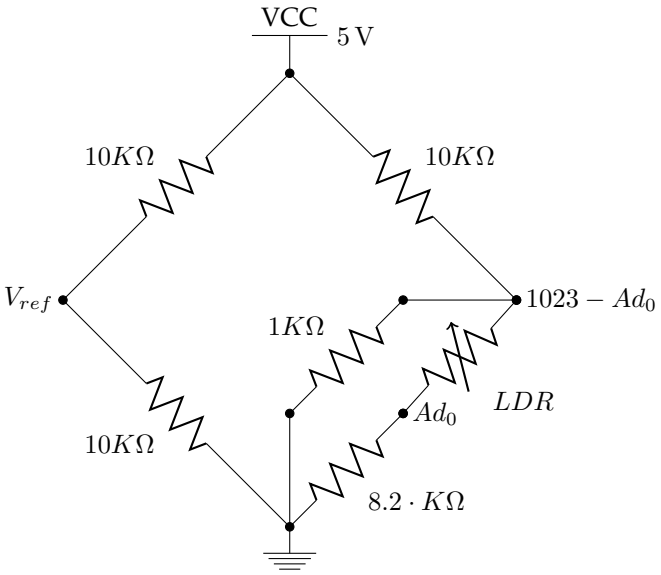


Figura 7: Circuito proposto do LDR

5 Construindo as fendas

Para a realização do experimento, era necessário a construção de duas fendas. A primeira tinha como objetivo ser uma simples lacuna entre duas laminas. Porém a segunda fenda regia a necessidade de haver

um objeto suficientemente fino entre as duas laminas, com o objetivo de dividi-la em duas fendas.

5.1 Fenda Simples

A obtenção da fenda simples não apresentava grandes dificuldades, tudo o que precisávamos era seguir o modelo descrito na figura 8.1. Na construção deste ponto do trabalho, utilizamos laminas de barbear como sendo as chapas, e uma lamina extra foi utilizada para garantir uma distancia controlada entre as duas chapas, tendo assim $\lambda = 0.06mm \pm 0.05mm$.

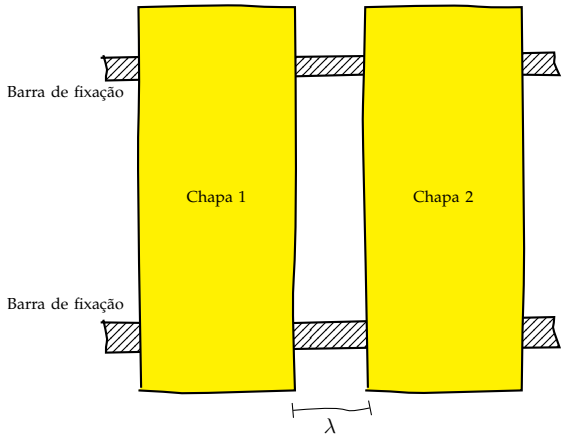


Figura 8: Fenda simples

5.2 Fenda Dupla

Para a construção da fenda dupla, foi necessário a inserção de um fio de cobre entre as duas laminas de aço. Devido ao fato do fio ser mair grosso que a própria fenda simples, foi necessário a utilização de outra lamina para uma nova distancia entre as duas chapas, produzindo assim uma fenda semelhante ao modelo descrito na figura 8.2, onde $\lambda_1 = \lambda_2 = 0.06mm \pm 0.05mm$.

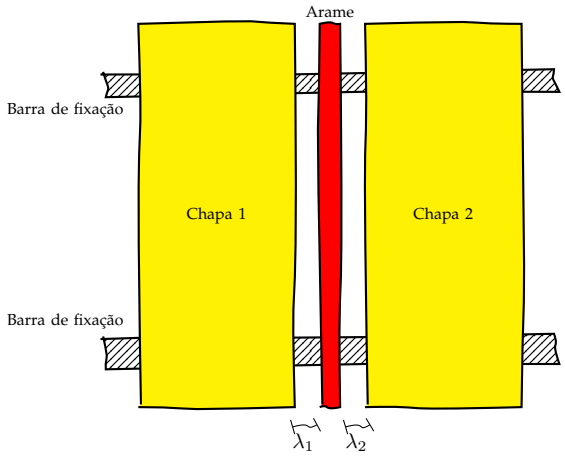


Figura 9: Fenda dupla

6 Colhendo dados reais - Arduino

Para coletar os dados expostos será necessário o uso de um microcontrolador que tenha um conversor analógico-digital para mensurar os níveis de intensidade da luz projetados pelo laser após a fenda. Para tal atividade, será utilizado um kit UNO Arduíno e os dados serão transmitidos através de uma comunicação serial RS232.

6.1 Levantando o programa

Inicialmente, é importante frisar que o kit do Arduíno nada mais é que uma camada de abstração criada acima do microcontrolador AVR. Desta forma, podemos programar nos kits do Arduíno de duas formas sob o sistema Linux:

6.1.1 Shield Comum

A forma mais simples de utilizar um kit do Arduíno é utilizando a própria IDE oferecida para o kit. A sua instalação é bem simples e fácil de ser feita. Basta entrar com o seguinte comando no terminal:

```
user@DESKTOP: sudo apt-get install arduino
```

Desta forma, podemos acessar a IDE do Arduíno, que pode ser observada na figura 10 e escrever o programa tranquilamente, utilizando apenas as funções *loop* e *setup*.

6.1.2 Utilizando o Eclipse para o Arduino

Porém há alguns grandes inconvenientes ao utilizar a IDE do Arduino.

- Todas as bibliotecas serão compiladas sempre
- O editor de texto deixa muito a desejar
- Não há uma função de auto-completar para facilitar o uso das funções já criadas

Desta forma, uma opção interessante é utilizar o Eclipse para programar o Arduíno. Isso requer alguns conceitos mais avançados de programação que não serão descritos neste relatório, que são eles:

- Instalação do *avr-gcc* e *avrdude*
- Criação de uma biblioteca estática com os arquivos em $/usr/shared/arduino$.
- Inclusão do diretório $/usr/shared/arduino$ nas dependências da compilação.
- Configuração da compilação com as flags $-Os$,$-O3$ e $-g$.
- Instalação do plugin de AVR e do AVRDude no Eclipse.

Um passo a passo de como proceder com a configuração do Eclipse para uso do Arduíno pode ser observado em [1].

Outro fator interessante de se usar o Eclipse é a necessidade de fazer uma função $main$, já que esta é descartada pela IDE do Arduíno. Abaixo segue um exemplo de como a função $main$ poderia ser escrita para ter um funcionamento semelhante ao da IDE do Arduíno, facilitando assim a compatibilidade entre os códigos.

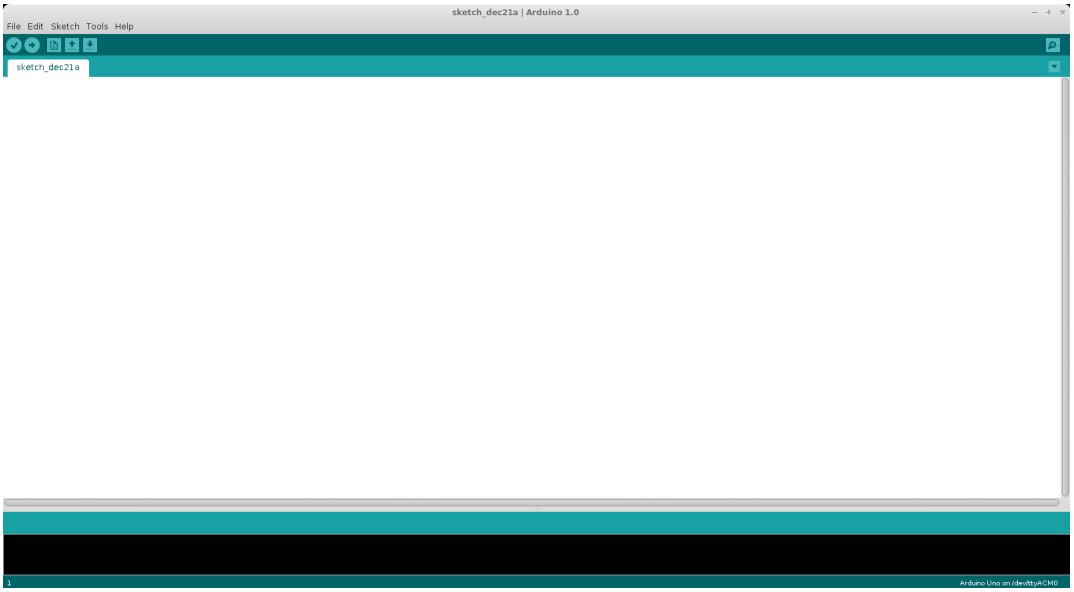


Figura 10: IDE do Arduino

Listing 1: Código de exemplo da função main()

```
#include <Arduino.h>

int main(void)
{

    init();
    setup();

    while(true)
        loop();

    return 0;
}
```

Observe que este código mantem toda a estrutura básica do Arduíno, assim como a inclusão do header *Arduino.h*, necessário para a inclusão das rotinas básicas do Arduíno, assim como sua configuração.

6.2 Criação do Código

Com o ambiente de trabalho já configurado, o próximo passo é levantar o programa que funcione de acordo com o diagrama, apresentado na figura 11.

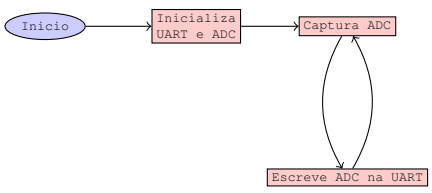


Figura 11: Fluxograma do microcontrolador

Como descrito no diagrama, é necessário inicializar tanto a UART (Comunicação Serial) quanto o ADC (Conversor Analógico-Digital) antes de prender o microcontrolador no laço infinito de captura e exportação dos valores do ADC. Seguindo o contexto de manter a máxima semelhança com o modelo proposto de programação no Arduino, inicializaremos a UART e o ADC na função *setup* da seguinte forma:

Listing 2: Código da função setup()

```
void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    analogReference(EXTERNAL);
}
```

Observe que a UART é inicializada com rate de 9600, enquanto o conversor é configurado para usar a referencia de tensão externa. A velocidade de 9600 é uma faixa de velocidade bem comum em comunicações seriais. Já a referencia externa é necessária devido ao circuito que foi proposto na sessão 4.2, onde a figura 7 apresenta uma tensão de referencia.

Com o chip já configurado, o próximo passo é configurar a função *loop* para que o processo de captura do valor do ADC e impressão deste valor seja mantido enquanto o chip estiver alimentado.

Listing 3: Código da função loop()

```
void loop()
{
static int i=0;
char buf[20];

    sprintf(buf,"%d %d\n",
        i++,analogRead(0));
    Serial.print(buf);
}
```

Desta forma, os valores serão impressos na porta serial com a formatação *"x y"*, estando assim prontos para serem plotados no GNUPLOT. No apêndice A pode-se observar na integra este código no Listing 8, onde haverá a inclusão de alguns headers e alguns tempos no decorrer do programa para garantir uma maior estabilidade do código.

7 COLETANDO OS DADOS NO COMPUTADOR - PYTHON

Com o processo realizado na sessão 6, qualquer equipamento capacitado para a leitura de comunicação serial poderá realizar a leitura dos dados. Trabalhar com os dados no computador é incrivelmente mais fácil que em um microcontrolador. A taxa de processamento e a memoria disponível são extremamente maiores, sem dizer que as camadas de abstração existentes facilitam - e muito - o nosso trabalho. Isso poderá ser observado através do método que será utilizado para esta etapa. O objetivo é criar um programa em Python que faça a leitura dos dados na porta serial e exporte-os para o GNUPLOT, plotando o gráfico.

7.1 Python - o inicio

Python é uma linguagem interpretada orientada à objetos que, normalmente, já vem pré-instalada em grande parte das distribuições Linux. É uma linguagem consideravelmente fácil de ser aprendida e que poder ser incrivelmente útil e pratica. Para este nosso experimento, utilizaremos uma biblioteca do Python chamada *[2]pyserial*, uma biblioteca voltada para a recepção e envio de dados através de comunicações seriais.

Inicialmente, assim como em quase toda lingaugem de programação, iniciamos incluindo as bibliotecas que serão necessárias no decorrer do programa:

Listing 4: Inclusão das bibliotecas do Python

```
#!/usr/bin/python
# -*- coding:utf-8 -*-

import serial
import os
import subprocess
import sys
import curses
```

o trecho `#!/usr/bin/python` é muito comum é scripts em ambiente Linux. Quando colocados na primeira linha, este trecho possibilita que ao darmos direitos de execução ao script (torna-lo executável), ele irá procurar pelo binario, em */usr/bin/python* no caso, para ser executado. Essa linha nos permite não ter que dar o trabalho de invocar o programa python, já que o script se encarregaria disto. A linha `# -*- coding: utf-8 -*-` por outro lado permite que palavras com acentuação sejam inseridas no programa sem que haja falha de codificação. Devido aos avisos e interação com o usuário estarem todos em português, é interessante a inserção desta linha para uma maior compreensão e qualidade do programa.

Em seguida, devemos tentar abrir a porta na qual desejamos escutar. Para uma maior portabilidade do código, o programa foi montado de forma que o parâmetro enviado junto com a inicialização do script seria o endereço desejado, como pode-se ver logo abaixo:

Listing 5: Acessando a porta serial

```
try:
    ser = serial.Serial(sys.argv[1],9600)
    ser.open()
except IndexError:
    print "Passe uma porta existente
        como parametro!"
    sys.exit(0)

if ser.isOpen() & ser.readable():
    f=file('./saida.txt','w')
    fx=file('./trabalhada.dot','w')
    fx.write("(0,0) " )
    print "Porta aberta!"
else:
    print "Porta não acessível"
    sys.exit(0)
```

Com um conhecimento básico em orientação à objetos, conseguimos ver o quanto Python é intuitivo. Observe que o programa esta atrelado a uma velocidade de comunicação de 9600, assim como o código do Arduíno foi feito, na sessão 6.2. Logo em seguida é feito um simples tratamento de erro para verificar se a porta encontra-se aberta e disponível para leitura.

7.2 Lendo os dados

Caso o programa consiga abrir a porta, devemos então começar a lê-la. Porém em momento algum foi dito quantos dados seriam lidos pela porta serial. Uma forma banal de contornar isto seria arbitrar um valor qualquer de leituras, mas há uma forma mais refinada de contornar este problema.

Assim como em C, podemos trabalhar com interrupções do sistemas em Python. O que faremos então é manter o código preso em um laço infinito lendo as informações e gravando-as em um arquivo, enquanto não ocorrer uma interrupção do teclado (*KeyboardInterrupt*).

Listing 6: Lendo dados ininterruptamente

```
print "Aperte Ctrl+C para terminar a
    leitura\n\n"

while True:
    try:
        msg = ser.readline()
```

```
            print  msg,
            stdscr.refresh()
        except KeyboardInterrupt:
            break
        finally:
            try:
                f.write(msg)
                vsel = eval(msg.split(" ")
                    [0])/10.0
                fx.write("-- (%.2f,%.2f) " %
                    (vsel,  eval(msg.split(" "
                    )[1])/100.0  ) )
            except:
                try:
                    if len(msg) > 1:
                        print "\rFalha na
                            sincronização!\
                            nFoi capturado
                            contudo inválido \
                            n" + msg
                except:
                    print "\rNão foi
                        capturado nada!"
                    ser.close()
                    f.close()
                    fx.close()
                    sys.exit(0)


print "\r   \nFim da leitura!"
ser.close()
```

Indo além de capturar exceções apenas para a interrupção do teclado, também foi feito uma verificação do conteúdo capturado. Assim garante que o conteúdo que será plotado esta na formatação desejada e não possui nenhum carácter invalido.

7.3 Plotando os dados

Observe que após este passo teremos um arquivo com todos os dados coletados e já com a formatação desejada pelo GNUPLOT, tudo o que temos que fazer é invocar o GNUPLOT e plotar o arquivo, algo que podemos fazer facilmente dentro do próprio Python:

Listing 7: Plotando os dados através do Python

```
proc = subprocess.Popen(['gnuplot','-p'],
                        shell=True,
                        stdin=subprocess.
                            PIPE,
                        )


proc.stdin.write("plot 'saida.txt' with
    lines\n")
proc.stdin.write("pause mouse\n")
proc.stdin.write("set table\n")
proc.stdin.write("set output \"graph.
    table\" \n")
proc.stdin.write("set format \"%.5f\"\n")
proc.stdin.write("plot 'saida.txt'\n")
proc.stdin.write("quit\n")
```

Com isso, teremos ao final do script um gráfico plotado na tela com os valores coletados pela porta serial. Para titulo de maior comodidade na produção deste relatório, o grupo foi um pouco além de apenas plotar o gráfico na tela, e pedimos a exportação dos dados coletados pelo gnuplot para o modelo **.table*. A vantagem de exportar esta saída é por que ela pode importada pelo pacote *Tikz*, plotando o gráfico diretamente dos dados capturados de forma vetorizada e nativa no pdf,o que garante uma melhor visualização para o leitor. Mais instruções de como proceder com esta inclusão podem ser vistos em [3].

No apêndice A pode-se observar na integra este código no Listing 9, onde haverá a inclusão de alguns comentários no código e interação com o usuário. No programa final, parte do conteúdo impresso na tela é feito através da biblioteca curses, com o objetivo de tornar o programa mais intuitivo para o usuário e ter maior controle do fluxo de saída do programa. Assim sendo, muitos dos trechos citados nesta sessão, terão em sua versão final, em Listing 9, o uso do método `stdscr.addstr` para escrita na tela, no local de **`print`**.

8 Resultados e Deduções

Para a verificação dos resultados, são necessárias, em suma, duas preocupações principais. A primeira é de interpretação da teoria quantica da luz, e perceber seu comportamento de onda. A segunda é a verificação prática do comprimento de onda do laser utilizado, por meio das medidas e dados coletados. Se o comprimento de onda corresponder com a cor de laser usado no experimento, o experimento passa a ter um resultado positivo.

8.1 Fenda Simples

Na fenda simples verificamos, sem partir para medições, que a luz do laser difrata ao passar pela fenda que tem expessura menor que seu diâmetro. Isso já indica de cara um comportamento de onda para a luz. Também verificamos uma padrão em que se repetem pontos claros e escuros, totalmente simétricos, e com ponto mais claro no centro, passando a perder intensidade ao chegar para as extremidades. A propagação das ondas para a área de sombra pode ser explicada por considerar pequenos elementos da frente de onda na fenda e tratá-los como fontes pontuais. Dessa forma, os raios dessas fontes pontuais passam a sofrer interferencia uns dos outros.

Uma das características da difracção da fenda simples é que uma fenda estreita irá dar um padrão de difracção mais amplo, o que parece um pouco contra-intuitivo.

Uma forma de visualização é de considerar que os raios da extremidade devem atingir meio comprimento de onda ($\frac{\lambda}{2}$) de diferença no comprimento da tragetória da luz, e, se a fenda é mais estreita, vai demorar um ângulo maior para os os raios alcançarem essa diferença.

Para chegar à equação que ajudará a achar o comprimento de onda do laser utilizado em função das medidas encontradas ao fazer o experimento, e então comparar esse comprimento de onda ao intervalo que faz sentido pra cor de laser que foi usado, temos que primeiramente fazer algumas aproximações.

Figura 12: Frentes planas e paralelas

Prieiro é necessário considerar que a luz do laser está vindo de uma fonte infinitamente distante, para considerar frentes de onda planas e paralelas entre si. Isso garante que os elementos de amplitude estejam em fase.

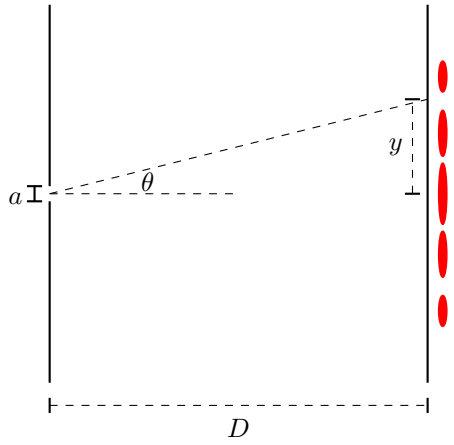
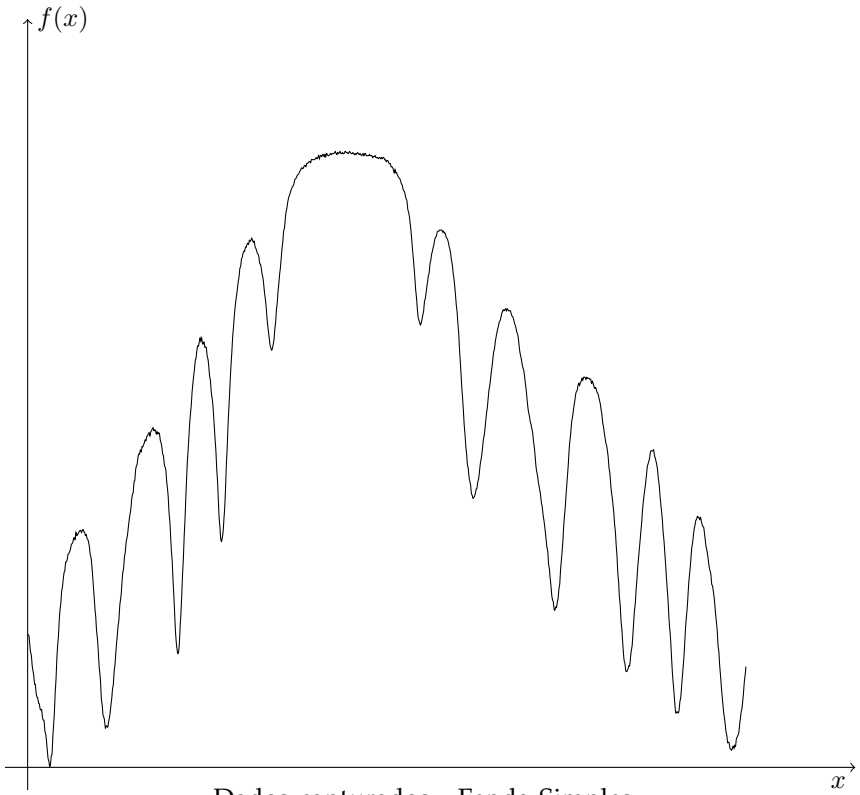


Figura 13: Difração em fenda simples

Em seguida considerando que $\tan\theta = \frac{y}{D}$, podemos considerar que $D >> a$ (em algumas das nossas medições D teve quase 9 metros, sendo que em uma delas teve quase 30, e a fenda sempre teve poucos milimetros), e assim podemos fazer aproximações $\tan\theta \approx \sin\theta \approx \theta \approx \frac{y}{D}$. Considerando então que $a\sin\theta = m\lambda$, então $a\frac{y}{D} = m\lambda$ e por fim:

$$\lambda \approx \frac{ya}{mD} \tag{6}$$

Sendo a o diâmetro da fenda, m a quantidade de pontos claros (ou escuros, dependendo do método) a partir do centro, D a distância da fenda até o ponto de leitura, e y a distância do centro luminoso até ultimo ponto de leitura.



Dados capturados - Fenda Simples

Na figura acima vemos o padrão luminoso que capturamos para o laser verde. É um gráfico intensidade vs. posição. Foram capturados 6 pontos escuros e seis claros para cada lado, esses pontos simétricos ao centro. A distância do laser para a fenda (que não entra para os cálculos) foi de $17,16mm$. A distancia D da fenda até a parede (ponto de leitura) foi de $8,94m \pm 1cm$, e o percurso todo de leitura $2y$ foi de $115.23cm \pm 1cm$. Nossa fenda simples possui abertura de $0,05mm \pm 0,04mm$.

Basta agora aplicarmos a equação aproximada para verificar se o comprimento de onda λ corresponde a um intervalo coerente com a cor verde.

$$\begin{aligned}\lambda &\approx \frac{ya}{mD} \\ &\approx \frac{0,576 \cdot 0,00005}{6 \cdot 8,94} \\ &\approx 536.9127517 \cdot 10^{-9} \\ &\approx 536.9127517 \cdot 10^{-9} \pm 446.1254589 \cdot 10^{-9}\end{aligned}$$

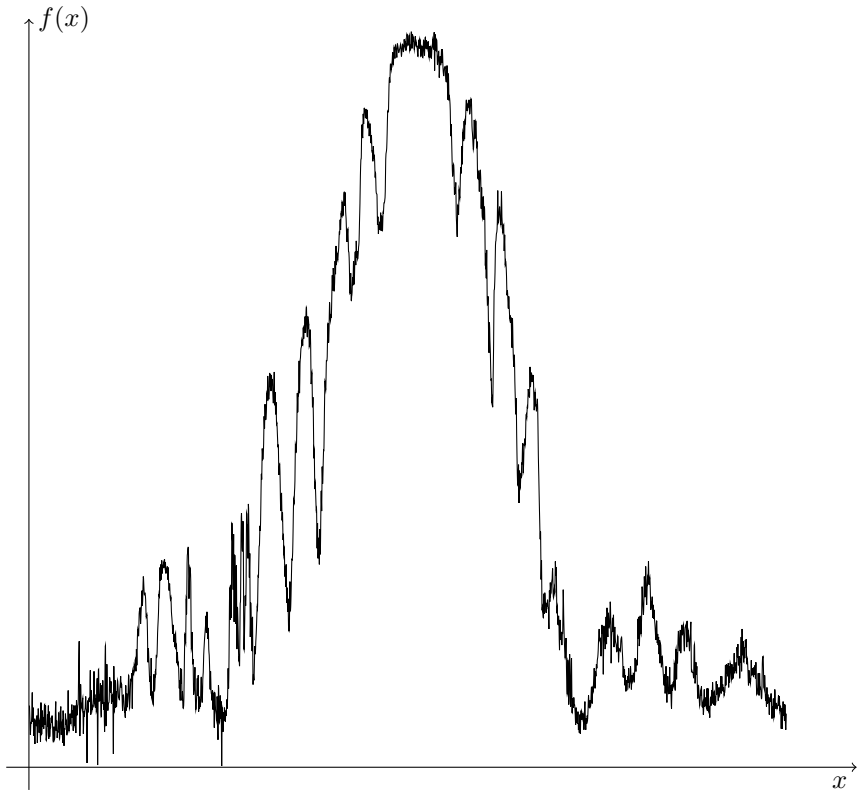
É notável o erro imenso que foi carregado para o resultado final. Isso se deve aos instrumentos de medição não profissionais utilizados. Entretanto, os valores sem a consideração do erro batem com o esperado, tendo comprimento de onda λ dentro do intervalo da cor verde $\lambda\ 500 - 565nm$

8.2 Fenda Dupla

A dedução da formula para achar o comprimento de onda com os dados da fenda dupla segue raciocínio parecido ao que foi usado para a simples.

$$\lambda \approx \frac{yd}{mD} \tag{7}$$

Sendo d o diâmetro do conjunto fenda-fenda, m a quantidade de pontos escuros (ou luminosos, dependendo do método) a partir do centro, D a distância da fenda até o ponto de leitura, e y a distância do centro luminoso até ultimo ponto de leitura.



Dados capturados - Fenda Dupla

Uma diferença que o padrão luminoso da fenda dupla devia apresentar é a de que seu gráfico deveria ser encapsulado pelo gráfico da fenda simples (o "pulso"central da fenda simples, tem diversos "pulsos"na fenda dupla). O gráfico é obtido juntando-se a expressão de interferência para dupla-fenda com a expressão de

difração da fenda simples. As fendas têm expessura teoricamente idênticas, cada uma das quais fornece a luz distribuída de acordo com a expressão de difração da fenda simples. A interferência da fenda dupla normalmente envolve menores dimensões espaciais e, portanto, produz faixas claras e escuras sobrepostas sobre o padrão de difração da fenda simples.

Não obtivemos resultados muito satisfatórios vindos do nosso sensor, e isso se deve à falta de precisão do mesmo. Ao ser colocado em um ponto escuro ele acaba sendo influenciado pelas luminosidades adjacentes, o que atrapalhou na fenda simples de maneira menos significativa, já que os pontos escuros eram maiores, mas atrapalhou bastante na coleta de dados para a fenda dupla.

Os cálculos para a fenda dupla seguem da mesma maneira, só mudando, no nosso caso, o valor de a, que aqui para a fenda dupla usamos d que é o espaço entre os centros das fendas, e o valor de y que medimos. A distancia D da fenda até a parede (ponto de leitura) foi de $8,94m \pm 1cm$, e o percurso todo de leitura $2y$ foi de $45.23cm \pm 1cm$. Nossa fenda dupla possui duas aberturas de $0,05mm \pm 0,04mm$ e o espaços entre os seus centros é de $0,13mm \pm 0,04mm$.

$$\begin{aligned}\lambda &\approx \frac{yd}{mD} \\ &\approx \frac{0,226 \cdot 0,00013}{6 \cdot 8,94} \\ &\approx 547.7255779 \cdot 10^{-9} \\ &\approx 547.7255779 \cdot 10^{-9} \pm 200.0843009 \cdot 10^{-9}\end{aligned}$$

Sem considerar o erro, o resultado está mais uma vez dentro do intervalo que corresponde a cor verde $\lambda\ 500 - 565nm$

9 Discussão

O experimento de Young é um dos enigmas da ciência moderna. Famoso por ser uma das forma de demonstração da dualidade do fóton - como visto na sessão 1.1. Foi possível observar através deste experimento que a reação que ocorre com as ondas ao se passar por frestas com valores próximos do seu comprimento de onda, também ocorrer com a luz. Em especial neste experimento ao laser. Esta interferência observada em um sinal de luz rigorosamente orientado como o laser nos remete ao fator de que, há no fóton uma onda que apresenta uma difração que se enquadra no caso na Difração de Fraunhofer. Características já fundamentadas e bem parametrizadas, observadas de demais fontes de ondas, como é em [4], onde há inclusive uma demonstração para obter a equação que caracteriza a intensidade de onda observada na superfície, descrita na equação 8.

$$I(\beta) = I_0 \frac{sin^2\beta}{\beta^2} \tag{8}$$

Sendo I_0 o valor de intensidade máxima da luz observado no intervalo β, obtendo assim valores mínimos para $\beta = \pm n\pi$ e valores máximos relativos nas raízes de $\beta = tg(\beta)$.

10 Conclusão

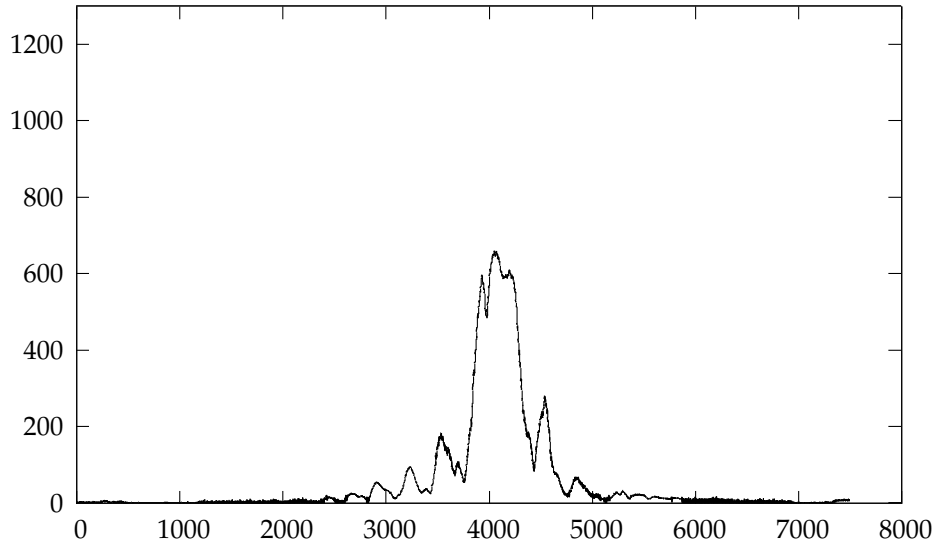
A explicação de por que este efeito ocorrem em fótons ainda é um mistério para a ciência, sendo a dualidade uma das alternativas encontradas para se explicar o efeito observado, porém é um resultado empírico oriundo de experimentos onde apenas os efeitos são observados, e é de um grande grupo de fótons, o que dificulta ainda mais a constatação de que apenas o elemento tem este comportamento, devido a dificuldade de realização do experimento com apenas um fóton.

Outro fator que veio a induzir erros em nossos resultado é a necessidade de uma distancia grande para que o sensor de luminosidade não sofresse interferências de franjas de luminosidade adjacentes. Em decorrer disto, nossa medida estava com um erro de cerca de $\pm 1cm$ da distancia do laser ate a superfície de observação, o que poderia vir a interferir e muito nos valores calculados. Infelizmente, o range que abrangia o erro na amostra para a fenda simples por exemplo, abrangia todo o espectro visível, mesmo estando centrado na coloração correta - verde. Para fins didáticos podemos tomar que os valores estão corretos, já que engloba o espectro visível, porém para fins científicos, seria fundamental que o experimento fosse realizado com ferramentas de precisão, tanto para a verificação das medidas, como para a coleta da intensidade de luz, já que este processo de passar o sensor na frente do feixe de luz foi feito de forma manual e sem grande precisão para manter a velocidade do sensor de forma uniforme.

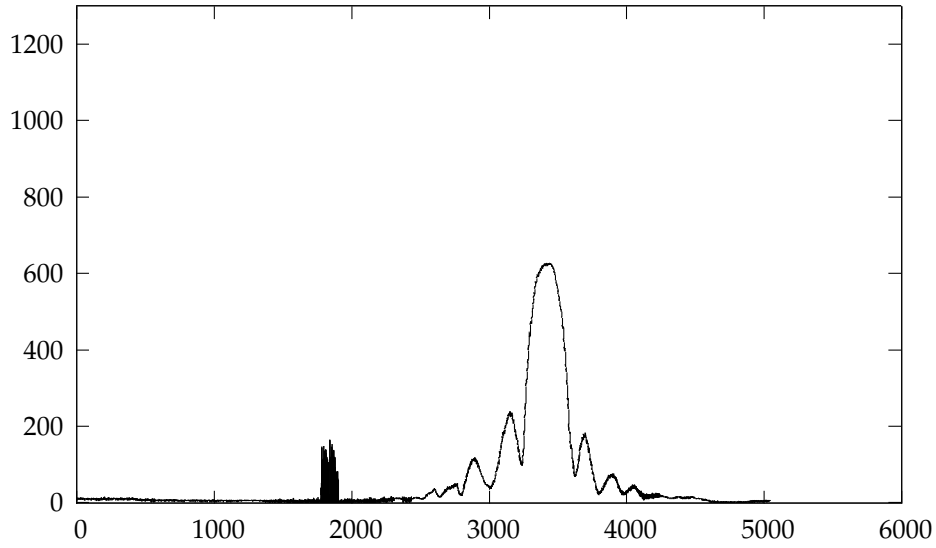
11 Amostras - laser vermelho

Distancia da fresta ao objeto = $872.0 \pm 1\,\mathrm{cm}$ Largura do laser no objeto = $11.35 \pm 5 \times 10^{-2}\,\mathrm{mm}$

1) Verificação da colheira do sinal na fenda dupla.

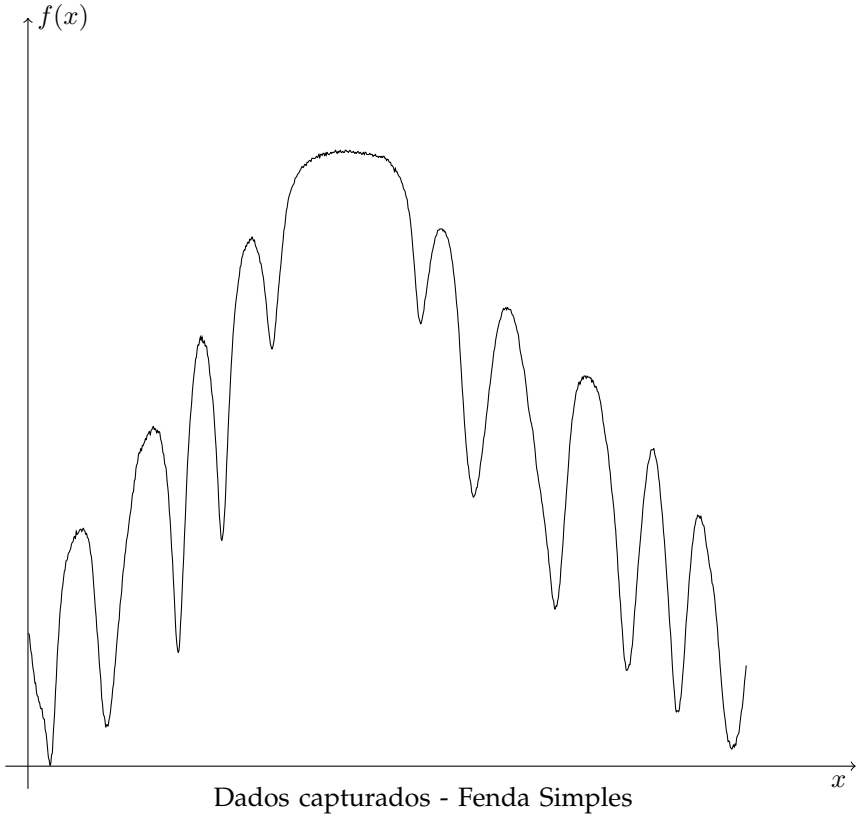


2) Colheita do sinal na fenda dupla - houve uma leve falha no inicio devido à localização do sensor em frente ao sinal da difração



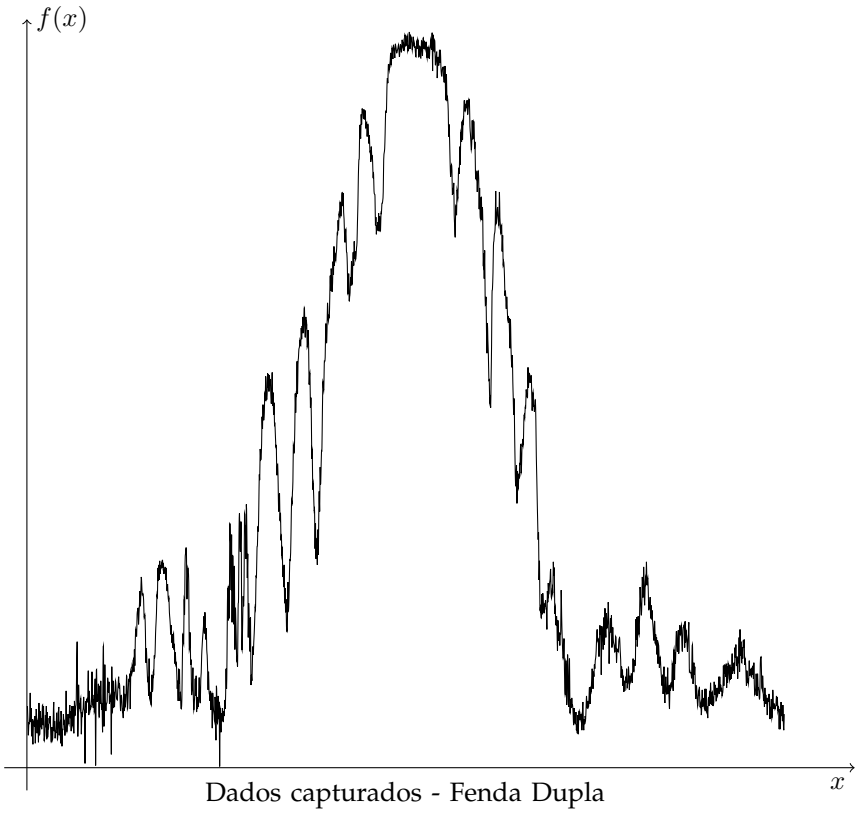
12 AMOSTRAS - LASER VERDE

1) Fenda simples, laser verde



Dados capturados - Fenda Simples

2) Fenda dupla, laser verde



Dados capturados - Fenda Dupla

REFERÊNCIAS

[1] RIGONI, F. *Arduino development with Eclipse*. [S.l.]. Disponível em: <http://horrorcoding.altervista.org/arduino-development-with-eclipse-a-step-by-step-tutorial-to-the-basic-setup/>. Acesso em: 15 de dezembro de 2012.

[2] LIECHTI, C. *pySerial API*. [S.l.]. Disponível em: <http://pyserial.sourceforge.net/pyserial_api.html>. Acesso em: 20 de dezembro de 2012.
[3] XAV, D. *High quality plots for LaTex with PGF-Tikz and Gnuplot*. [S.l.]. Disponível em: <http://d.xav.free.fr/tikz/index.html>. Acesso em: 15 de janeiro de 2013.
[4] ZILIO, S. C. *Óptica Moderna*. 1^{th}. Fotônica, IFSC-USP, 2009. 169 p. Disponível em: <http://www.scribd.com/doc/40016686/55/Difracao-de-Fraunhofer>. Acesso em: 15 de janeiro de 2013.

APÊNDICE A
CÓDIGOS FONTES

Listing 8: Código principal do Microcontrolador

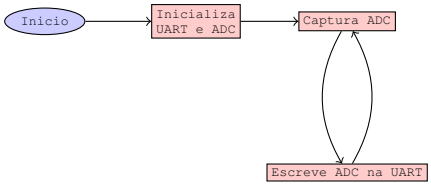
```
/**
 * Test model for Arduino - UNO
 */


#include <Arduino.h>
//#include <SD/SD.h>
#include <SPI.h> //inclusão da biblioteca SPI
#include <Ethernet/Ethernet.h> //inclusão da biblioteca Ethernet
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

/// The setup() method runs once, when the sketch starts
void setup()
{
    // initialize the default debug output:
    Serial.begin(9600);
    //Serial.print("#Initializing serial support...if you hear me, debug is ready!\n");
    // Seeding the rand
    srand(9600);

}

/// the loop() method runs over and over again,
/// as long as the Arduino has power
void loop()
{
static int i=0;
char buf[20];

    //sprintf(buf,"%d %d\n",i++,5*analogRead(0)/1023 ); //! Valores convertidos
    sprintf(buf,"%d %d\n",i++,analogRead(0) );
                //! valores brutos
    Serial.print(buf);
    //delay(1000);                  // wait for a second
}

/**
 * This is the standard main function. On Arduino, it's NEVER changes.
 * @return the standard returns that the main should return.
 */
int main(void)
{

    init(); //! Initialize the pins I/O and standard configures.
    setup();    //! Call the user's setup function.

    //! The eternal loop
    while(true) {
    loop();
    }

    return 0;
}
```

Listing 9: Código principal de exibição dos dados

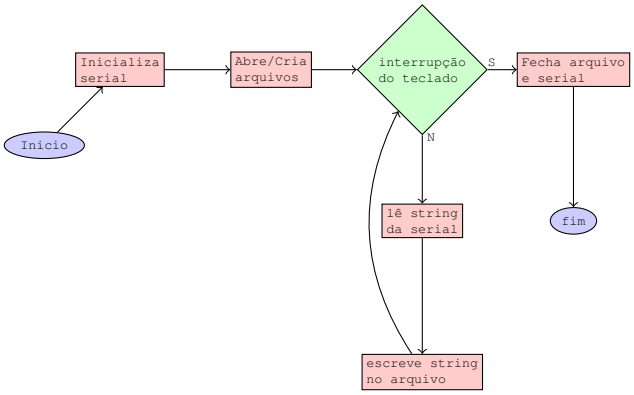
```
#!/usr/bin/python
# -*- coding:utf-8 -*-

import serial        # metodos para a serial
import os            # metodos para SO
import subprocess    # para subprocessos ( gnuplot)
import sys           # para ter acesso aos parametros
import curses        # para a biblioteca curses

"""
import signal        # pegando sinais como em C

def signal_handler(signal, frame):
    print 'You pressed Ctrl+C!'
    sys.exit(0)

signal.signal(signal.SIGINT, signal_handler)
"""

try:
    ser = serial.Serial(sys.argv[1],9600)
    ser.open()
except IndexError:
    print "Passe uma porta existente com o parametro!"
    print "\teg.: python " + sys.argv[0] + " /dev/ttyUSB0"
    print "\teg.: ./" + sys.argv[0] + " /dev/ttyUSB0"
    sys.exit(0)
except IOError as e:
    print("({})".format(e))
    sys.exit(0)
    raise

if ser.isOpen() & ser.readable():
    f=file('./saida.txt','w')
    fx=file('./trabalhada.dot','w')
    fx.write("(0,0) " )
    print "Porta aberta!"

else:
    print "Porta não acessível"
    sys.exit(0)

vsel=0
l_vsel=1
teste=True
#limpa tela e buffer
#os.system('clear')
ser.flushInput()

stdscr = curses.initscr()
curses.noecho()

#print "Aperte Ctrl+C para terminar a leitura\n\n"
stdscr.addstr (0,0,"Aperte Ctrl+C para terminar a leitura\n\n",curses.A_BOLD)
stdscr.addstr (1,0,"!")
while teste:
    try:
        msg = ser.readline()
        #print  msg,
        stdscr.addstr (3,0,msg,curses.A_REVERSE)
        stdscr.refresh()
    except KeyboardInterrupt:
        teste=False
        break

    finally:
        try:
            f.write(msg)
            if (l_vsel == eval(msg.split(" ")[0]) ):
                l_vsel=l_vsel+1
            else:
                raise
            vsel = eval(msg.split(" ")[0])/10.0
            fx.write("-- (%.2f,%.2f) " % (vsel, eval(msg.split(" ")[1])/100.0  ) )
            if (vsel > 5):
                stdscr.addstr (1,0,"  ")
            else:
                stdscr.addstr (1,0,"!")
            stdscr.refresh()
        except:
            ser.close()
            ser.open()
            f=open('./saida.txt','w')
            fx=open('./trabalhada.txt','w')
            try:
                if len(msg) > 1:
#                    print "\rFalha na sincronização!\n\rFoi capturado contudo inválido \t" + msg
                    stdscr.addstr (1,0,"!")
#                    stdscr.refresh()
            except:
                print "\rNão foi capturado nada!"
                curses.nocbreak(); stdscr.keypad(0); curses.echo()
                curses.endwin()
                ser.close()
                f.close()
                fx.close()
                sys.exit(0)


stdscr.addstr (5,0, "\r   \nFim da leitura!")
ser.close()

stdscr.addstr (6,0, "Fechando arquivo \"saida.txt\"")
f.close()
fx.close()
stdscr.addstr (7,0, "Serial fechada. Abrindo o GNUPLOT")
stdscr.refresh()

proc = subprocess.Popen(['gnuplot','-p'],
                        shell=True,
                        stdin=subprocess.PIPE,
                        )

#Margem segura para visualizar os dados
proc.stdin.write("set yrange [-1:1300]\n")
proc.stdin.write("plot 'saida.txt' with lines\n")
proc.stdin.write("pause mouse\n")

```

```
119 stdscr.addstr (8,0, " Clique na figura para fecha-la ",curses.A_BOLD)
120 stdscr.addstr (25,25, " ")
121 stdscr.refresh()
122
123 #proc.stdin.write("set terminal latex\n")
124 #proc.stdin.write("unset key\n")
125 #proc.stdin.write("set output \"graph.tex\" \n")
126
127 proc.stdin.write("set table\n")
128 proc.stdin.write("set output \"graph.table\" \n")
129 proc.stdin.write("set format \"%.5f\"\n")
130 proc.stdin.write("plot 'saida.txt'\n")
131 proc.stdin.write("quit\n")
132 proc.wait()
133 #proc.terminate()
134
135 stdscr.addstr (9,0, "\n\nGráfico gerado. \nSaindo\n")
136 stdscr.refresh()
137
138 curses.nocbreak(); stdscr.keypad(0); curses.echo()
139 curses.endwin()
140
141 print "Programa concluído com sucesso"
```

APÊNDICE B
ANEXOS



Fluxograma do microcontrolador



Fluxograma do computador

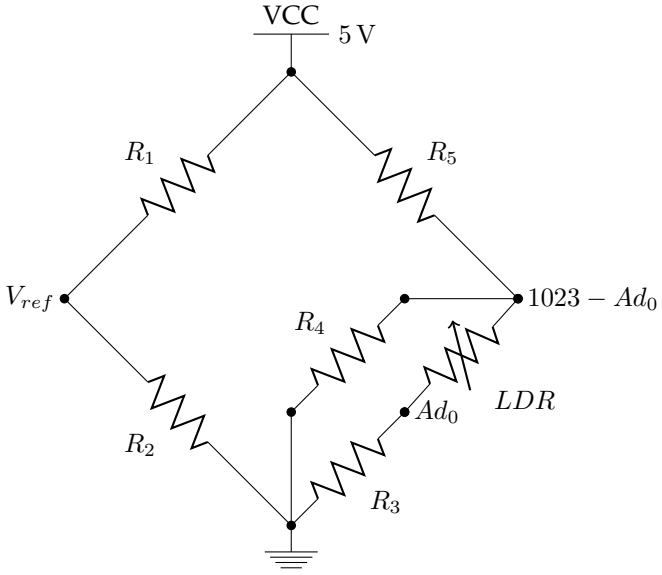


Figura 14: Idealização do circuito do LDR

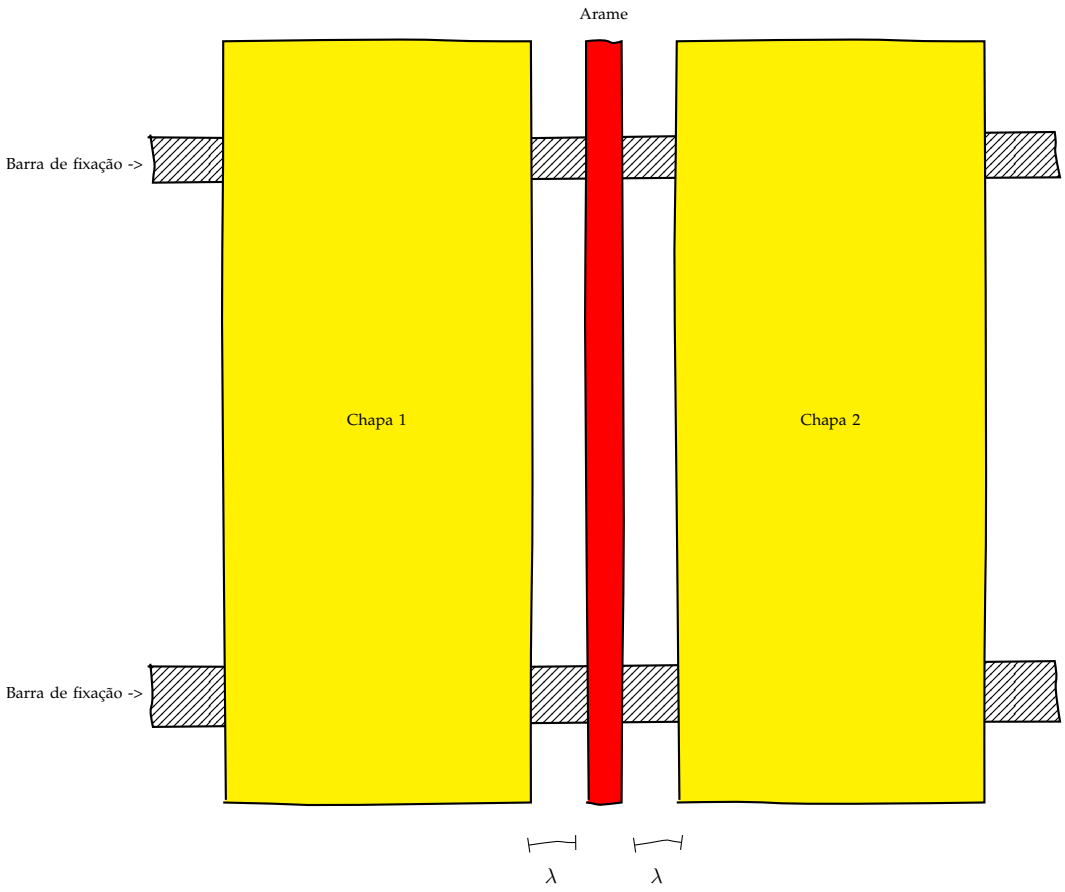


Figura 15: Fenda dupla

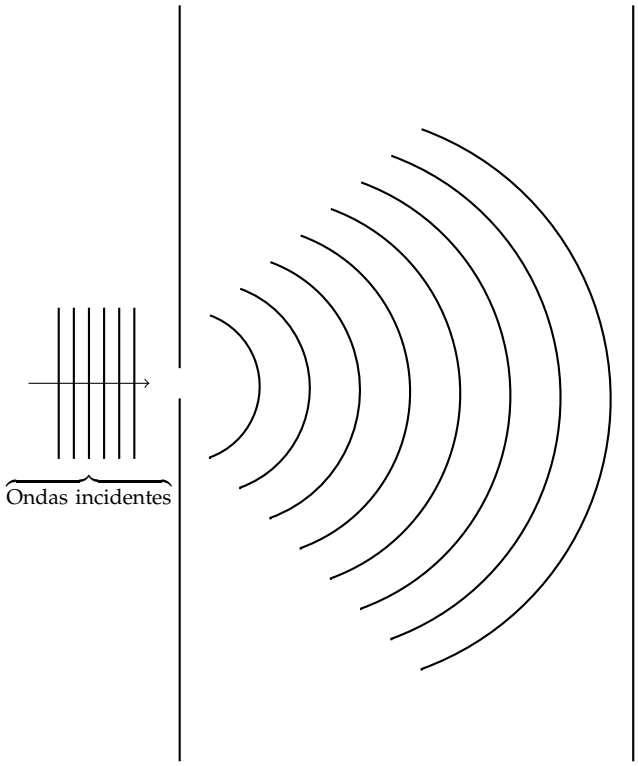


Figura 16: Difração em fenda simples

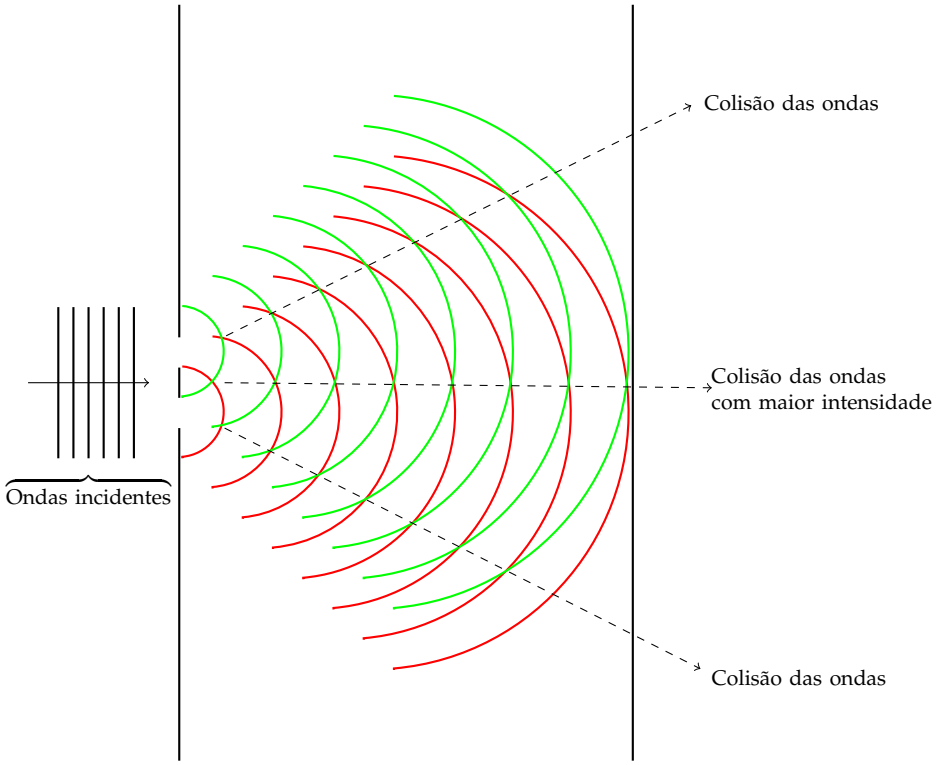


Figura 17: Difração em fenda dupla