

## 1 – Projeto

### Medir a Constante de Planck utilizando LEDs

**Descrição:** Os diodos emissores de luz (LEDs) estão presentes no cotidiano das pessoas, e em geral, os princípios de seu funcionamento são desconhecidos dos usuários. Mesmo alguns estudantes que conhecem algo da operação de um LED, desconhecem ou não associam seu comportamento à Mecânica Quântica. O objetivo desse projeto é apresentar os conceitos de Física Quântica presentes nos LEDs, e determinar experimentalmente o valor da constante de Planck.

**Importância didática:** O trabalho visa principalmente os alunos de ensino superior cursando as disciplinas de física básica ou alunos de ensino médio que estejam tendo contato com física moderna. A importância deste trabalho está em mostrar um fenômeno quântico ocorrendo num componente simples, barato e abundante.

Tornar quantitativa uma informação qualitativa associada à emissão de luz auxilia a construção de modelos abstratos e de sua associação com resultados observáveis no cotidiano, aproximando os conceitos de quantização de energia do universo dos estudantes.

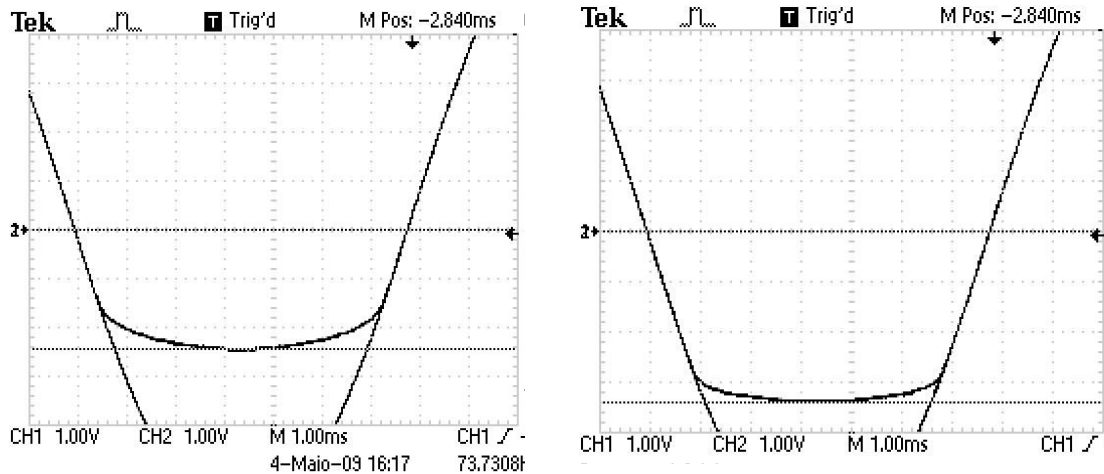
**Originalidade:** O trabalho já foi feito em universidades estrangeiras como a Youngstown State University em Ohio e já foi citado na Física na Escola, suplemento semestral da Revista Brasileira do Ensino de Física. Porém, neste experimento, tentaremos aprimorar o modelo já contruído com o objetivo de conseguir maior precisão. Ao invés de medirmos a tensão de corte do LED observando sua intensidade de luz (o que também será realizado), tentaremos monitorar a corrente no circuito de modo a diminuir a influência da limitação imposta pela sensibilidade do olho humano à emissão de luz.

#### Lista de Materiais:

- LEDs de diversas cores
- Placa de Circuito Impresso
- Suporte para 4 pilhas AA (1,5V)
- Potenciômetro
- Cabos com jacaré
- Multímetro
- Amplificador Operacional OP741
- Espectrômetro para medida de comprimento de onda do LED.

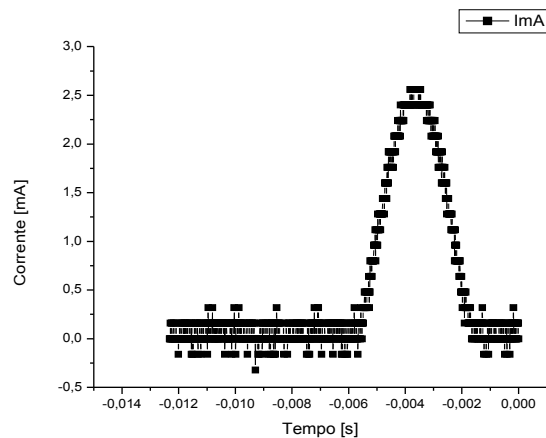
## 2- Resultados Atingidos:

Foram realizadas duas montagens para se determinar o ponto no qual o LED começava a conduzir. Uma delas, utilizando pilhas como fonte de tensão contínua, um potenciômetro e um resistor. Com esta montagem, já foi possível observar as limitações do multímetro em medir correntes pequenas com precisão o que motivou numa reelaboração do circuito. A outra montagem, utilizando um gerador de sinais alternados como fonte e um osciloscópio para monitoramento da tensão no circuito. Com o osciloscópio, obteve-se uma tabela com os pontos Tensão X Tempo para as tensões medidas sobre o Led e sobre a fonte com os quais foi possível observar o ponto no qual começa a circular corrente através do diodo.



Curvas VxT sobre o Led Vermelho e Violeta

Após tratar os dados exportados do osciloscópio para as curvas Tensão x Tempo, foi obtida a curva de corrente no LED em relação ao tempo. Com isso, observa-se o instante em que começa aparecer corrente no circuito, isto é, que o LED começa a conduzir. No entanto, há muito ruído na medida que precisará ser refeita.

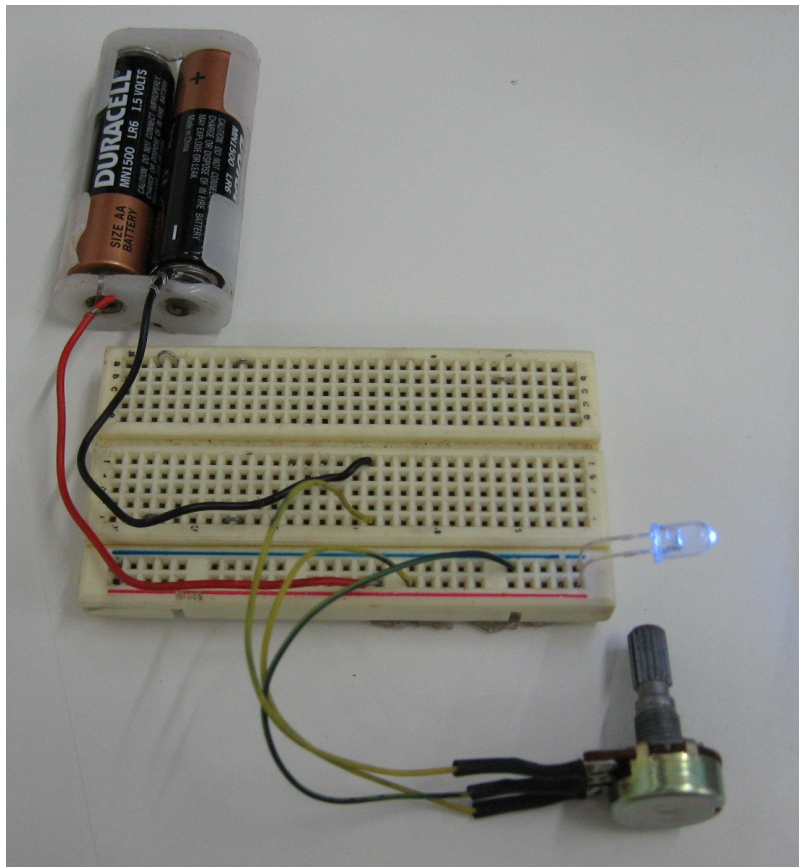


Curva Corrente X Tempo para o Led Violeta

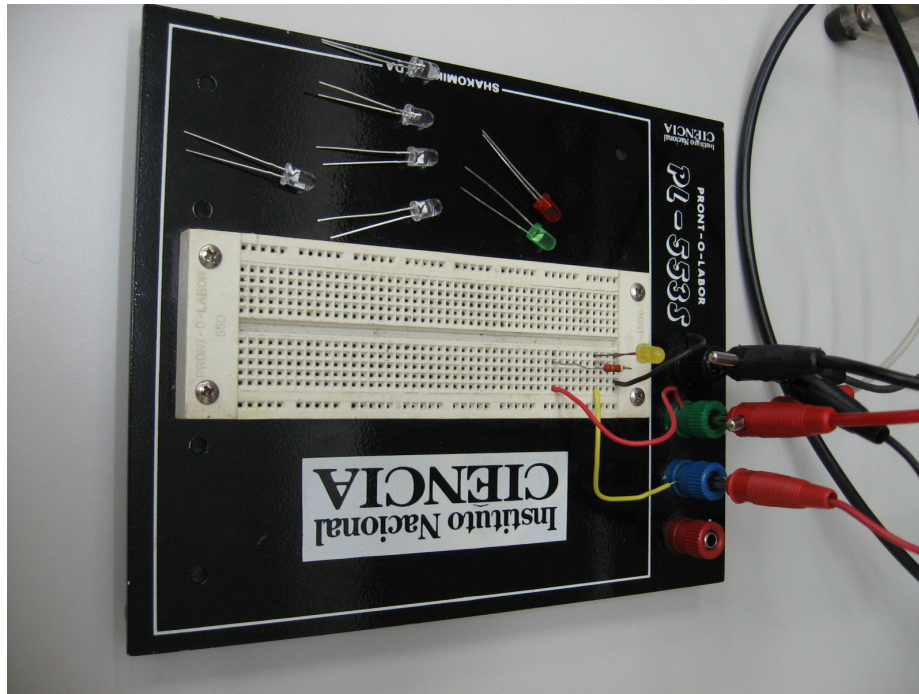
Utilizando uma fotomultiplicadora acoplada a uma rede de difração, foram medidos os comprimentos de onda dos Leds cuja intensidade de emissão é máxima. Os valores medidos seguem abaixo:

Led Azul ----- 466nm  
Led Violeta ---- 409nm  
Led Laranja ---- 599nm  
Led Vermelho-- 674nm  
Led Verde ----- 528nm

### 3- Fotos



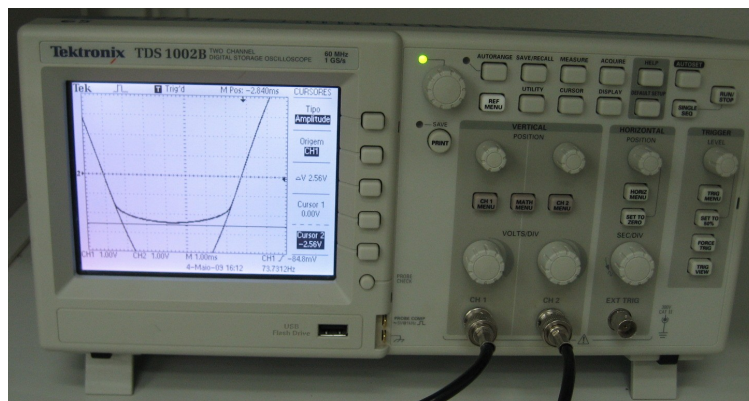
Montagem para determinar a tensão de corte utilizando pilhas como fonte DC



Circuito com os Leds e o divisor de tensão

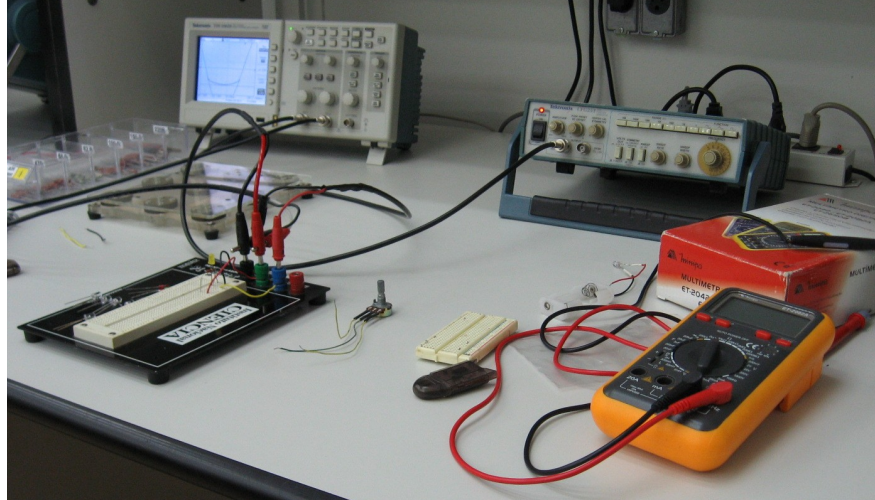


Gerador de sinais usado como fonte para os Leds

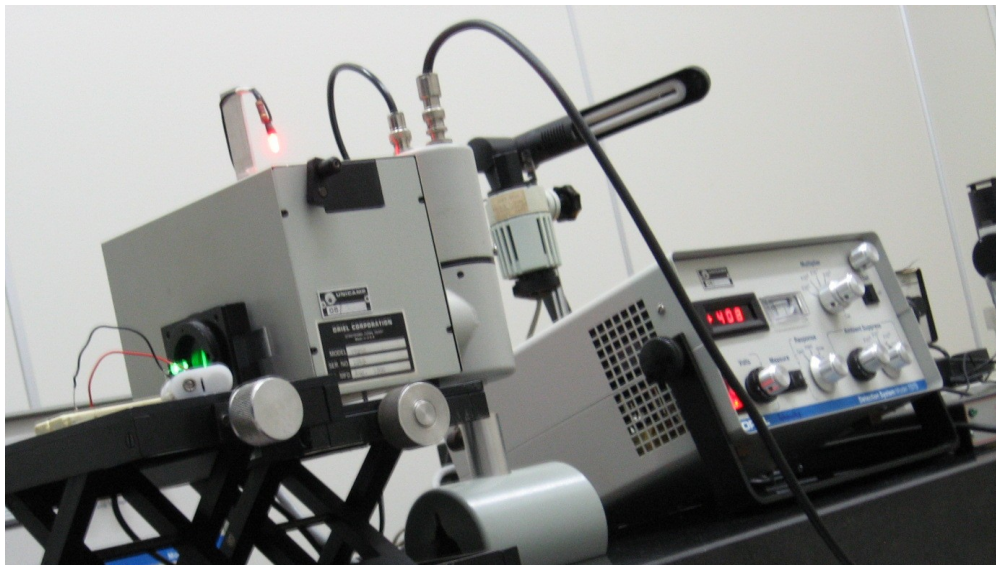


Osciloscópio mostrando em detalhe a forma de onda de condução do Led Violeta

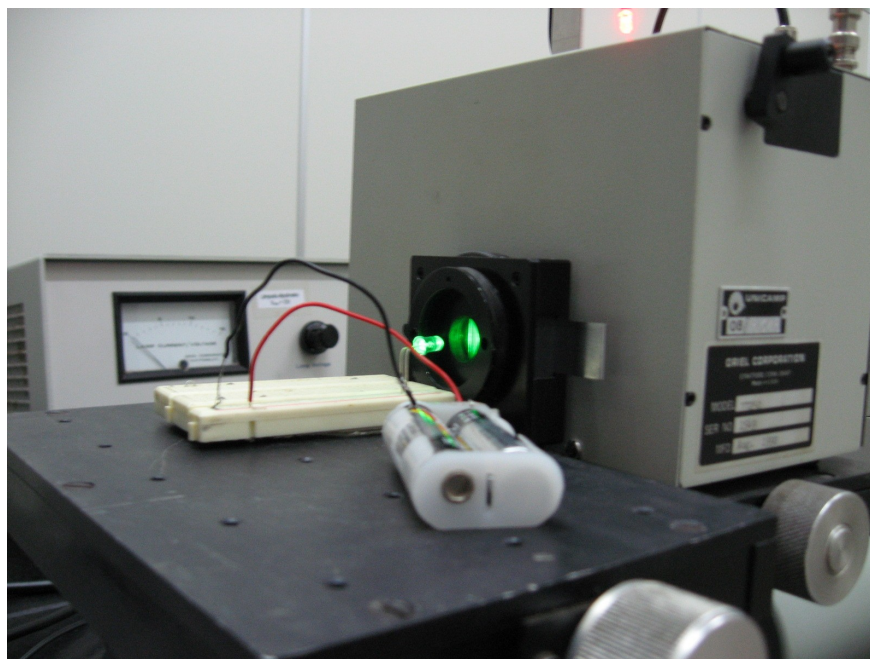




Bancada com os equipamentos de medida AC operando e o suporte para pilha e potenciômetro usados para as primeiras montagens do circuito DC.



Medindo o comprimento de onda do Led Verde



LED Verde posicionado na grade de difração

#### **4- Dificuldades encontradas**

Ao se montar o circuito com fonte de tensão contínua para se medir a corrente utilizando um multímetro observou-se uma grande imprecisão do aparelho para pequenas correntes. A oscilação da medida no display trazia grande incerteza sobre o ponto de tensão de corte do Led. Este problema já foi resolvido medindo-se a queda de tensão sobre um resistor em série com o Led e determinando a corrente pela Lei de Ohm.

Os dados obtidos do circuito com fonte AC apresentaram informações dentro do esperado, porém, o ruído na medida dificultou um pouco o tratamento dos dados. Para melhorar a confiabilidade das medidas, o ensaio será feito novamente utilizando cabos e conexões mais confiáveis. Os comprimentos de ondas medidos foram próximos ao divulgado nas folhas de dados dos fabricantes, porém foram observadas variações do comprimento de onda para diferentes tensões na fonte de modo que, para maior confiabilidade, as medidas deverão ser feitas novamente utilizando tensões baixas próximas à tensão de corte. Os Leds com encapsulamento colorido não apresentaram um pico de emissão bem definido sendo que a intensidade máxima de emissão para o Led vermelho se estendeu por uma faixa de 20nm.

#### **5- Pesquisa**

A pesquisa foi realizada essencialmente utilizando referências em inglês e português na internet utilizando as palavras-chave:

LED; Planck; Constante; Medir;

LED, Planck; Constant; Measure;

LED, Planck; Constant; Medición;

**Referências:**

[http://www.if.ufrgs.br/~marcia/laboratorio\\_LED.pdf](http://www.if.ufrgs.br/~marcia/laboratorio_LED.pdf)

<http://web.phys.ksu.edu/vqm/tutorials/planck/>

<http://pt.wikipedia.org/wiki/LED>

**Referências usadas no trabalho:**

I-

[http://www.physics.uncc.edu/PhysStaff/LabMgr/Advanced\\_Lab/adv\\_lab\\_S06/Exp-11.pdf](http://www.physics.uncc.edu/PhysStaff/LabMgr/Advanced_Lab/adv_lab_S06/Exp-11.pdf)

Este trabalho, publicado pelo departamento de Física da UNC Charlotte faz uma análise detalhada do comportamento do LED e como se comportam as lacunas e os elétrons livres da junção P-N que foi bastante útil para escrever a teoria apresentada neste relatório. Há também esquemas de circuitos utilizados para fazer as medições da tensão de corte, porém não serão utilizadas devido à pequena precisão da medida de corrente utilizando multímetros como notei em meus testes.

II-[http://www.lhup.edu/krange/courses/chem321/labs/LED\\_h.pdf](http://www.lhup.edu/krange/courses/chem321/labs/LED_h.pdf)

Este guia experimental do professor Kevin Range da Universidade da Pennsylvania propõe a utilização de amplificadores operacionais para reduzir os erros das medidas a partir de um conversor de corrente para voltagem, idéia já cogitada para o experimento no início do projeto e de um amplificador de ganho unitário para diminuir a interferência dos equipamentos de medição na corrente do circuito.

III-<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/exper-fis-mod.pdf>

O Artigo, publicado na revista “A Física na Escola” Volume 6, n.1, aborda o experimento de maneira objetiva fazendo a análise do diagrama de energia dos elétrons e lacunas dos materiais N e P. Além disso, explicou a aproximação que deve ser feita para se considerar que toda energia recebida pelo elétron através da fonte é perdida em forma de luz.

**6- Descrição Teórica**

Os leds são dispositivos semicondutores formados pela junção de dois materiais onde impurezas são adicionadas de modo a se obter excesso ou falta de elétrons, processo denominado de dopagem. Quando a dopagem é feita de modo a se obter excesso de elétrons, obtemos um material do tipo N, no caso de falta de elétrons (lacunas) o obtemos um material do tipo P. Ao serem colocados em contato, alguns elétrons livres do material N se combinam com lacunas do material P e forma-se uma região livre de portadores de carga. Para que os elétrons restantes se combinem com as lacunas, eles precisam atravessar essa região, chamada de zona de depleção, recebendo energia fornecida pela fonte. Quando a junção passa a conduzir, os elétrons do material N se combinam com as lacunas do material P emitindo energia predominantemente em forma de luz, no caso dos Ledss. Essa energia é quantizada e diretamente proporcional à frequência da luz emitida. Ao se analisar o diagrama de bandas, nota-se que a energia perdida é igual a energia do gap, que é a diferença entre a banda de condução e a banda de valência. A energia do gap dividida pela carga do elétron é a tensão necessária que deve ser aplicada ao led para que ele comece a conduzir.

A lei de conservação de energia nos permite escrever:

$$eV_{\text{corte}} = E_{\text{gap}} + \Delta E_F$$

Onde  $\Delta E_F$  contém os efeitos no nível de Fermi e a redistribuição dos elétrons e lacunas após a interação. Porém, este valor é pequeno em relação a energia que separa a banda de condução da banda de valência,  $E_{\text{gap}}$ , e portanto pode ser desprezado. Deste modo temos que:

$$eV_{\text{corte}} = E_{\text{gap}}$$

A radiação emitida pelo LED é proporcional a energia perdida pelo elétron ao transitar da banda de condução à banda de valência onde se encontram as lacunas.

Portanto, temos que:

$$eV_{\text{corte}} = hf$$

onde  $f$  é a frequência da luz emitida e  $h$  a constante de Planck.

### **7- Declaração do orientador:**

“Meu orientador concorda com o expressado neste relatório parcial e deu a seguinte opinião:

O relatório indica atividades iniciais de medidas, dados brutos, que ainda necessitam ser refinados, tanto sob o aspecto teórico, quanto de medidas experimentais mais precisas. Existem indicativos inequívocos de que o projeto está caminhando a contento.

Ao observarmos as curvas no osciloscópio surgiu a idéia de comparar distintas técnicas experimentais para a detecção da tensão de limiar onde os leds começam a emitir luz pode indicar resultados interessantes, a partir de melhores medidas experimentais.

Uma outra possibilidade interessante para discutir as concepções prévias são os Leds com encapsulamento colorido e com encapsulamento transparente: de onde vem a cor da luz, do encapsulamento ou da junção? Do ponto de vista didático-expositivo, choques desse tipo são interessantes. Mostrar que não é o encapsulamento o responsável pela cor da luz.

Mauricio Kleinke

### **8- Horário de Apresentação:** Quarta-feira qualquer horário