

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA**

HELIOMÁRZIO RODRIGUES MOREIRA

**MINICURSO DE INTRODUÇÃO À ASTRONOMIA INSTRUMENTAL COM KIT
PARA SMARTPHONE E TELESCÓPIO**

FORTALEZA

2019

HELIOMÁRZIO RODRIGUES MOREIRA

MINICURSO DE INTRODUÇÃO À ASTRONOMIA INSTRUMENTAL COM KIT PARA
SMARTPHONE E TELESCÓPIO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Formação de professores de física em nível de mestrado.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Brito de Freitas.

FORTALEZA

Agosto 2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- M837m Moreira, Heliomárzio Rodrigues.
 MINICURSO DE INTRODUÇÃO À ASTRONOMIA INSTRUMENTAL COM KIT PARA
 SMARTPHONE E TELESCÓPIO / Heliomárzio Rodrigues Moreira. – 2019.
 121 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Mestrado
 Nacional Profissional em Ensino de Física, Fortaleza, 2019.
 Orientação: Prof. Dr. Daniel Brito de Freitas.
1. Minicurso. 2. Cultura maker. 3. Astronomia. 4. Kit. 5. Smartphone. I. Título.

CDD 530.07

HELIOMÁRZIO RODRIGUES MOREIRA

MINICURSO DE INTRODUÇÃO À ASTRONOMIA INSTRUMENTAL MAKER COM
KIT PARA SMARTPHONE E TELESCÓPIO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Formação de professores de física em nível de mestrado.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Daniel Brito de Freitas (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Carlos Alberto Santos de Almeida
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Luciana Angélica da Silva Nunes
Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

A Deus.

Aos meus pais, familiares e amigos.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, o presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Ao Prof. Dr. Daniel Brito de Freitas, pela excelente orientação.

Aos professores participantes da banca examinadora Dr. Carlos Alberto Santos de Almeida e Dra. Luciana Angelica da Silva Nunes pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos colegas da turma de mestrado, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas.

Aos colégios Antares e Farias Brito que me permitiram a realização dos experimentos e as aplicações do *kit* de Astronomia com minhas turmas de Física e Astronomia.

Aos meus diletos alunos e alunas de Física e Astronomia, participantes de cada etapa dos trabalhos de pesquisa e aplicação do *kit* de Astronomia.

Especialmente à minha esposa e filho que ajudaram na revisão textual em total apoio e compreensão pelas horas dedicadas ao projeto.

“Inovação exige novas ideias, a educação tem uma responsabilidade frente à tradição.”

Seymour Papert

RESUMO

Um dos *gadgets* mais usados pelos jovens hoje em dia são os *smartphones*. Em seus objetivos, o produto educacional apresenta a proposta de um minicurso prático de Astronomia com a construção de um adaptador e um espectroscópio para o uso com o *smartphone* em um telescópio permeando a cultura *maker*, e “faça você mesmo”. O *kit* será apresentado como um conjunto de desafios para os participantes, que precisarão fazer seus projetos com criatividade, explorar possibilidades, sendo experimentadores que aprenderão com os erros e acertos. O trabalho em equipe auxilia na troca de ideias, que ajuda no desenvolvimento de competências e habilidades no ambiente escolar. A câmera do *gadget* e os aplicativos de Astronomia associados a técnicas de obtenção de imagem, identificação de objetos celestes, o manuseio do telescópio e o *kit* ajudarão nos registros de imagens de estrelas, planetas e Lua e seus respectivos espectros luminosos pelo telescópio. A abordagem dos temas astronômicos em aulas de Física do Ensino Médio resume-se a pequenos trechos em óptica e gravitação que ficam restritos a eclipses lunares e solares, ou nas Leis de Kepler e Newton, dependendo do roteiro da aula e da escola, sem uma contextualização significativa para o estudante. Enquanto isso a Astronomia é tema em grandes descobertas e essas notícias parecem passar despercebidas em sala de aula. A partir de uma proposta para a turma de Física, são mostradas as possibilidades de se fazer imagens do céu noturno envolvendo observações ao telescópio. Os estudantes são convidados para participar de um minicurso de cinco encontros com atividades em sala de aula e a céu aberto, em horários previamente combinados com a Escola a envolver o estudante com projetos investigativos e colaborativos com desafios, montagem e aplicação de ferramentas que servirão de auxílio nas obtenções de imagens e espectros astronômicos com um *smartphone*. Aplicativos, técnicas de astrofotografia e Física experimental são usados na compreensão dos fenômenos físicos envolvidos no processo de registro das imagens astronômicas. Conceitos de óptica, ondulatória e astrofísica são introduzidos. Dá-se destaque à difração da luz para o registro de imagens. A avaliação é continuada, ocorrendo por todo o evento, culminando em um debate no último dia. Há sugestões de atividades com questões para os que desejarem. Assim, em um ambiente mais participativo onde o registro de estrelas, das fases lunares e planetas possibilitam a contextualização das aulas de Física tornando-as mais atrativas ao estudante do Ensino Médio.

Palavras-chave: Minicurso. Cultura maker. Difração. Smartphone. Kit. Astronomia.

ABSTRACT

One of the gadgets most used by young people today are smartphones. In its objectives, the educational product presents the proposal of a practical mini-course of astronomy with the construction of an adapter and a spectroscope for the use with the smartphone in a telescope permeating the Maker culture, and "do it yourself". The kit will be presented as a set of challenges for participants, who will need to do their projects with creativity, explore possibilities, and be experimenters who will learn from mistakes and hits. The cooperation work will help them to trade some ideas to develop some skills at the school ambient. The gadget's camera with the astronomy apps associated with the technique of image taking, celestial objects identification, telescope handling and the kit, will help to register images of the stars, planets and the moon getting their related luminous specters by the telescope. The astronomy approach at the physics classes at the high school Physics classes is restricted to small stretches of optics and gravitation that are restricted to lunar and solar eclipses, or in the Laws of Kepler and Newton, depending on the school script and the school itself, without a significant contextualization for the student. While the astronomy is featured on big discoveries, those news pass far of the classroom. Meanwhile Astronomy is the subject of great breakthroughs and this news seems to go unnoticed in the classroom. From a proposal for the physics class are shown the possibilities of making images of the night sky involving observations to the telescope. Students are invited to attend a short course of four lessons with activities in the classroom and open-air, at times previously agreed with the School to involve the student with collaborative and investigative projects with challenges, assembling and application of tools that will aid in obtaining astronomical images and spectra with a smartphone. Applications, astrophotography techniques and experimental physics are used to understand the physical phenomena involved in the process of recording astronomical images. Concepts of optics, wave and astrophysics are introduced. Emphasis is given to light diffraction for image register. The evaluation is continued, occurring throughout the event, ending on a debate at the last day. The continue evaluation lasts for the whole event. There are some suggestions of activities with questions for those who want. At this form, on a more participative ambience, the registration of the stars, moon phases and planets possibility the contextualization of physics classes making them more attractive to the high school student.

Keywords: Mini-course. Maker culture. Diffraction. Smartphone. Kit. Astronomy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	A cratera de Grimaldi no limbo oeste lunar	7
Figura 2	O princípio de Huygens e a formação de nova frente de onda	8
Figura 3	Obstáculo com o furo aonde chega a frente de onda esférica Σ	9
Figura 4	Orifício com P' localizado no plano $z = 0$	10
Figura 5	Visão ampliada do perfil e frente do anteparo com fenda estreita.	11
Figura 6	A função $(\sin^2 V)/V^2$ com seus máximos e mínimos	13
Figura 7	A abertura da franja central.	13
Figura 8	Abertura circular com centro das coordenadas em O.	14
Figura 9	O Gráfico da função $J_1(u)$	15
Figura 10	Formação de uma figura de difração (disco de Airy).	15
Figura 11	Sobreposição de discos de difração.	16
Figura 12	A separação entre duas linhas espectrais.	18
Figura 13	Um elétron é emitido para cada fóton que incide em uma placa	19
Figura 14	A câmera do smartphone..	28
Figura 15	Exemplo fictício de um sensor quadrado de um CCd com 256 pixels	29
Figura 16	<i>Kit</i> com suporte para smartphone e espectroscópio em uma luneta	31
Figura 17	O suporte com smartphone pronto para uso	32
Figura 18	As partes do espectroscópio	33
Figura 19	O smartphone e o espectroscópio fixados à ocular do telescópio	34
Figura 20	A organização do material de trabalho	35
Figura 21	Localização de estrelas e constelações com o aplicativo <i>Sky Map</i>	37
Figura 22	O primeiro espectroscópio em uma caixa de MDF e rede de difração	39
Figura 23	Estudante testando o suporte com seu <i>smartphone</i> e uma luneta	43
Figura 24	Exemplos com variações no tempo de exposição, abertura ou ISO	44
Figura 25	A Lua na segunda noite de atividades (imagem com smartphone)	45

Figura 26	Imagens de diversos espectros registrados pelas equipes	45
Figura 27	Teste da chama com o espectroscópio e o smartphone	46
Figura 28	A separação mínima e o ângulo de visada para o olho do observador	50
Figura 29	A formação da imagem no plano focal de um telescópio	51
Figura 30	Franjas de interferência produzidas por um feixe de laser e CD	52
Figura 31	Ondas em fase na produção do primeiro máximo de interferência	52
Figura 32	Medidas com o laser violeta	54
Figura 33	Medidas com o laser verde	54
Figura 34	Medidas com o laser vermelho	54
Figura 35	Medida da rede de difração feita com pedaço de CD	55

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– O uso do smartphone pelo estudante em seu cotidiano	30
-----------	---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados das equipes	54
Tabela 2 – Resultados do novo desafio	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CCD	Charge Coupled Device
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
Full HD	Full High Definition
PVC	Polyvinyl chloride
CD	Compact Disk
ISS	International Space Station
GPS	Global Positioning System
E-ELT	European Extremely Large Telescope
HR	Hertzsprung-Russell (diagrama)
PUC	Pontifícia Universidade Católica
MIT	Massachusetts Institute of Technology
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
OBA	Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica
EREA	Encontro Regional de Ensino de Astronomia
SI	Sistema Internacional de unidades
MDF	Medium Density Fiberboard

LISTA DE SÍMBOLOS

μ	Micro
n	Nano
m	Metro
α	Alpha
λ	Lambda
θ	Theta
D	Diâmetro
$^{\circ}$	Grau (de arco)
'	Minuto (de arco)
''	Segundo (de arco)
f	Distância focal
s	Tamanho da imagem no plano focal do telescópio
f/D	Razão focal
d	Distância entre duas fendas em uma rede de difração
Δ	Diferença de caminho

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS	4
3	CONSIDERAÇÕES GERAIS	5
4	O FENÔMENO DA DIFRAÇÃO DA LUZ	7
4.1	A difração da luz	7
4.2	O Princípio de Huygens-Fresnel e a Integral de Kirchhoff	8
4.3	Difração por fenda estreita	11
4.4	A difração por uma abertura circular	13
4.5	O poder separador	16
4,6	A rede de difração	17
5	O EFEITO FOTOELÉTRICO	19
6	.O CONSTRUTIVISMO DE PIAGET.....	22
6.1	A epistemologia genética	22
7	O CONSTRUCIONISMO.....	24
7.1	Construcionismo e Construtivismo.....	24
8	A CULTURA MAKER	26
9	A CÂMERA DO SMARTPHONE	28
10	O KIT DE ASTRONOMIA	31
10.1	Descrição do suporte de smartphone para telescópio	31
10.2	Descrição do espectroscópio com rede de difração	32
10.3	A organização da sala de aula	35
10.4	A organização do material de trabalho	35
10.5	Os aplicativos mais usados	36
11	A IMPLEMENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	38
11.1	O planejamento e os primeiros testes com as montagens dos kits	38
11.2	As estratégias de trabalho	40
11.3	Mantendo a sintonia com a Escola	41
12	O RELATO DAS ATIVIDADES	42
12.1	Primeira aula	42
12.2	Segunda aula	43
12.3	Terceira aula	45

12.4	Quarta aula	46
13	EXEMPLOS DE RESULTADOS COM OS DESAFIOS DA FÍSICA	49
13.1	O poder separador de um telescópio	49
13.2	O tamanho da imagem da Lua no plano focal do telescópio	51
13.3	Experimentos e desafios com a grade de difração, um CD e o experimento de Young	51
13.4	Um exemplo resolvido de um experimento-desafio	53
14	CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
	REFERÊNCIAS	60
	PRODUTO EDUCACIONAL	63

1 INTRODUÇÃO

O smartphone é um dos *gadgets* mais utilizados pelos jovens nos dias atuais. E apesar do potencial de ser um poderoso recurso didático, algumas escolas proíbem o seu uso durante as aulas (CEARÁ, 2008). É não raro algum professor comenta algum episódio de uso indevido por parte de alguns alunos durante momentos cruciais de suas aulas, gerando desconforto para a turma e setores disciplinares.

Associado a isso, torna-se um grande desafio para o professor de Física manter a turma interessada no tema que está trabalhando principalmente quando em uma aula expositiva, com quadro e pincel. Esse discurso é muito comum em escolas com currículo com ênfase no conteúdo, fixo e delimitado (GASPAR, 2014).

Geralmente a contraparte exige resultados imediatos desse ensino enciclopédico onde os alunos precisam a qualquer custo tirar boas notas acumulando conhecimento a cada etapa de estudos, com pouco estímulo à criatividade (FREIRE, 1983).

Em algumas aulas de Física o que se nota é que o estudante memoriza expressões matemáticas, definições e conceitos para resolver problemas, mas muitas vezes não conseguem perceber essa Física em coisas simples e cotidianas. “Tudo estava perfeitamente decorado, mas significado nenhum fora absorvido”, como já constatara Feynman (2019, p. 247) sobre o ensino sem o fenomenológico e o experimental, para apenas fazer provas.

Uma atividade teórica recorre a “enunciados verbais cuja compreensão nunca é simples ou óbvia” e os “enunciados teóricos tendem à idealização e ao artificialismo, mesmo em questões abertas”, segundo Gaspar (2014, p. 25).

Generalizações distantes do que é observado na natureza, com números arredondados nas supostas medidas, que muitas vezes isola o estudante a ponto dele explicar um fenômeno e resolver questões sobre o mesmo, porém, sem reconhecer o próprio fenômeno ao se deparar com ele no cotidiano. (FEYNMAN, 2019).

Em aulas de maior interação com a natureza, como a de Astronomia com observação do céu, seja a olho nu ou com algum instrumento, o estudante tem maior proximidade com o experimental, envolvendo-se com o fenômeno e tem a possibilidade de compreender o que está exercitando naquele momento.

A Astronomia dialoga com a Matemática, a Física, a Química e outras ciências afins, na busca da compreensão do Universo. Sendo uma ciência interdisciplinar, favorece a interação do estudante com alguns fenômenos, em especial da Física. O envolvimento do

estudante a torna uma fonte motivadora para participar de atividades culturais como olimpíadas de Astronomia e Física.

A palavra Astronomia, segundo Bakulin *et al.* (1987), vem do grego *aster*, estrela e *nomos*, lei – a “lei dos astros”, é uma das mais antigas ciências, com suas subdivisões, tais como a astrometria, a mecânica celeste e a astrofísica e cosmologia, estreitando vínculos com a Matemática, a Física, a Química e o desenvolvimento científico e tecnológico.

Há o astrônomo, por titulação acadêmica. Mas por ser uma ciência que atrai a atenção do grande público, as fronteiras das graduações e pós-graduações nas academias são transpostas e vê-se dois grupos interagir com o astrônomo: o simples entusiasta que "se interessa por astronomia por uma saudável curiosidade intelectual, porém se satisfaz em atuar de maneira passiva" e os “astrônomos amadores” (NAPOLEÃO, 2014, p.452).

Para esse último grupo há mais que um “passatempo”, uma curiosidade, quando Azevedo (1959, p. 7) afirma que “não há *hobby* mais interessante e produtivo, do ponto de vista intelectual, que a Astronomia”. Esses são os que “utilizam seus instrumentos e participam efetivamente de programas observacionais, da divulgação junto ao público”, destaca Nicolini (1991, p. 10).

Os astrônomos amadores se organizam em clubes e associações que, além das atividades observacionais e de divulgação, promovem, “o ensino não formal de Astronomia e a construção de instrumentos para a observação (funções essas às quais se acresce, nos dias de hoje, o desenvolvimento de *softwares* para finalidades observacionais ou educacionais)", segundo afirma Napoleão (2014, p.452)

O astrônomo amador se envolve plenamente com sua atividade, é um exemplo de *maker*, um “fazedor”, muitas vezes projeta e constrói o seu próprio equipamento, como Azevedo e Nicolini. Há outros casos, como Feynman (2019, p. 19), que construía e consertava coisas quando criança, como rádios a válvula. Isso faz parte do “faça você mesmo”, da paixão pelo que faz, do envolvimento inventivo simbolizado por um professor pardal dos quadrinhos.

Há astrônomos amadores construtores de telescópios, desenvolvedores de equipamentos e *softwares* de astrofotografia que se encaixam nesse movimento cultural construindo, modificando e compartilhando os seus produtos. Como um *maker*, é um artesão do século XXI, segundo Camargo (2016).

Participando das atividades experimentais de Astronomia o estudante vivencia, no trabalho em equipe, o desenvolvimento de habilidades e competências não somente no estudo de conceitos astronômicos com o domínio do telescópio e aplicativos, mas recorre a conceitos

físicos, como a difração da luz quando precisa determinar o poder separador do telescópio, ou busca compreender como funciona uma rede de difração e ao efeito fotoelétrico para entender como se faz a detecção da luz e funciona a câmera de seu *smartphone*.

Portanto, a proposta envolve o convite para a participação de um minicurso pautado pelo caráter investigativo da cultura *Maker* do “aprender fazendo” que introduzirá o participante na Astronomia através de atividades envolvendo a montagem e o uso de aparatos que auxiliarão a adaptação de um *smartphone* ao telescópio da escola para a obtenção de imagens da Lua, planetas, estrelas e seus respectivos espectros luminosos.

2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS

O objetivo geral do trabalho é propor um minicurso instrumental de introdução à Astronomia dentro da cultura *Maker* com registros de imagens de estrelas e espectros estelares no *smartphone* como forma de iniciar um clube de Astronomia na Escola.

Como objetivos específicos, pretende-se:

1. Convidar os estudantes para um minicurso *Maker* de Astronomia instrumental e observacional.
2. Construir um adaptador de *smartphone* para telescópio.
3. Construir um espectroscópio com rede de difração e *smartphone* que possa ser adaptado em um telescópio.
4. Usar aplicativos de Astronomia no *smartphone* para nomear e localizar no céu os astros que terão suas imagens registradas pelo *smartphone*.
5. Registrar imagens da Lua, planetas e estrelas com a câmera do *smartphone*.
6. Usar o espectroscópio com e sem telescópio para obter imagens de espectros estelares, do Sol, Lua e planetas.
7. Conhecer a difração da luz pela montagem do *kit* de Astronomia *Maker*.
8. Inspirar a formação de um clube de Astronomia e ciências afins que funcione por projetos onde pode ser estendido o conceito “Aprendendo a Fazer”.

3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Por meio desses objetivos o produto educacional é apresentado na forma de um manual que descreverá os passos de um minicurso de Astronomia com a produção e uso de instrumentos para o registro de imagens dos astros e seus espectros luminosos com *smartphones* dos participantes, uma breve descrição teórica e os caminhos traçados para o minicurso.

O projeto do manual partiu de uma ideia que apareceu no final de uma aula experimental de óptica no Laboratório de Física com uma turma do primeiro ano do Ensino Médio. No início da aula havia um conjunto de pequenos experimentos, demonstrações com aparelhos simples como curiosidades para introduzir o assunto e envolver a atenção do estudante e gerar uma questão que seria respondida com o tema central por meio do experimento principal que gerava um relatório e uma prova escrita.

A autonomia dada ao estudante para explorar os experimentos secundários e a interação com a turma abria muitas possibilidades para o aprofundamento do tema que tinha no experimento principal o seu ápice. Essas interações geravam muitas visitas ao Laboratório de Física nos intervalos de aulas. A curiosidade fazia o estudante retornar para conhecer mais um pouco sobre esse aparelho ou aquele fenômeno.

E das novas ideias nascidas dali surgiram propostas de experimentos e minicursos em horários de turno alternado para os que desejassem conhecer mais os fenômenos físicos no ambiente do Laboratório, como a difração da luz.

Em uma dessas ocasiões um dos grupos pediu para ver como funcionava um pequeno espectroscópio montado em uma atividade de um dos projetos desenvolvidos no Laboratório para turmas de séries iniciais. O envolvimento foi tamanho que o trabalho dos registros com o grupo gerou um pôster apresentado em um encontro de Físicos.

Passado o tempo, já em outra escola, foi realizada uma demonstração com telescópio, com os estudantes tentando registrar imagens da Lua com seus *smartphones*. Associou-se à atividade demonstrações de difração da luz com um espectroscópio e o retorno foi positivo. Nessa escola há um Espaço *Maker*, cuja interação nos intervalos trouxe a curiosidade de conhecer mais o assunto que ajudou a unir ideias e projetos.

Durante o curso de mestrado, continuando o ciclo experimental iniciado em outra escola, foi elaborada a proposta de um minicurso de Astronomia com técnicas para registrar imagens ao telescópio a partir de um *kit* com suporte para *smartphone* e espectroscópio dessa

vez com a participação do estudante em todas as etapas do projeto.

O foco foi introduzir a Astronomia dentro do conceito “Aprendendo a Fazer”, que abrange construir, modificar, fabricar e compartilhar em rede ou de forma autônoma, ressaltando a criação, investigação e a resolução de problemas. E esse minicurso tornou-se o produto educacional que será descrito nas próximas linhas.

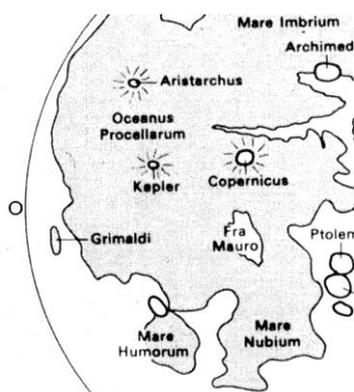
4 O FENÔMENO DA DIFRAÇÃO DA LUZ

O fenômeno da difração da luz deu embasamento para a compreensão do poder separador e o limite máximo de aumento de um telescópio e o funcionamento da rede de difração que foram utilizados no *kit* produzido pelos estudantes.

4.1 A difração da luz

A descoberta do fenômeno da difração deve-se ao padre jesuíta, físico e matemático italiano Francesco Maria Grimaldi (1618 – 1663) que recebe homenagem em uma cratera de mesmo nome no limbo oeste lunar (Figura 1). Foi o primeiro a usar o termo “difração”, em um livro póstumo de 1665, quando descreveu um experimento sobre a propagação da luz.

Figura 1 – A cratera de Grimaldi no limbo oeste lunar.



Fonte: Adaptado de CADOGAN, 1985.

Observou que um feixe de luz se alargava ao passar por um orifício e formava figuras de interferência no que deveria ser a região de sombra da teoria da propagação retilínea da luz. Há um máximo central mais intenso, e máximos secundários de menor intensidade, alternados com mínimos mais escuros (NUSSENZVEIG, 2011).

Na óptica geométrica, onde as ondas luminosas (eletromagnéticas) são representadas por raios retilíneos, conhecidos pelo termo raios de luz, o que configura a teoria da propagação retilínea da luz, o esperado é que o feixe fosse cilíndrico circular com uma imagem de mesmo formato da fenda a se formar no anteparo (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2011).

Thomas Young, em 1801, fez um experimento mostrando que a luz se comporta como

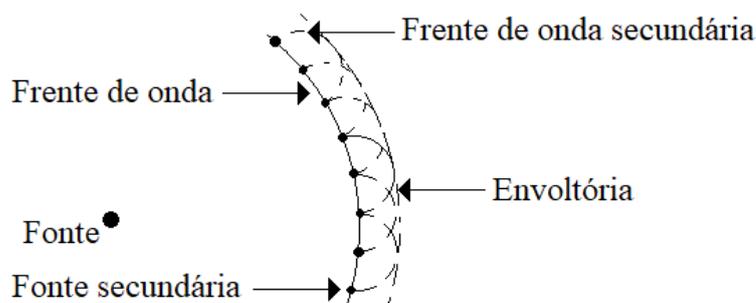
onda, o que provou que a luz sofre interferência como as ondas em um recipiente com água. Esse experimento será comentado no Capítulo 14.

A formação das figuras de difração pode ser analisada pelo princípio de Huygens, método geométrico formulado pelo cientista holandês Crhstiaan Huygens, em 1678, quando este princípio afirma que cada frente de onda forma ondas secundárias.

No princípio de Huygens a forma de uma frente de onda em certo instante é determinada pela forma de uma frente de onda primordial: “Todos os pontos de uma frente de onda podem ser considerados fontes de ondas secundárias que se espalham em todas as direções com uma velocidade igual à velocidade de propagação da onda” (YOUNG e FREEDMAN, 2009).

A nova posição da frente de onda (Figura 2) é a envoltória das ondas secundárias, ou seja, a superfície que tangencia o conjunto das frentes de ondas secundárias. Na análise da difração, é percebida a formação das figuras de interferência quando várias ondas coerentes, oriundas de diferentes regiões de uma única fenda interferem entre si. Se o comprimento de onda é maior que a abertura de um obstáculo, as figuras de interferência são mais notáveis, como é o caso da luz vermelha em comparação com a azul (que possui menor comprimento de onda).

Figura 2 – O princípio de Huygens e a formação de nova frente de onda.



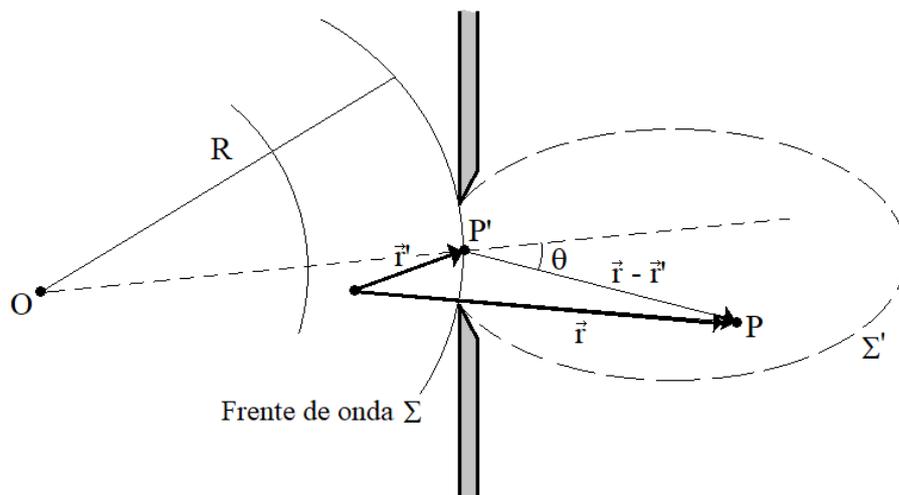
Fonte: elaborado pelo autor.

4.2 O Princípio de Huygens-Fresnel e a Integral de Kirchhoff

Com base no princípio de Huygens, o físico francês Augustin-Jean Fresnel (1788 – 1827) explicou a difração a partir de um método de análise que leva em consideração a relativa proximidade entre o objeto que origina a difração, neste caso o obstáculo com o furo, e o anteparo (YOUNG e FREEDMAN, 2009).

Uma onda eletromagnética esférica se origina em O e tem o formato $V_o = A \frac{e^{i(kR_o - \omega t)}}{R_o}$, onde A será a amplitude da onda primária, proveniente da fonte O .

Figura 3 – Obstáculo com o furo aonde chega a frente de onda esférica Σ .



Fonte: elaborado pelo autor.

A frente de uma onda esférica Σ , com origem em O , chega ao orifício (Figura 3). Parte dessa frente de onda que ilumina o orifício forma uma calota esférica que é a região de origem de várias ondas secundárias, com base no princípio de Huygens (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2011).

O ponto P' , localizado nessa calota esférica de Σ , assim como cada ponto de sua vizinhança, será uma das origens de ondas secundárias de forma $dV = V_o \cdot \frac{e^{ik|\vec{r}-\vec{r}'|}}{|\vec{r}-\vec{r}'|}$. Para simplificar a expressão, o termo “ $-\omega t$ ” que se repete em todas as ondas fica subentendido.

A soma dessas ondas interfere em P , o que resulta na integral de área representada por:

$$v(\vec{r}) = A \frac{e^{ikR}}{R} \int \int_S f(\theta) \frac{e^{ik|\vec{r}-\vec{r}'|}}{|\vec{r}-\vec{r}'|} ds \quad (1)$$

O termo $f(\theta)$ é conhecido por fator de obliquidade. Para simplificar a integral o módulo do vetor de posição \vec{r} pode ser considerado muito maior que o de \vec{r}' , ou ainda dividir a calota esférica pelo método das zonas de Fresnel (NUSSENZVEIG, 2011).

Conforme Young e Freedman (2009) o óptico alemão Joseph von Fraunhofer (1787 – 1826) fez aproximações onde as ondas que chegam ao anteparo são consideradas planas

devido a distância até os pontos de origem.

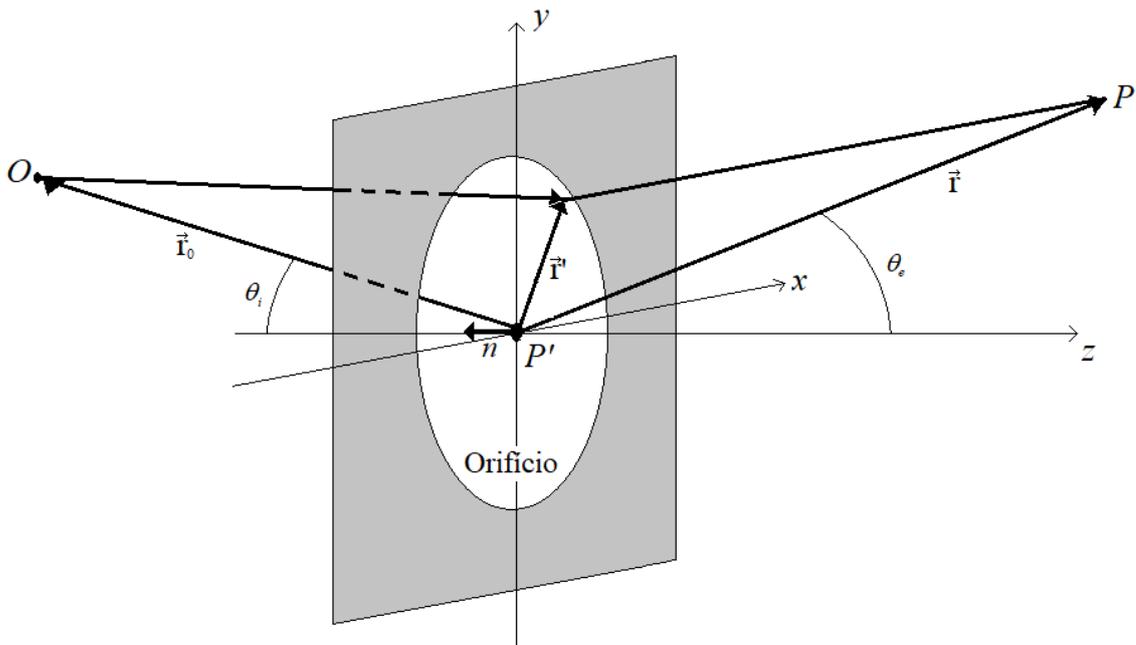
No caso de uma difração de Fraunhofer, a onda incidente e a emergente devem ser consideradas planas. Então, fazendo com que $r' \rightarrow \infty$ e $r \rightarrow \infty$, comparados com o diâmetro (ou a largura) do orifício, a onda esférica pode ter a sua curvatura desprezada e a abertura do anteparo pode ser tomada como uma fonte puntiforme. Os pontos O e P estão infinitamente afastados. Algo parecido pode ser obtido se a observação for “no plano focal imagem de uma lente”, conforme Nussenzveig (2011).

O físico alemão Gustav Robert Kirchhoff (1824 – 1887) propôs um resultado com base na equação da onda considerando uma função $U(r)$ e uma função de Green $V(r)$, satisfeitas por ondas estacionárias, cuja identidade matemática é:

$$I = \iiint_V (V\nabla^2 U - U\nabla^2 V) dv = \iint_A \left(V \frac{\partial U}{\partial n} - U \frac{\partial V}{\partial n} \right) ds \quad (2)$$

Com n sendo normal à superfície da onda no plano $z = 0$ do orifício diferente de Fresnel, que partiu de uma calota esférica no orifício. A teoria de Kirchhoff parte dessa expressão (ZILIO, 2009).

Figura 4 – Orifício com P' localizado no plano $z = 0$.



Fonte: elaborado pelo autor.

Resolvendo a expressão, a onda resultante será uma superposição de ondas que se originam da superfície da onda eletromagnética que ilumina o orifício (Figura 4).

$$v(\vec{r}) = A \iint_{S_e} f(\theta) \frac{e^{ik|\vec{r}-\vec{r}'|+ik|\vec{r}_0-\vec{r}'|}}{|\vec{r}-\vec{r}'|+|\vec{r}_0-\vec{r}'|} dS_e \quad (3)$$

O fator de obliquidade é igual a $f(\theta) = \cos\theta_{\text{incidente}} - \cos\theta_{\text{emergente}}$ para o orifício contido no plano $z = 0$. $\vec{r}' = x\hat{i} + y\hat{j}$ é o vetor posição de um ponto contido no plano do orifício que pode ser circular ou retangular.

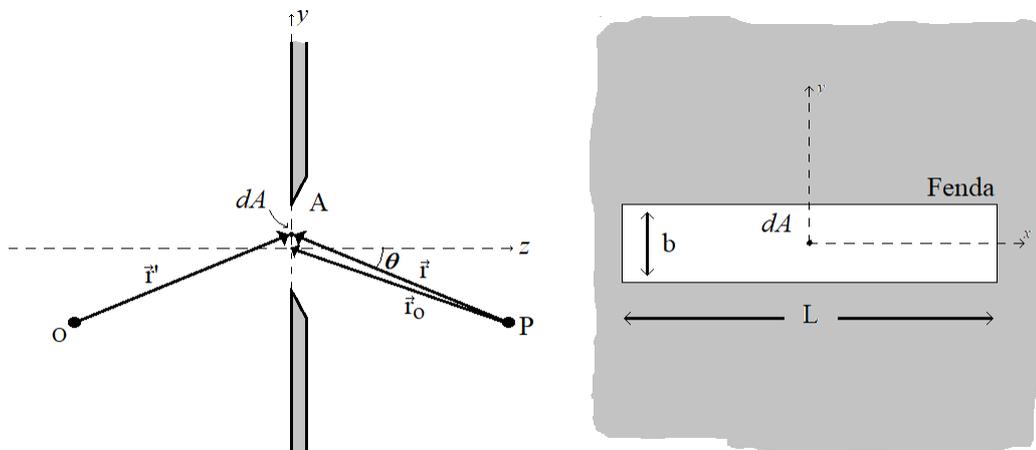
A interpretação física pelo princípio de Huygens faz com que o termo $ik|\vec{r}_0 - \vec{r}'|$ seja associado a uma onda esférica originária em O , que atinge P' e a partir dela origina uma onda esférica secundária representada pelo termo $ik|\vec{r} - \vec{r}'|$, que se origina no ponto P' , segundo Zilio (2009).

Por aproximação, quando $\vec{r} \gg \vec{r}'$ (o módulo do vetor posição \vec{r} é muito maior que o de \vec{r}') e $\vec{r}_0 \gg \vec{r}'$, fazendo $U_0 = \frac{A f(\theta)}{|\vec{r}-\vec{r}'|+|\vec{r}_0-\vec{r}'|}$, a integral se torna:

$$U(\vec{r}) = U_0 \iint_{S_e} e^{ik|\vec{r}-\vec{r}'|+ik|\vec{r}_0-\vec{r}'|} dS_e \quad (4)$$

4.3 Difração por fenda estreita

Figura 5 – Visão ampliada do perfil e frente do anteparo com fenda estreita.



Fonte: Adaptado de Zilio (2009).

Na difração por uma fenda estreita (Figura 5), segundo Zilio (2009), ter-se-á como campo elétrico:

$$U(P) = \frac{ikU_o}{4\pi} e^{-i\omega t} \iint_{S_e} \frac{e^{ik(r'+r)}}{r'r^2} (\cos \theta' - \cos \theta) dA \quad (5)$$

$$U(P_o) = \frac{ikU_o}{4\pi} e^{-i\omega t} \left(\frac{\cos \theta' - \cos \theta}{r'r} \right) \iint_A e^{ik(r'+r)} dA \quad (6)$$

Para simplificar, A largura da fenda será maior que sua altura ($L \gg b$), o elemento de área $dA = Ldy$, o fator fora da integral será chamado de:

$$C = \frac{ikU_o}{4\pi} e^{-i\omega t} \left(\frac{\cos \theta' - \cos \theta}{r'r} \right) \quad (7)$$

E a expressão matemática ficará:

$$U(P_o) = \int_{-b/2}^{b/2} e^{ik(r'+r)} dy \quad (8)$$

Considerando r' constante e $r = r_o + y \text{ sen } \theta$, chega-se a:

$$U(P_o) = CLe^{ikr'} \int_{-b/2}^{b/2} e^{ik(r_o + y \text{ sen } \theta)} dy \quad (9)$$

$$U(P_o) = CLe^{ik(r'+r_o)} \int_{-b/2}^{b/2} e^{iky \text{ sen } \theta} dy \quad (10)$$

Simplificando a nova expressão obtida, com $C' = CLe^{ik(r'+r_o)}$, a integral ficará:

$$U(P_o) = C' \int_{-b/2}^{b/2} e^{iky \text{ sen } \theta} dy \quad (11)$$

Resolvendo a integral, fica:

$$U(P_o) = C'b \frac{\text{sen}\left(\frac{kb}{2} \text{ sen } \theta\right)}{\frac{kb}{2} \text{ sen } \theta} \quad (12)$$

No estudo do padrão de difração, $I(P_o)$, pode-se converter o fator que se repete para:

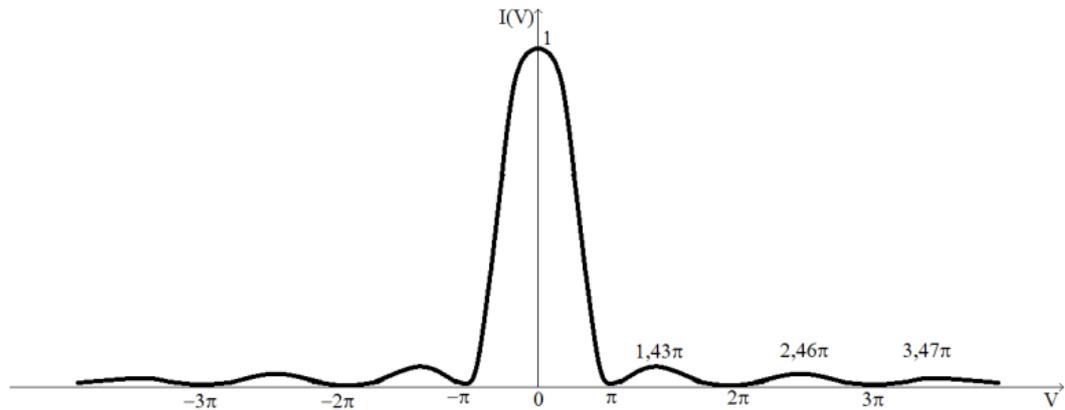
$$\frac{kb}{2} \text{ sen } \theta = \beta \quad (13)$$

O que resulta:

$$U(P_o) = C'b \frac{\text{sen } V}{V} \Rightarrow I(P_o) = I_o \frac{\text{sen}^2 V}{V^2} \quad (14)$$

Observando a função par $\frac{\text{sen}^2 V}{V^2}$, a formação do padrão de difração se dá no seu máximo quando a função é igual a 1, com $v = 0$ (ou $\theta = 0$) no máximo central e se anula quando $V_n = \pm n\pi$ (com $n = 1, 2, \dots$) para localizar os mínimos, o que forma a figura 6. Os máximos secundários aproximam-se de $(n + 1/2)\pi$, obtendo valores de $V = \pm 1,43 \pi, \pm 2,46 \pi, \pm 3,47\pi$, etc., raízes de $V = \text{tg} V$. Notar que a queda se deve ao fator $1/v^2$ (NUSSENZVEIG, 2011).

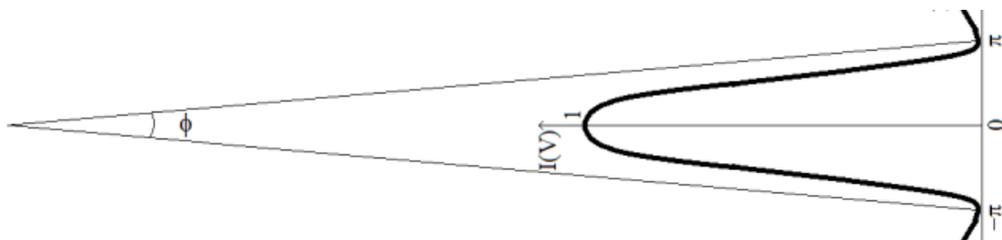
Figura 6 – A função $\frac{\text{sen}^2 v}{v^2}$ com seus máximos e mínimos.



Fonte: elaborado pelo autor.

Para conhecer uma expressão para o ângulo “no qual a luz se espalha”, conforme Zilio (2009) pode-se considerar somente a franja central. Os primeiros mínimos ocorrem para $v = \pm\pi$ com $\theta = \phi/2$ (Figura 7). Então, $\pi = \frac{kb}{2} \text{sen} \frac{\phi}{2} = \frac{2\pi}{2\lambda} b \text{sen} \frac{\phi}{2}$.

Figura 7 – A abertura da franja central.



Fonte: elaborado pelo autor.

Em aproximações para pequenos ângulos, ($\phi \ll \pi$), onde $\text{sen} \phi/2 \approx \phi/2$ tem-se que:

$$\pi = \frac{b\pi}{\lambda} \frac{\phi}{2} \Rightarrow \phi = \frac{2\lambda}{b} \quad (15)$$

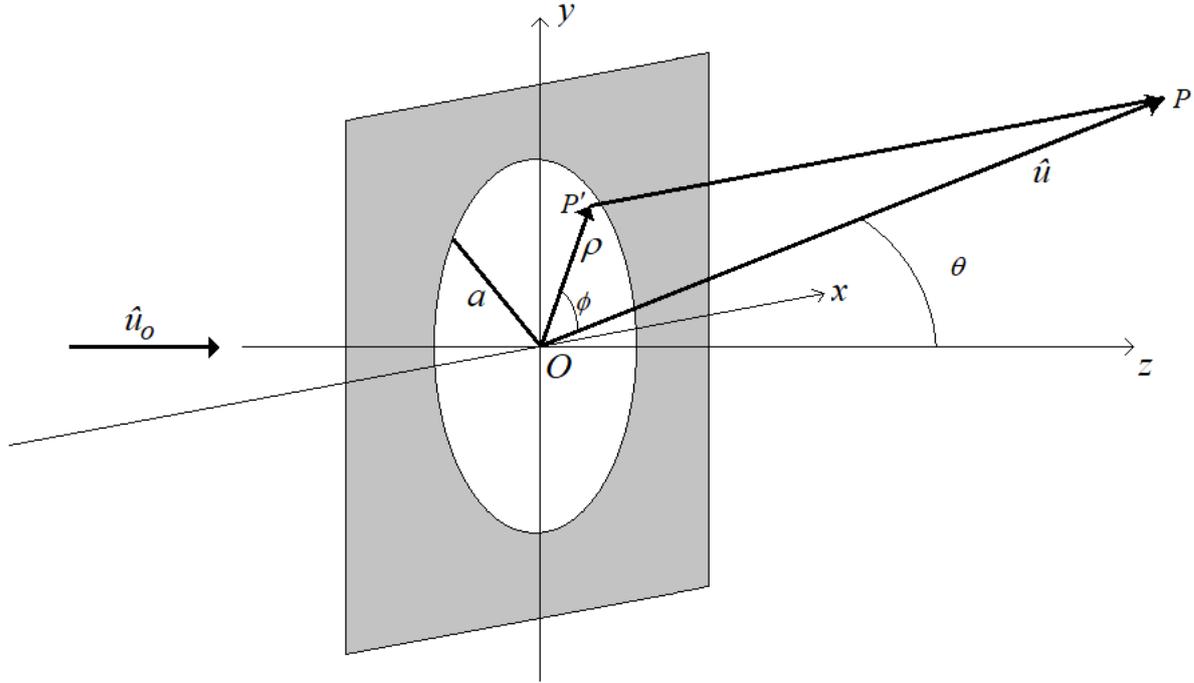
Com b sendo a largura da fenda, já identificado na Figura 5.

4.4 A difração por uma abertura circular

Uma abertura circular de raio a tem um sistema de eixos com origem O em seu centro, de forma que o plano xy coincida com ela abertura e um eixo z seja perpendicular à mesma. Fazendo \hat{u}_0 o versor na direção da onda plana que incide no orifício, definindo um ponto P' no

orifício A, sobre o eixo x , de forma que OP' seja a medida do vetor de posição x' , conforme a Figura 8.

Figura 8 – Abertura circular com centro das coordenadas em O.



Fonte: elaborado pelo autor.

Segundo Nussenzveig (2011), pode-se usar coordenadas polares, onde o polo será a origem O, com:

$$\hat{\mathbf{u}} = (\text{sen } \theta, 0, \text{cos } \theta) \quad (16)$$

$$\mathbf{x}' = (\rho \text{cos } \varphi, \rho \text{sen } \varphi, 0) \quad (17)$$

De onde se obtém:

$$\hat{\mathbf{u}} \cdot \mathbf{x}' = \rho \text{sen } \theta \text{cos } \varphi \quad (18)$$

Onde:

$$d^2 x' = \rho d\rho d\varphi \quad (19)$$

O que origina a expressão:

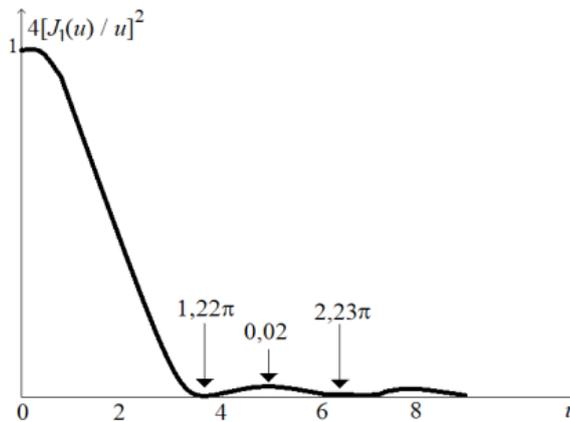
$$\int_A e^{-ik\hat{\mathbf{u}}\mathbf{x}'} d^2 x' = \int_0^a \rho d\rho \int_0^{2\pi} d\varphi e^{-ik\rho \text{sen}\theta \text{cos}\varphi} \quad (20)$$

A integral formada tem resolução tabelada, cujo valor é expresso em termo de uma função de Bessel de primeira ordem $J_1(u)$. Com base nessa função a intensidade do feixe difratado fica:

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = 4 \left[\frac{J_1(ka \sin \theta)}{ka \sin \theta} \right]^2 \quad (21)$$

O gráfico da função está representado na Figura 9. Deve-se notar que suas propriedades qualitativas são semelhantes às que a função $\frac{\text{sen}^2 u}{u^2}$ apresenta.

Figura 9 – O Gráfico da função $J_1(u)$.

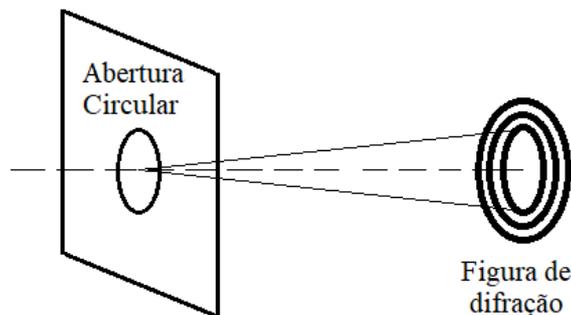


Fonte: elaborado pelo autor.

O pico central recebe a maior intensidade luminosa. O resultado corresponde a uma figura de difração com um pequeno disco luminoso rodeado por pequenos anéis concêntricos claros e escuros.

Essa figura de difração, estudada pelo astrônomo e matemático inglês George Biddell Airy (1801 – 1892), tem muita importância na determinação do poder separador, ou poder de resolução de telescópios (Figura 10).

Figura 10 – Formação de uma figura de difração (disco de Airy).



Fonte: elaborado pelo autor.

Analisando a função $J_1(u)$, o primeiro zero está em $1,22\pi = 3,8317$, ou

$$\frac{2\pi R \operatorname{sen} \theta}{\lambda} = 3,8317 \quad (22)$$

O raio do disco de difração em unidades angulares pode ser estimado a partir da condição onde $D = 2R$ é o diâmetro do orifício:

$$\operatorname{sen} \theta = \frac{3,8317\lambda}{2\pi R} \approx 1,22 \frac{\lambda}{D} \quad (23)$$

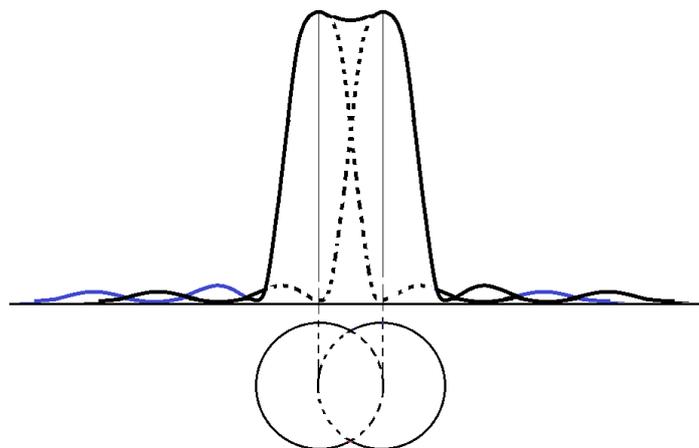
Nos telescópios de espelho, o suporte do espelho secundário também causa difração. Nesse caso, uma transformada de Fourier da abertura pode ser usada ao se estudar o padrão de difração.

Por mais correções que se faça no sistema óptico de um telescópio, reduzindo as aberrações, as imagens das estrelas não serão exatamente puntiformes. A difração imporá o seu limite a esse sistema óptico, produzindo pequenos discos de Airy.

4.5 O poder separador

A luz de dois pontos muito próximos de um objeto, ao atravessar o sistema óptico de um telescópio formará imagens com discos de difração sobrepostos, conforme mostra a Figura 11.

Figura 11 – Sobreposição de discos de difração.



Fonte: elaborado pelo autor.

Isso significa que o telescópio chegou ao seu limite de resolução. Para se conhecer o

poder separador de um telescópio, usa-se o critério de Rayleigh, onde a região do máximo central de uma das imagens deve coincidir com o mínimo da outra imagem.

A separação angular mínima $\Delta\theta$ em um telescópio de objetiva com raio a , é dada pela equação de Airy (23). Quanto maior o raio da objetiva do telescópio, maior o poder separador. Note-se que o poder separador é diretamente proporcional ao comprimento de onda, porém, nesse caso, os microscópios ópticos sofrem mais com essa limitação que os telescópios.

4.6 A rede de difração

No estudo da difração em uma fenda estreita por meio da aproximação de Fraunhofer, chegou-se a expressão:

$$U(P_o) = CL e^{ik(r'+r_o)} \int_{-b/2}^{b/2} e^{iky \text{ sen } \theta} dy \Rightarrow U \approx C \int e^{iky \text{ sen } \theta} dy \quad (24)$$

Uma rede de difração contém várias fendas paralelas. A abertura da fenda sendo b , e tomando como h a distância entre a parte inferior de uma fenda e a parte inferior da fenda seguinte, para as várias fendas paralelas:

$$U = C \int_0^b e^{iky \text{ sen } \theta} dy + C \int_h^{h+b} e^{iky \text{ sen } \theta} dy + C \int_{2h}^{2h+b} e^{iky \text{ sen } \theta} dy + \dots \quad (25)$$

Fazendo como igual o número de integrais ao de fendas paralelas e o número de fendas como $N+1 \approx N$ para $N \gg 1$, a expressão pode ser reescrita como:

$$U = C \sum_{j=0}^N \int_{jh}^{jh+b} e^{iky \text{ sen } \theta} dy \quad (26)$$

$$U = C \sum_{j=0}^N \frac{e^{ik(jh+b) \text{ sen } \theta} - e^{ikjh \text{ sen } \theta}}{ik \text{ sen } \theta} = C \frac{e^{ikb \text{ sen } \theta} - 1}{ik \text{ sen } \theta} \sum_{j=0}^N e^{ikjh \text{ sen } \theta} \quad (27)$$

Substituindo $\beta = \frac{kb \text{ sen } \theta}{2}$ e $\gamma = \frac{kh \text{ sen } \theta}{2}$, resulta:

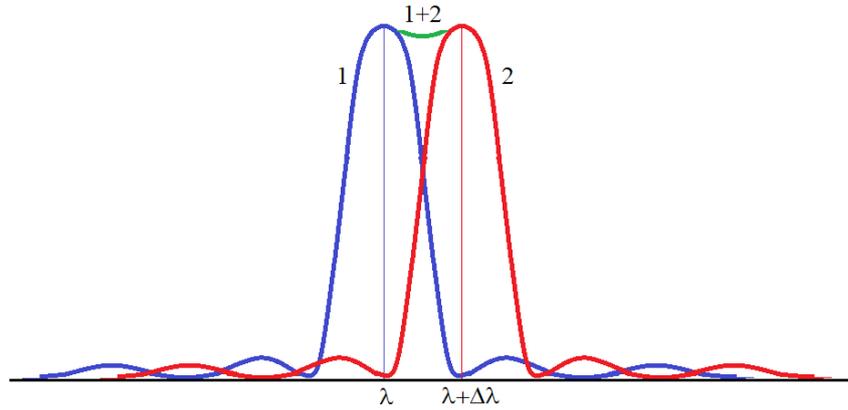
$$U = 2bCN e^{i[\beta+(N-1)\gamma]} \left(\frac{\text{sen } \beta}{\beta} \right) \left(\frac{\text{sen } N\gamma}{N \text{ sen } \gamma} \right) \quad (28)$$

$$I \propto |U(P)|^2 \Rightarrow I = I_o \left(\frac{\text{sen } \beta}{\beta} \right)^2 \left(\frac{\text{sen } N\gamma}{N \text{ sen } \gamma} \right)^2 = I_o F_D F_I \quad (29)$$

Onde:

$F_D = \left(\frac{\text{sen } \beta}{\beta} \right)^2$ é o fator de difração e $F_I = \left(\frac{\text{sen } N\gamma}{N \text{ sen } \gamma} \right)^2$ é o fator de interferência. Na rede de difração quando $\beta = \pm n\lambda$, $F_D = 0$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) e quando $\beta = 0, \pm 1,43\pi, \dots$, F_D será máximo. Quanto a F_I , nota-se que terá valor nulo quando $\gamma = m\pi/N$ e valor máximo quando $\text{sen } \gamma = 0$, ou seja, $\gamma = m\pi$ e $\text{sen } \theta = m\lambda/h$.

Figura 12 – A separação entre duas linhas espectrais.



Fonte: elaborado pelo autor.

Tendo $\Delta\lambda$ como a separação entre duas linhas espectrais, o poder de separação (resolução) em uma rede de difração será $P_R = \lambda/\Delta\lambda$ e o critério de Rayleigh determina essa separação $\Delta\lambda$, ou seja, quando o máximo de uma linha espectral coincide com o zero da outra (Figura 12).

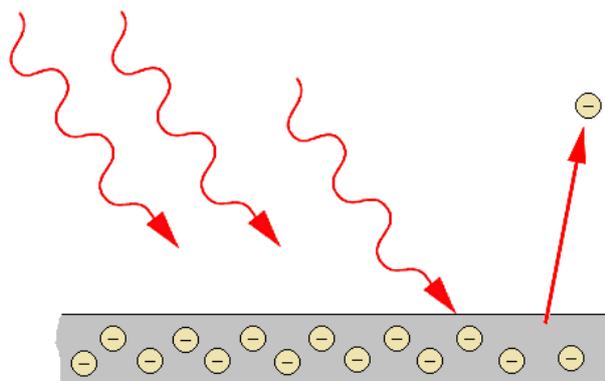
A dispersão angular em uma rede de difração é determinada por $D_A = d\theta/d\lambda$. Da condição para o máximo de F_I é sabido que $\sin \theta = m\lambda/h$, então $\cos \theta d\theta = m d\lambda/h$. Então, para a dispersão angular, $D_A = m/(h \cos \theta)$.

Também dos critérios de F_I há $\gamma = (kh/2) \sin \theta$, portanto $\Delta\gamma = (\pi h/\lambda) \cos \theta d\theta$. Pelo critério de Rayleigh $\Delta\gamma = \pi/N$ o que implica em $\Delta\theta = \lambda/(Nh \cos \theta)$. Finalmente, de $D_A = \Delta\theta/\Delta\lambda = m/(h \cos \theta)$ vem $\Delta\lambda = (\Delta\theta h/m) \cos \theta = \lambda/mN$ e o poder de resolução da rede de difração será:

$$P_R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = mN \quad (30)$$

5 O EFEITO FOTOELÉTRICO

Figura 13 – Um elétron é emitido para cada fóton que incide em uma placa.



Fonte: elaborado pelo autor.

Em uma câmera digital, o sensor CCD (do inglês *Charge Coupled Device*) ou o CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) têm funcionamento semelhante e se baseiam no efeito fotoelétrico, descrito por Albert Einstein em 1905. Esse efeito ocorre quando há liberação de elétrons na superfície de um metal após a absorção da energia da radiação eletromagnética incidente nele (Figura 13). Parte dessa energia é transformada em energia cinética dos elétrons em movimento (CARUSO e OGURI, 2016).

A primeira observação desse efeito ocorreu em 1887, quando o físico alemão Heirich Rudolph Hertz (1857 – 1894) notou que a luz facilitava a produção de centelhas em seu experimento de produção e detecção de ondas eletromagnéticas. Observou que para continuar recebendo os sinais do transmissor em um circuito sintonizado por meio de centelhadores era necessário aproximar os eletrodos no receptor caso esse não recebesse a luz proveniente do centelhador do transmissor (TIPLER e LLEWELLIN, 2010).

Publicou seus resultados e em 1899 o físico britânico Joseph John Thomson (1856 – 1940) verificou que partículas negativas, isto é, da mesma natureza dos raios catódicos, eram emitidas quando uma superfície metálica em um tubo de Crookes era exposta à radiação ultravioleta. Mais adiante, em 1900, o físico alemão nascido na Hungria Phillip Eduard Anton von Lenard (1862 – 1947) ao submeter tais partículas (as do experimento de Thomson) a um campo magnético, concluiu que essas partículas eram elétrons.

Algumas conclusões de Lenard, segundo Caruso e Ogury (2016):

- A emissão de elétrons não depende da intensidade de luz incidente;

- Mantendo a frequência e o potencial retardador constante, a corrente elétrica será proporcional à intensidade da luz durante a emissão de elétrons;
- A emissão de elétrons depende da frequência da radiação luminosa incidente;
- Há um limiar de frequência correspondente ao tipo de metal e abaixo desse limiar não há emissão de elétrons;
- O potencial de corte não depende da intensidade luminosa, mantendo uma mesma frequência;
- A energia cinética dos elétrons emitidos e o potencial de corte aumentam com a frequência luminosa.

Medindo o potencial de corte V_o pode-se determinar a energia cinética máxima K_{Max} dos elétrons que deixam o cátodo a caminho do anodo. A relação entre o potencial de corte e a energia cinética máxima dos elétrons emitidos é obtida por meio da expressão:

$$K_{Max} = \frac{1}{2}mv_{Max}^2 = eV_o \quad (31)$$

Chega-se a essa expressão pelo teorema da energia cinética: $W_{Total} = -eV_o = \Delta K = 0 - K_{Max} \Rightarrow K_{Max} = eV_o$. Em seu experimento Lenard observou que, além do o potencial de corte V_o não depender da intensidade da luz incidente, o aumento da energia por unidade de tempo $-eV_o$ que incidia no cátodo não correspondia a um aumento da energia cinética máxima K_{Max} dos elétrons emitidos, resultados que entravam em desacordo com a teoria clássica. Um artigo publicado pelo físico alemão Albert Einstein (1879 – 1955) no *Annalen der Physik* explicava os resultados de Lenard com base na quantização da energia usada por Planck no problema do corpo negro, tomando isso como uma característica universal da luz, segundo Tipler e Llewellyn (2010).

Einstein postulou que a luz não se propagava de forma contínua, mas de forma discreta em pacotes de energia (*quanta*), os fótons. A energia E do fóton é dada como:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (32)$$

Onde λ é o comprimento de onda, c a velocidade da luz, ν é a frequência e h é a constante de Planck cujo valor numérico é conhecido por

$$h = 6,6260693(11) \times 10^{-34} J.s$$

Há uma função que mede a quantidade mínima de energia absorvida por um elétron para que ele escape de uma superfície, chamada de função trabalho, ou ϕ . Na incidência de luz sobre a superfície do cátodo, um fóton pode transferir toda a sua energia para um elétron. Pela lei da conservação da energia, $K_{Max} = \frac{1}{2}mv_{Max}^2 = eV_o = hf - \phi$, que é a equação do

efeito fotoelétrico:

$$eV_o = hf - \phi \quad (33)$$

O físico experimental norte-americano Robert Andrews Millikan (1868 – 1953), mesmo não acreditando na ideia do fóton, fez experimentos em 1914 e 1916 que comprovaram estar certa essa equação. Também comprovou o valor da constante de Planck já mostrado linhas acima.

A natureza ondulatória da luz que conheceu maiores destaques nestas linhas por meio do experimento de Young e fenômenos ondulatórios como a difração e a interferência teve o seu favorecimento quando a relatividade restrita postulada por Albert Einstein dispensou a necessidade do éter.

Porém, o efeito fotoelétrico explicado por Einstein admite uma natureza corpuscular para a luz. Esse assunto atrai discussões sobre uma natureza dual para a luz, com as ondas eletromagnéticas constituídas por partículas relativísticas denominadas fótons. Isto é, a luz tem uma natureza própria, com fenômenos que podem ser descritos ora pelo caráter ondulatório, ora pelo de partícula, mas esse não será objetivo desse trabalho.

6 O CONSTRUTIVISMO DE PIAGET

A cultura *maker* na educação pode ser embasada em alguns teóricos, porém, o foco deste trabalho se dará no construtivismo e no construcionismo.

Jean Piaget iniciou os seus estudos sobre as origens da aprendizagem em 1920, mas a projeção mundial somente chegou na década de 1960 apesar de o Brasil conhecer melhor seus trabalhos a partir da década de 1980. É o principal expoente do Construtivismo, afirma que nossas interpretações e nossas experiências de vida formam a base do que sabemos do mundo.

Em seus estudos sobre a origem do conhecimento, Jean Piaget desenvolveu a epistemologia genética, o embasamento científico do Construtivismo, objeto de estudo nos meios educacionais e acadêmicos (PIAGET, 1991).

6.1 A Epistemologia Genética

Sobre a Epistemologia Genética, a definição da palavra Epistemologia baseia-se em princípios fundamentais das Ciências: *Episteme* (do grego: Ciência, em seu sentido mais amplo, fundamento do conhecimento científico) e *logos* (do grego: tratado, estudo).

A Gênese, a origem, vem da preocupação de Jean Piaget com a metodologia a respeito do surgimento do conhecimento, mesmo o mais elementar, não havendo um conhecimento que seja absolutizado com relação aos outros (PIAGET, 1991).

Portanto, a Epistemologia Genética, situada em uma concepção interacionista do conhecimento, finca as bases científicas do Construtivismo e esse passa a ser visto como uma teoria científica quando busca entender como se dá a gênese do conhecimento (NUNES e SILVEIRA, 2008).

Na construção do conhecimento, de maneira ativa, o modelo do mecanismo contínuo da equilibrção regula o desequilíbrio entre sujeito e o objeto por meio da assimilação e da acomodação. Na primeira, novos estímulos vindos do meio se integram aos já existentes (incorporação de nova ideia às estruturas já consolidadas). E na segunda, há um ajuste dos esquemas já existentes para que essa ideia faça parte dessas estruturas. E isso ocorre de acordo com as possibilidades e interesses do sujeito em sua interação com pessoas e objetos (CAMPOS, 2011).

À luz da Filosofia o Construtivismo é uma teoria que pode ser compreendida entre as formas de pensar do racionalismo e do empirismo. Essas teorias são as formas de conceber o

conhecimento dentro das correntes filosóficas.

Pelo racionalismo o conhecimento se dá pela razão. Isto é, a partir da mente do homem que o mundo será compreendido. A razão é que faz o homem chegar ao verdadeiro conhecimento. O ponto de vista empirista entende que o conhecimento está nas coisas, fora do homem, que é pelos cinco sentidos que o sujeito consegue obter o conhecimento (HESSEN, 1980).

Na análise construtivista o conhecimento não está nas coisas do mundo ou na cabeça do homem. O conhecimento vai estar na interação entre o sujeito e o objeto do conhecimento. Por acreditar que todo conhecimento é construído que a teoria construtivista será intermediária entre o racionalismo e o empirismo, sob a luz da Filosofia. O conhecimento se constrói a partir das vivências entre o sujeito e o mundo em que vive (CASTAÑON, 2015).

7. O CONSTRUCIONISMO

Seymour Papert (1928 – 2016), o fundador do Construcionismo, nasceu em Pretória, na África do Sul e faleceu em Maine, nos Estados Unidos. Lecionou no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), onde foi um dos fundadores do laboratório de inteligência artificial dessa instituição. É considerado um dos principais autores das tecnologias de informação e educação ligadas à área educacional e um dos pioneiros em projetos educacionais com computadores.

Bacharelou-se na *Witwaterstrand University*, 1949 e em 1952 obteve o título de Ph.D em matemática. Fez o seu segundo Ph.D na Universidade de Cambridge, também em matemática, no campo da inteligência artificial. Trabalhou com Jean Piaget Durante o período de 1958 a 1963, em Genebra (PAPERT, 1980).

7.1 Construcionismo e Construtivismo

O Construcionismo foi criado pelo matemático e educador Seymour Papert no intuito de determinar uma nova forma de uso do computador no processo de aprendizagem (HAREL e PAPERT, 1991).

O Construtivismo de Piaget é um forte influenciador das ideias do Construcionismo de Papert na Educação. A ênfase a essa afirmação está na concepção de que o indivíduo em sua interação com o mundo é o construtor de suas próprias estruturas cognitivas. Como construtor o indivíduo se apropria para uso próprio de materiais, modelos e metáforas sugeridos significativamente pela cultura do meio em que se encontra (NUNES e SANTOS, 2013).

Na concepção construcionista os computadores são dispositivos usados para trabalhar e pensar, por meio dos quais se realizam projetos, podendo servir como origem de conceitos criativos e não apenas usar métodos na forma de perguntas e respostas, que sirvam somente para a informação, com o saber já pronto somente para instruir e o aluno ficar como expectador do que o computador transmitir. A essa forma tradicional de instrução Papert dava o nome de Instrucionismo (LIMA, 2009).

Ele não nega a importância da instrução, mas ressalta que a meta deva ser o máximo de aprendizagem com o mínimo de ensino. Resumindo: o Construtivismo tem a proposta

pedagógica que enfatiza a arte de aprender, a *matética* de Comenius, sobre a *didática*, a arte de ensinar, segundo Fino (2017) e a importância do estudante construir coisas em seu processo de aprendizagem (HERRERA, 2017).

Advém desse pensamento que o Construcionismo rejeita o pensamento sobre a escola ser melhor se ensinar melhor, isto é, que o aperfeiçoamento da instrução é o caminho da melhor aprendizagem. Papert explicava esse pensamento com uma anedota que para ajudar a alguém com fome não será dar o peixe. A saída para ele é dar a vara e ensinar a pescar, conforme Fino (2017).

Enquanto o Construtivismo, que está embasado na epistemologia genética, defende o processamento do pensamento formal embasado na maturação biológica associada à interação com o meio para originar os estágios de desenvolvimento, o Construcionismo de Papert complementa que essas etapas também são determinadas pelos materiais que estão disponíveis no ambiente para que o sujeito as possa explorar. E que há uma intensificação desse processo quando o sujeito se apodera desse conhecimento (NUNES e SANTOS, 2013).

Isso vem da questão sobre criar as condições para que o estudante adquira mais conhecimento, já que concorda com as ideias de Piaget de que a criança, como ser pensante, mesmo sem ser ensinada, constrói suas próprias estruturas cognitivas (PAPERT, 1980).

No Construcionismo a ferramenta do estudante é o computador, que o ajuda a visualizar as suas construções mentais em um processo interativo que favorece a construção do conhecimento, conforme Papert (1994). Papert criou a linguagem *LOGO* para que ela fosse a mediação entre essa ferramenta e o estudante (RESNICK, 2014).

Outro grande inspirador de Papert foi o pedagogo norte-americano John Dewey, quando fala da importância de explorar, de manipular ferramentas e materiais, das expressões de emoções felizes, do direito ao erro (FINO, 2017).

8 A CULTURA MAKER

O movimento *maker*, ou a cultura do fazer, é conhecido também como a cultura do "faça você mesmo", o *Do It Yourself*. Uma revista americana intitulada *Maker*, fundada em 2005 por Dale Dougherty, era especializada em projetos tecnológicos. No ano seguinte organizou uma *Maker Faire* que se tornou o ponto de partida do encontro anual de seguidores desse movimento, espalhando-se pelo mundo (HATCH, 2013).

O Construcionismo de Seymour Papert está profundamente relacionado com o movimento *maker* como um de seus principais inspiradores nesse panteão de pensadores onde também podem ser citados Jean Piaget, John Dewey e Paulo Freire. Muitos pontos sobre a educação nessa área seguem os passos de Papert. Por exemplo, quando a experimentação contribui na construção da aprendizagem (BORGES, PERES, CASTILHO e FAGUNDES, 2015).

As quatro ideias centrais para uma aprendizagem criativa baseadas em Papert são referências para uma cultura *maker* na educação (RESNICK, 2017a):

- **Projetos:** Favorece o aprendizado de novas habilidades e ideias, o contexto se torna significativo e motivador. Aprende-se como usar o conhecimento, resolver e encontrar novos problemas. Mudar metas e desenvolver novas estratégias.
- **Paixão:** Há importância no trabalho com as coisas e maior interesse e disposição, a ponto de se dedicar por mais tempo e intensidade além de persistir perante as dificuldades.
- **Colegas:** A aprendizagem criativa é uma atividade social. Ideias são compartilhadas. Há colaboração em projetos. Compartilham-se e recebem-se *feedbacks* e sugestões sobre seus projetos. Formam comunidades que experimentam e compartilham ideias e projetos para aperfeiçoá-los.
- **Brincadeiras:** Em brincadeiras há uma constante experimentação. Tentam-se coisas novas, assumem-se riscos, limites são testados. Há descontração e naturalidade.

Uma proposta chamada “espiral do pensamento criativo” se organiza em torno de cinco palavras: imaginar, criar, divertir, compartilhar e refletir. Carrega muito do pensamento de Papert. E resume muito bem o movimento *maker* dentro da Escola (RESNICK, 2017b).

Nos projetos *maker* há um ambiente fértil para a criatividade e o crescimento, amadurecem estratégias que ajudam a imaginar o que se deseja fazer, criar projetos através de

ferramentas e materiais, compartilhar ideias e criações com os outros e refletir sobre as experiências (HATCH, 2013).

9 A CÂMERA DO SMARTPHONE

Figura 14 – A câmera do smartphone.



Fonte: elaborado pelo autor.

O registro de imagens até bem pouco tempo era feito com filmes ou chapas fotográficas com 12, 24 ou 36 poses e com os custos financeiros dos rolos de filmes e das revelações. Para saber se as fotos estavam boas deveria esperar a revelação. Era necessário ser bastante econômico para não “estragar” poses e filmes.

Porém, com a evolução de sensores como o CCD (do inglês *Charge Coupled Device*) ou o CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) e sua miniaturização e principalmente a produção mais barata desse último, fotografar passou a ser muito popular.

E os smartphones passaram a ser cobiçados, dentre outras funções, por suas câmeras, com recursos para fazer *selfies*, vídeos e registros de tudo o que se pode imaginar para as redes sociais (Figura 14).

As principais diferenças do CCD e do CMOS são a maior sensibilidade do CCD, mas o funcionamento do CCD e do CMOS é muito parecido. Ambos baseiam-se no efeito fotoelétrico, quando uma placa, nesse caso de silício, absorve fótons e libera elétrons no processo. Diferentes setores do CCD acumulam cargas elétricas proporcionalmente à entrada de luz. A medida da carga em cada setor da placa dá a ideia do brilho de cada parte da imagem.

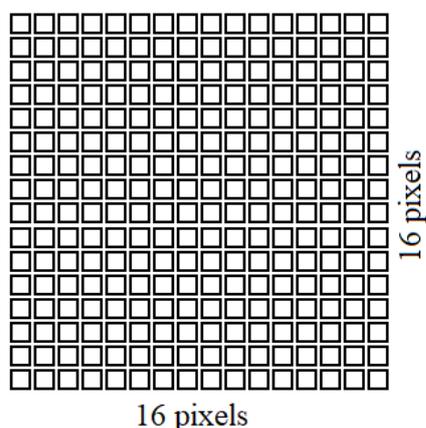
Ampliando uma imagem encontramos o pixel, sua menor parte, que corresponde a um pequeno retângulo (ou quadrado) micrométrico da placa do CCD. É em cada um deles que a chegada dos fótons libera elétrons proporcionalmente para serem armazenados na memória da

câmera como dados eletrônicos (RÉ, 2002).

Lembrando uma matriz, com suas linhas e colunas, basicamente, a placa é quadrada ou retangular de 125 a 500 micrômetros de espessura e com comprimento de alguns milímetros (e cada pixel entre 7 e 27 micrômetros). Nessa superfície está uma rede de eletrodos que vão capturar e analisar os elétrons liberados (RÉ, 2002).

Uma imagem de 1 Megapixel (1 MP) terá um milhão de pontos, ou pixels. Seguindo essa lógica, um sensor CCD quadrado de 16 Megapixels terá 4000 pixels x 4000 pixels (Figura 15).

Figura 15 – Exemplo fictício de um sensor quadrado de um CCD com 256 pixels (16 x 16 pixels).



Fonte: elaborado pelo autor.

O *smartphone* utilizado nos primeiros registros foi um Samsung Galaxy S7 cuja câmera possui 12 MP (f/1.7, 26mm, 1/2.5", 1.4µm, Dual Pixel PDAF), estabilização óptica, flash LED.

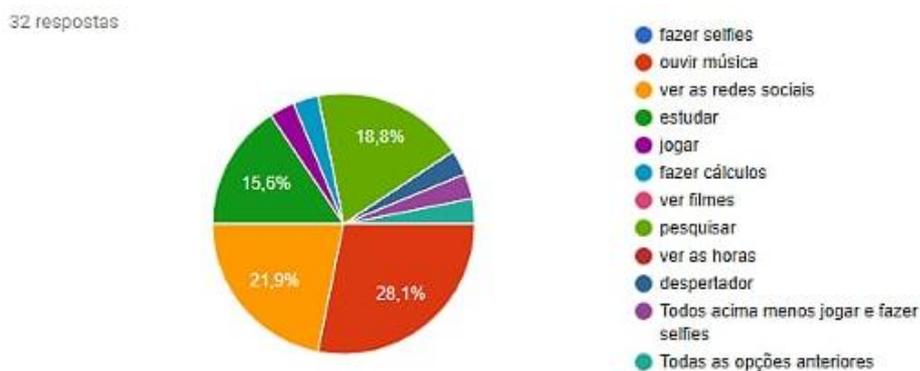
Posteriormente foi usado um Samsung Galaxy A8 com câmera de 16 Mp e resolução 4608 x 3456 pixel (f/1.7, com foco por toque e foco automático e vídeo *Full HD* de 30 fps (*frames per second*). Esse aparelho não possuía longa exposição como o anterior e as imagens de espectros estelares precisaram de estrelas com bastante brilho.

Caso a câmera tenha a opção de longa exposição no ajuste da velocidade de disparo da função PRO as imagens sairão com maior qualidade. No caso de câmeras sem essa função, a opção NOTURNO deve ser selecionada para dar maior sensibilidade à imagem.

O *smartphone*, por suas diversas funções e acesso a aplicativos na palma da mão, se tornou um *gadget* muito usado no cotidiano do estudante. As formas de uso desse

equipamento são vistas no Gráfico 1, retirado de uma enquete realizada em uma sala de aula entre estudantes do primeiro ano do Ensino Médio cujo universo de entrevistados foi totalizado em 32 indivíduos.

Gráfico 1 – Uso do smartphone pelo estudante em seu cotidiano



Fonte: elaborado pelo autor.

10 O KIT DE ASTRONOMIA

O produto educacional consiste em um *kit* de Astronomia composto de um suporte de smartphone para telescópio e um espectroscópio com rede de difração e smartphone, conforme mostra a figura 16.

Figura 16 – *Kit* com suporte para smartphone e espectroscópio em uma luneta.



Fonte: elaborado pelo autor.

10.1 Descrição do suporte de smartphone para telescópio

A função do suporte de *smartphone* para telescópio é ajudar a estabilizar a imagem obtida pela câmera do smartphone durante o processo de registro de imagens de astros ao telescópio.

Sobre o material. O suporte é montado com material de baixo custo. O material básico utilizado em sua construção é:

- Papelão;
- Bucha PVC com redução de 40 mm x 25 mm, cuja parte de menor diâmetro é serrada e retirada;
- Três parafusos de base chata;
- Papel duplex e elásticos.

Um pouco de cola é usada para unir as partes do suporte durante a montagem. Segue sua descrição.

O diâmetro interno da bucha tem medida suficiente para caber na parte de maior diâmetro de uma ocular de telescópio. Na lateral da bucha há três furos a 120 graus um do outro para serem rosqueados os parafusos que fixarão o suporte à ocular.

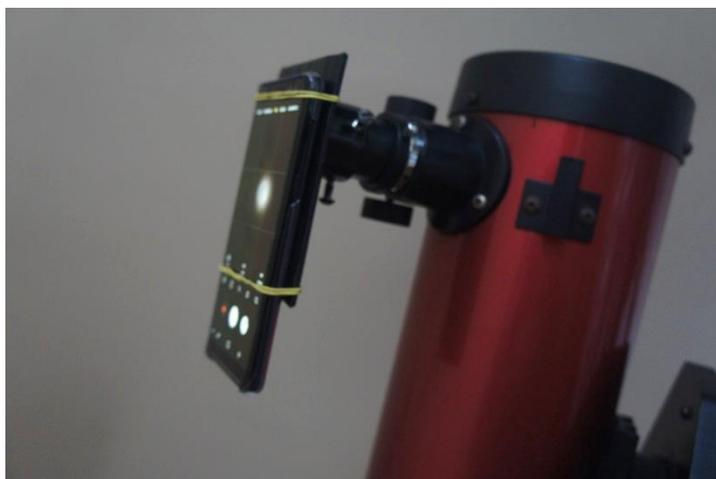
O papelão é um retângulo com as dimensões aproximadas do *smartphone*. Ele deve ser o mais duro possível para não deformar quando o *smartphone* for fixado a ele pelos elásticos. Foi recortado um orifício em forma de disco que tem a medida do diâmetro interno da bucha de PVC.

O papelão é colado à bucha. Há um acabamento com tinta preta. A pintura interna com tinta preta fosca ajuda a reduzir reflexões indesejadas que possam se formar no interior do tubo.

O *smartphone* é fixado com elásticos na base de papelão de forma que o centro da objetiva da câmera coincida com o centro da bucha de PVC.

Há um pequeno retângulo com papel duplex na parte interna da bucha para que os parafusos não fiquem em contato direto com a ocular, evitando marcar sua lateral. O suporte pronto com o *smartphone* deve ficar como mostrado na Figura 17. Esse suporte serve para qualquer telescópio cuja ocular tenha as mesmas especificações.

Figura 17 – O suporte com *smartphone* pronto para uso.



Fonte: elaborado pelo autor.

10.2 Descrição do espectroscópio com rede de difração

A função do espectroscópio com rede de difração é a de obter o espectro da fonte (Lua, planeta, estrela, etc.) de maneira que possa ser observado e registrado por um smartphone (BARROS, ASSIS e LANGHI, 2016).

Figura 18 – As partes do espectroscópio.



Fonte: elaborado pelo autor.

A figura 18 mostra as partes do espectroscópio cuja construção é realizada com material de baixo custo, utilizando:

- Papelão,
- Uma bucha de PVC com redução de 50 mm x 40 mm;
- Duas buchas de PVC com redução de 40 mm x 25 mm;
- Um pedaço de cano PVC com diâmetro de 25 mm e comprimento de 10 cm;
- Um CD sem a película refletora;
- Plástico preto de capa para apostila, obtido em gráficas e encadernadoras;
- Feltro preto e papel duplex.

Segue sua descrição:

Semelhante ao suporte de papelão descrito anteriormente, há um retângulo de papelão com as medidas do *smartphone* a ser usado nas atividades experimentais. Há um furo em forma de disco que coincide com o diâmetro interno de uma bucha PVC com redução de 50 mm x 40 mm. O papelão é colado a essa bucha, coincidindo o diâmetro do furo com sua abertura interna.

Encaixado a essa bucha há outra bucha PVC com redução de 40 mm x 25 mm com

revestimento interno de feltro preto em sua cavidade interna de maior diâmetro. Entre essas buchas está um disco feito com um pedaço do CD que teve sua superfície refletora retirada. Esse CD tem a função de rede de difração para o espectroscópio montado.

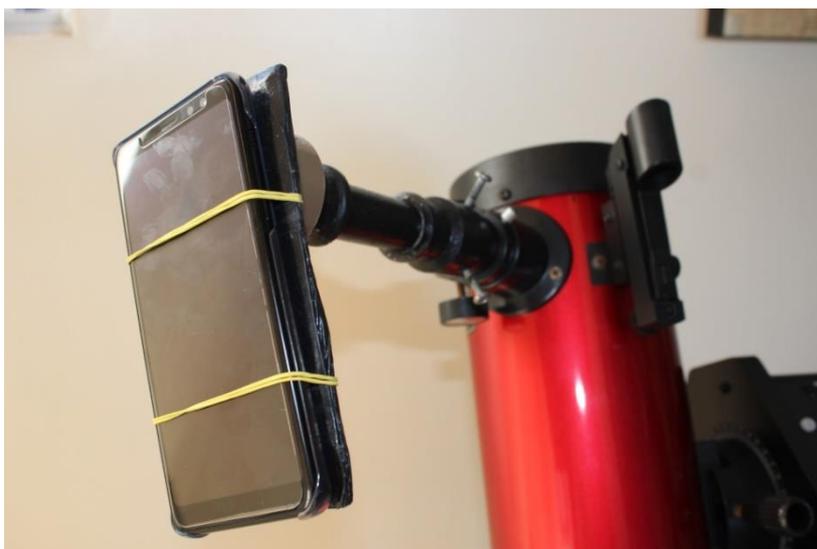
Na parte menor da bucha PVC com redução de 40 mm x 25 mm está encaixado o cano PVC de 10 cm, revestido internamente com feltro preto. A outra extremidade do cano é encaixada em outra bucha PVC com redução de 40 mm x 25 mm que tem pintura interna em preto fosco na sua cavidade de maior diâmetro.

Essa última é preparada conforme a que fora usada no suporte de smartphone. Há três parafusos, em seu cilindro de maior abertura, que servem para fixar o espectroscópio na ocular do telescópio. Há um pequeno retângulo de papel duplex para envolver a ocular, evitando o contato direto dos parafusos.

Nessa bucha, no lado do encaixe do cano PVC, está colado um disco de plástico preto que tem uma fenda estreita de 5 mm de comprimento. A espessura da fenda é limitada entre dois pedaços de lâminas de barbear cuja distância entre elas é suficiente para se observar franjas de interferência quando se olha através da fenda.

A figura 19 mostra o espectroscópio montado no telescópio com o *smartphone* fixado por elásticos. O centro da objetiva do *smartphone* coincide com o centro da rede de difração que por sua vez coincide com os centros da fenda e da ocular do telescópio.

Figura 19 – O *smartphone* e o espectroscópio fixados à ocular do telescópio.



Fonte: elaborado pelo autor.

10.3 A organização da sala de aula

Nas aplicações em sala de aula, a disposição das cadeiras foi adaptada como uma mesa de trabalho conforme a Figura 20. A mesa do professor foi organizada para ser a mesa de ferramentas para o acesso das equipes, era a que ficava próximo da tomada para uso do ferro de soldar e da pistola de cola quente (DOORLEY, WITTHOFT e PLATTNER, 2012).

11.4 A organização do material de trabalho

Figura 20 – A organização do material de trabalho.



Fonte: elaborado pelo autor.

O material de trabalho foi organizado em três grupos:

- Ferramentas e material de colagem (Bancada do professor):
 - Ferro de solda, pistola de cola quente, tesoura sem ponta, estilete, cola, fita adesiva, tinta acrílica preta, lápis, serra de arco, lixa, chave de fenda, alicate.
- Instrumentos de medida (um por equipe):
 - Régua, transferidor, paquímetro, esquadro, trena.
- *Kit* de montagem (um por equipe):
 - Bucha PVC com redução de 40 x 25, pedaços de cano PVC 25 mm, com 10 cm de comprimento, bucha PVC de 50 x 40, parafusos, CD, papel duplex preto, papelão de caixas, pedaço de capa de apostila da cor preta (que se consegue com encadernadores), pedaços de lâminas de estiletes ou de lâminas de barbear, elásticos amarelos, feltro preto.

A construção do *kit* envolveu alguns passos em três fases: montagem, ajustes e ação. Primeiro foi montado o suporte para o smartphone que era mais simples, com o intuito de dar tempo para desenvolver as habilidades manuais antes do próximo desafio.

10.5 Os aplicativos mais usados

À medida que os estudantes se deparavam com algum desafio como, por exemplo, orientar o telescópio de acordo com os pontos cardeais, a *Internet* servia como fonte e buscavam pelo smartphone as suas respostas. E também baixavam aplicativos como, para esse exemplo, o *GPS Status* e o *Sky Map*.

Nas atividades, a necessidade e a compatibilidade com o smartphone produziu uma lista de aplicativos que é reproduzida aqui. A busca por aplicativos de Astronomia usou a *PlayStore* ou a *App Store*:

- Mapas Celestes - Localizar estrelas e constelações no céu. Há vários:
 - *Sky Map* (Figura 21)
 - *Skysafari*
 - *KStars Lite*
 - *SkEye*
 - *Star Walk*
 - *Star Chart*
 - *Night Sky Lite*
- Medir o tempo sideral: *Sideral Time*
- Mapa lunar com a identificação de mares, crateras e locais de pouso das Apollo, Surveyor, Luna e Chang'e: *Moon Atlas 3D*
- Verificar as fases da Lua: *Lunar Phase*
- Localizar a ISS, satélites e eventos da noite. Também tem mapa celeste: *Heavens Above*
- Usar GPS para orientar linha Norte-Sul, diferenciar o Norte geográfico do magnético, conhecer a declinação magnética do local: *GPS Status*.
- Treinar o uso do paquímetro: *Vernier Caliper*.
- Medir a altura das estrelas com relação ao horizonte ou a inclinação do telescópio e seu nivelamento: *Clinometer*.

Figura 21 – localização de estrelas e constelações com o aplicativo Sky Map.



Fonte: elaborado pelo autor.

12 A IMPLEMENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

A aplicação do produto deu-se com um grupo de 6 alunos voluntários de uma turma do primeiro ano do Ensino Médio que recebeu o convite para fazer o minicurso de Astronomia na sede do Colégio Antares, uma escola da rede particular de ensino em Fortaleza no mês de agosto de 2018. Outra aplicação deu-se no mês de novembro do mesmo ano, no Colégio Farias Brito, outra escola particular, dessa vez com 8 alunos voluntários.

Na segunda escola as aulas foram realizadas após as provas de novembro, já com alguns alunos em férias, também aproveitando os horários após as aulas extras de Olimpíada de Astronomia. As aulas observacionais com telescópio eram marcadas no início da noite.

Ambas as escolas possuem telescópios. O ambiente escolhido para as reuniões de montagens foi uma sala de aula em horário logo após a aula de Olimpíada de Astronomia. A parte observacional com telescópio foi realizada em dependências da Escola a céu aberto, ambiente sem muita interferência de luzes.

Utilizando a estratégia do *Do It Yourself* embasada em Papert, sob a orientação do professor, por meio de desafios os estudantes participaram de um minicurso para montar o *kit* de Astronomia *maker* que consistiu em um suporte de smartphone para telescópio e espectroscópio, tendo contato com fenômenos relacionados à difração da luz durante suas atividades.

11.1 O planejamento e os primeiros testes com as montagens do *kit*

A motivação foi descrita nas considerações gerais no início desse trabalho. O planejamento do *kit* e das aulas foi realizado nos meses de junho e julho de 2018. O primeiro material utilizado, um protótipo, foi uma caixa de MDF (*Medium Density Fiberboard*), aproveitada de um material de artesanato.

O MDF é uma placa de fibra de madeira de média densidade, muito usado atualmente em materiais de marcenaria, artesanato, decoração e na construção civil. Tiras de papelão foram coladas de forma a fixar o smartphone na caixa por meio de elásticos como mostra a Figura 22.

Figura 22 – O primeiro espectroscópio em uma caixa de MDF com rede de difração.



Fonte: elaborado pelo autor.

A primeira grade de difração usada foi uma de 500 linhas por milímetro que serviu para os primeiros experimentos com a difração da luz utilizando três *laser pointers* nas frequências vermelho, verde e violeta.

A tampa da caixa de MDF, que tinha um retângulo de papelão onde era fixado o *smartphone*, podia ser adaptada à ocular do telescópio e fazer imagens da Lua, planetas e estrelas com boa estabilidade.

Esse material serviu de modelo para a turma do mês de agosto. Porém, alguns alunos dessa turma tiveram dificuldade em prender o aparato ao telescópio. Mas os experimentos de mesa, com a grade de difração foram muito bem aceitos pelos estudantes. O colorido produzido com os *lasers* foi uma grande atração. Essa turma fez o experimento de Young com facilidade, medindo com um paquímetro as distâncias entre o primeiro e o segundo máximo de interferência projetados em um anteparo na mesa do professor. Outra versão que fizeram foi usar uma trena para medir as projeções dos máximos de interferência em uma parede com distâncias maiores.

Vale ressaltar que alguns alunos participaram do planejamento e montagem dos protótipos, assim como dos testes fotográficos usando o *smartphone* e o telescópio, e nos experimentos de mesa com a rede de difração. Suas opiniões foram muito importantes na escolha dos experimentos e na sequência experimental utilizada.

A turma de novembro utilizou canos e conexões de PVC. Não trabalharam com o MDF. Cortaram um CD para fazer a grade de difração e retiraram a película refletora, deixando somente o material transparente para os experimentos com a refração da luz e a montagem do espectroscópio.

Na colagem do papelão e a bucha de PVC, usados para montar o suporte do *smartphone*, reforçaram as emendas com cola quente. Uma dificuldade que surgiu foi na parte das habilidades manuais, quando alguns precisaram serrar alguns pedaços de canos e buchas de PVC. Esse estágio foi contornado quando foram montar o espectroscópio, pois já estavam mais habilidosos com a serra.

11.2 As estratégias de trabalho

A proposta de início do minicurso é iniciar em data próxima do Quarto Crescente. Nessa fase o tipo de iluminação faz os objetos na superfície lunar apresentarem sombras nítidas, o que favorecer a observação de mais detalhes pelo melhor contraste.

Na noite anterior à primeira aula, durante os preparativos finais, sugere-se registrar uma imagem da Lua, seu espectro e o de uma estrela como ensaio. Isso é muito importante, pois os estudantes farão registros parecidos e conhecer seus passos previamente ajuda a minimizar algum imprevisto.

A criação de um “Clube de Astronomia” posterior ao minicurso precisa de uma equipe estruturada dentro da cultura de Astronomia *Maker*. Uma pequena quantidade de participantes no minicurso colabora com a estruturação de uma base de estudantes envolvidos profundamente com o processo que se tornarão os agregadores de novos participantes. Esse será o “núcleo” fundador do Clube de Astronomia.

Apesar de ser um método em longo prazo, os remanescentes desses minicursos trazem colegas para participarem de aulas, participam de projetos de monitoria e desenvolvem lideranças em suas salas de aula.

Esses estudantes manterão o Clube de Astronomia enquanto permanecerem na Escola. Convidam novos participantes, que estejam no primeiro ano, para renovar a equipe anualmente e deixarão o seu legado mesmo quando terminarem o Ensino Médio. O veterano acolhe o iniciante e ambos crescem no conhecimento e divulgação científica no âmbito escolar.

11.3 Mantendo a sintonia com a Escola

Todos os passos foram combinados com as coordenações. Por motivo de gestão e segurança a Escola precisava estar ciente do horário e identificação dos participantes, pois era necessário informar a portaria e os auxiliares do turno, escolher a sala de aula mais adequada, o local das observações com telescópio, quais seriam os equipamentos da Escola e a confirmação dos pais.

O minicurso não precisou gerar nota ou ponto extra para os voluntários da turma convidada. Uma exigência da coordenação foi que a aplicação fosse realizada em horários que favorecessem a Escola e os alunos. Foi feita a adequação à realidade dos participantes.

12 O RELATO DAS ATIVIDADES

Foi notório o envolvimento e o foco no trabalho nas quatro aulas. Os membros das equipes se revezaram em suas atividades de modo que houvesse a participação ativa de todos em cada atividade. Nos trabalhos de montagem, apesar das equipes em quantidades de participantes diferentes, foi percebido o companheirismo e a cordialidade entre os membros quando eles combinaram as divisões de tarefas, sem haver clima de concorrência entre as equipes.

12.1 Primeira aula

Na primeira aula após conhecerem detalhes sobre as partes do telescópio, seu funcionamento e o manuseio para que todos aprendessem a usar o equipamento sem danos, os participantes montaram o telescópio, fizeram a regulagem da buscadora e aprenderam a focalizar os objetos, conhecer as travas e ajustes.

Durante as observações, com algumas perguntas direcionais, aos poucos comandaram o manuseio do equipamento. Os que dominavam o telescópio com mais facilidade ensinavam aos demais colegas.

O professor ficava atento para corrigir a tempo alguma inabilidade com o equipamento, sem interferir muito na autonomia do estudante. Para evitar a espera enquanto alguém ficasse ao telescópio, mostrava constelações e estrelas, incentivando os participantes a identificarem os objetos celestes com um dos aplicativos de mapa celeste. Dominaram rapidamente o aplicativo e localizaram corretamente as constelações e principais estrelas.

Utilizando alguns aplicativos do *smartphone* as equipes conseguiram confirmar as posições dos pontos cardeais, identificar estrelas brilhantes e comentar sobre os referenciais de observação para compreender os movimentos da Terra e os movimentos aparentes dos astros.

Com autonomia, os estudantes ficaram a vontade ao fazer imagens da Lua ao telescópio usando a câmera do *smartphone*. Esse momento serviu para sondar o conhecimento prévio dos participantes.

Perguntou-se como melhorar a obtenção de imagens com a câmera junto à ocular do telescópio.

Um fato comum às duas turmas que vale ser ressaltado: como a equipe estava

trabalhando em local aberto, alguns curiosos se aproximaram para ver de perto o telescópio. Foram convidados a fazer observações da Lua com o grupo. Os estudantes que já conheciam o equipamento assumiram as explicações e protagonizaram momentos de interação com o “visitante”.

12.2 Segunda aula

Na segunda aula as equipes montaram o suporte de smartphone para telescópio. As equipes analisavam os modelos do *kit* e faziam um planejamento de trabalho para a construção, estruturando cada passo no processo de montagem e aperfeiçoamento. Em revezamento, cada membro assumiu uma função, com a divisão de tarefas ajudando na acelerar os trabalhos. Esses foram momentos de grande participação e protagonismo.

Figura 23 – Estudante testando o suporte com seu smartphone e uma luneta.



Fonte: elaborado pelo autor.

No final da montagem do *kit* outro desafio foi responder sobre o funcionamento da câmera do smartphone, o processo físico envolvido e técnicas para a obtenção de imagens de qualidade (Figura 23). As equipes tinham acesso à pesquisa pela Internet com seus smartphones.

Em suas pesquisas, os grupos debateram sobre o efeito fotoelétrico, o significado de ISO, tempo de exposição e abertura (Figura 24). Aprofundaram seu conhecimento sobre a câmera do *smartphone* na posição manual (PRO), descobriram como contornar as

dificuldades quando o seu aparelho não tinha essa função.

Figura 24 – Exemplos com variação no tempo de exposição, abertura ou ISO.



Fonte: elaborado pelo autor.

Na turma de agosto: cada um dos participantes fazia a montagem, o recorte e a colagem de uma parte do suporte. Quando finalizaram a montagem do suporte foram montar a estrutura do espectroscópio, dessa vez revezando as tarefas para todos participarem do processo inteiro de montagem.

Foi pedido que eles pesquisassem um pouco sobre o espectroscópio, a difração da luz e redes de difração. Não finalizaram o espectroscópio, faltando a peça plástica com a fenda. Como a aula aconteceu no período diurno para essa turma, já estava combinada a noite para fazerem os testes fotográficos usando o suporte com o telescópio.

Na aula da noite fizeram imagens da Lua com qualidade razoável. Também fizeram tentativas com estrelas e planetas. Colocaram o espectroscópio no telescópio e tentaram alguns espectros usando a rede de difração. Foi vantajoso para essa turma pois essa aula foi tomada como extra.

Na turma de novembro: um ficava encarregado de fazer os furos na bucha de PVC com o ferro de solda ou usar a pistola de cola quente. Os outros se encarregavam de medir e marcar as peças a serem cortadas, ou fazer algum recorte e colagem. Terminado o suporte, foram montar a estrutura do espectroscópio. Quem usou a serra na primeira montagem trocou de tarefa com o colega de outra tarefa, em uma ágil linha de produção com a participação de todos.

Depois de pronto o suporte, cada um teve o seu momento de registro de imagens ao telescópio (Figura 25).

Figura 25 – A Lua na segunda noite de atividades (imagem com smartphone).



Fonte: elaborado pelo autor.

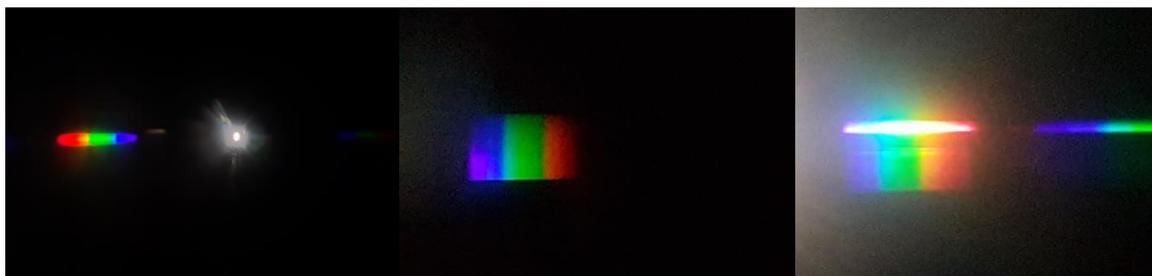
12.3 Terceira aula

Na terceira aula todos comentavam sobre as observações e imagens capturadas com seus *smartphones*. As equipes finalizaram os espectroscópios (Figura 26). Resolveram desafios em forma de experimentos.

Esses experimentos surgiram das dúvidas entre eles quando usavam a rede de difração e comparavam com um prisma na aula anterior. As turmas de agosto e de novembro tiveram dúvidas semelhantes sobre a difração da luz. Organizaram-se em três equipes e revezando-se nas medidas, usaram três *lasers* de cores diferentes (Vermelho, verde e violeta) e depois apresentaram seus resultados sobre o experimento de Young e o número de linhas da rede de difração.

Para a equipe que fez as medidas de maior discrepância com o valor esperado, era feito outro experimento em que todos participavam ajudando na determinação da nova medida.

Figura 26 – Imagens de diversos espectros registrados pelas equipes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A equipe de agosto observou e fotografou o espectro da chama produzida em um cadinho contendo álcool em gel com sal de cozinha (Figura 27). A equipe de novembro não fez esse experimento, pois buscou fazer uma pesquisa sobre a difração da luz no telescópio e como se calcula o poder separador.

Figura 27 – Teste da chama com o espectroscópio e o smartphone.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Essa ultima investigação surgiu porque um aluno queria saber se daria para ver a bandeira deixada pelos astronautas na superfície lunar. A autonomia nas investigações levou a novas buscas.

12.4 Quarta aula

Na última aula do minicurso as equipes relataram suas experiências em comentários descontraídos sobre sua participação e o que aprenderam. Como avaliação apresentaram em duplas os temas de Física e Astronomia referentes às dúvidas que surgiram e foram resolvidas pelas equipes. Esses temas são mostrados no capítulo seguinte.

A receptividade deles com relação ao minicurso foi positiva. Acharam muito interessante a condução da aula: Um aluno da turma de agosto comentou que o professor “não fazia como nas aulas normais”. Também disse que o professor conduzia a turma a buscar as respostas “pesquisando no celular” e “unindo todos para se ajudarem”.

Um aluno da turma de novembro disse que “primeiro a gente aprende a fazer e depois repassar”. Uma aluna comparou sobre a passividade em sala de aula e sua atividade no minicurso: “colocar a mão na massa é mais divertido do que focar na teoria, a gente consegue fazer sem dificuldade”.

Perguntados sobre o que poderia ter ajudado em termos de aprendizagem, um aluno da

turma de agosto comentou que sua participação fez com que prestasse mais atenção na aula de Física. Outros acenaram afirmativamente, concordando com o colega e acrescentaram que nas disciplinas de Matemática e de Geografia.

Da turma de novembro, apesar de terem feito o minicurso no final do ano, um deles comentou que conseguiu entender mais o que estudara em Química por causa da pesquisa em espectroscopia. Outro disse que conseguiu melhorar a compreensão em Geometria, pois vira utilidade no que estudou antes em sala e conseguiu usar no minicurso para resolver os desafios.

Particularmente sobre a Astronomia foi comum dizerem que era um tema apaixonante. Muitos disseram gostar daquele tema desde pequenos.

Sobre as dificuldades encontradas e como fizeram para contornar: uma equipe de agosto não conseguiu fixar o suporte do smartphone na caixa do espectroscópio, precisando colocar fita para não deixar cair. Foi perguntado à turma como resolver isso e como poderia ser melhorado. Das sugestões saiu a troca da caixa pelos canos e buchas em PVC.

Já nas turmas de novembro: uma equipe falou que teve dificuldade em serrar o cano. Uma aluna teve uma dificuldade que foi a de perder muito tempo lixando as bordas do disco feito de CD para caber na cavidade entre a bucha e o cano. A melhoria encontrada foi cortar o CD internamente à linha que desenharam. Havia usado um marcador grosso com o cano servindo como guia e cortaram o CD por fora da marca que obviamente ficara em maior diâmetro.

Houve unanimidade sobre as dificuldades em localizar as estrelas com o espectroscópio montado no telescópio. Uns comentaram que ao localizarem a estrela no centro do campo da ocular, conferiam o alinhamento com a buscadora, mas demoravam ao prender o espectroscópio na ocular. Indagados sobre os motivos, disseram que nesse intervalo a estrela já havia saído do centro da ocular por causa da rotação da Terra. Conseguiram localizar com dificuldade e fizeram poucos registros dos espectros.

Todos foram unânimes em dizer que aprenderam a usar o telescópio. Perguntados sobre o reconhecimento dos astros demonstraram ter aprendido a localizar constelações e estrelas com o auxílio dos aplicativos de mapas celestes.

Sobre os *smartphones* houve unanimidade sobre sua utilidade. As pesquisas realizadas, o treino com o paquímetro, os aplicativos de Astronomia e de Física, a câmera e os registros de imagens astronômicas.

Foi comum ouvir os comentários nas turmas de agosto e de novembro de que essa é a

melhor ferramenta de trabalho para o estudante porque encontravam tudo o que precisavam para os seus estudos e pesquisas. Tinham a consciência de que não poderiam usar em sala de aula, mas que esse era um grande auxiliar em sua vida estudantil.

13 EXEMPLOS DE RESULTADOS COM OS DESAFIOS DA FÍSICA

Durante o projeto de montagem do *kit* surgiam dúvidas sobre alguns fenômenos físicos envolvendo o limite de ampliação de um telescópio para ver uma cratera lunar e não ver a bandeira dos astronautas deixada na Lua. Já a compreensão sobre a interferência e a difração, veio de um desafio por meio do experimento de Young, o que ajudou a esclarecer como se produz o espectro de cores de fontes policromáticas nas imagens obtidas.

As equipes pesquisavam os temas e as palavras-chave que direcionavam o grupo para os novos desafios e na aula seguinte ou nas passagens entre etapas de trabalho, alguns já estavam com suas ideias a respeito do assunto, ajudando aos que ficavam com maior dificuldade na compreensão do fenômeno (HEWITT, 2011).

13.1 Poder separador de um telescópio

Para a dúvida sobre o poder separador do telescópio, usaram o critério de Rayleigh segundo Karttunen et al. (2007). Foi sugerido apontar para uma estrela próxima ao zênite e usar uma ocular de grande aumento, quando alguns conseguiram visualizar os círculos concêntricos ao redor da imagem puntiforme da estrela, identificado como o disco de Airy.

No plano focal do telescópio, para uma maior resolução, o diâmetro (D) da objetiva determina o raio do disco de difração (o disco de Airy).

Em um comprimento de onda (λ) de 550 nm ($\lambda = 550$ nm), podemos encontrar o poder separador (θ). O seno de θ para ângulos muito pequenos se aproxima do próprio ângulo θ (medido em radianos):

$$\text{sen } \theta \approx \theta$$

Para aberturas circulares, pode-se usar:

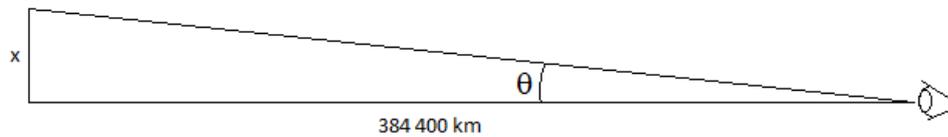
$$\theta = 1,22 \frac{\lambda}{D} \quad (34)$$

E de um modo geral:

$$\theta = \frac{\lambda}{D} \quad (35)$$

O telescópio usado tinha um diâmetro de 150 mm. Usando a distância média da Lua como sendo de 384 400 km para o comprimento de onda dado acima, encontraram que o menor diâmetro (x) que pode ser resolvida uma cratera é de 1,7 quilômetros. Portanto, não dá para visualizar a bandeira.

Figura 28 – A separação mínima e o ângulo de visada para o olho do observador



Fonte: elaborado pelo autor.

O grupo utilizou o Sistema Internacional de unidades (SI) para converter a distância média entre Terra e Lua para $384\,400 \times 10^3$ metros, o diâmetro do telescópio em 150×10^{-3} metros e o comprimento de onda, 550×10^{-9} metros. Resultou em:

$$\theta = 1,22 \frac{550 \times 10^{-9}}{150 \times 10^{-3}}$$

$$\theta = 4,47 \times 10^{-6} \text{ rad}$$

Esse foi o menor diâmetro dividido pelo telescópio. A partir dessa informação e com a distância Terra-Lua adotada, chegou a:

$$\theta = \frac{x (m)}{384\,400 \times 10^3 m}$$

$$x = 1\,718,3 \text{ m}$$

Nada impediu que alguns fizessem também de outras maneiras, como a apresentada a seguir:

$$\frac{x}{384400 \times 10^3} = \frac{1,22 \times 550 \times 10^{-9}}{150 \times 10^{-3}}$$

$$x = 1,7 \text{ km}$$

Onde x é a separação mínima entre os pontos diametralmente opostos da cratera para um observador terrestre (Figura 28).

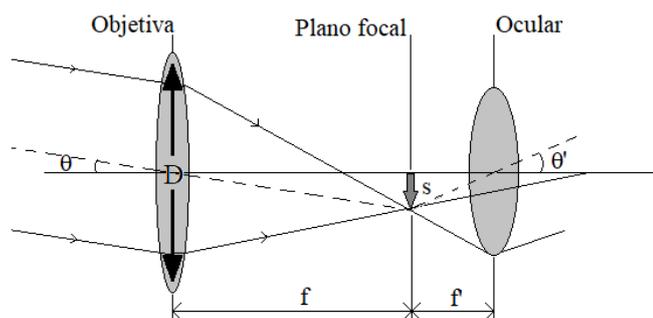
Outra maneira encontrada pelo grupo foi pelo diâmetro lunar. Se a Lua tem 3476 km de diâmetro, o que corresponde a aproximadamente meio grau ($30'$), ela ocupa 1800 segundos de arco ($1800''$) do céu.

Cada segundo de arco corresponde a $3476/1800'' = 1,93$ quilômetros. Muito maior que a bandeira. Então, calcularam o diâmetro que deveria ter o telescópio para resolver uma bandeira de 1 metro na superfície da Lua e deixaram alguns surpresos: o telescópio deveria ter 257,9 metros. Descobriram que o maior telescópio do mundo, o *European Extremely Large Telescope* (E-ELT), ainda em construção no Chile, terá um espelho primário de 39 metros.

13.2 O tamanho da imagem da Lua no plano focal do telescópio

Outra dúvida resolvida pelos participantes foi sobre o diâmetro da imagem lunar no plano focal do telescópio.

Figura 29 – A formação da imagem no plano focal de um telescópio



Fonte: elaborado pelo autor.

Observando a (Figura 29), o objeto subtende um ângulo θ . A objetiva, de distância focal f , forma uma imagem de tamanho s no plano focal. O ângulo θ' corresponde à imagem s vista através da ocular de distância focal f' .

A escala da imagem s pode ser determinada por:

$$s = f \tan \theta \quad (36)$$

Como o ângulo θ é muito pequeno, então $s \approx f \theta$, que pode ser aproximado para:

$$s = f \theta \quad (37)$$

Para o telescópio de 150 milímetros de diâmetro e razão focal $f/5$ que usaram, encontraram a distância focal pela expressão:

$$\text{Razão focal} = \frac{f}{D} \quad (38)$$

Transformaram o diâmetro da Lua de meio grau ($30'$) para radianos, usando $\theta = \frac{30' \cdot \pi}{180 \cdot 60'}$, obtendo $\theta = 8,73 \cdot 10^{-3} \text{rad}$.

Utilizando a expressão (37), encontraram que a imagem da Lua teria aproximadamente 6,54 milímetros no plano focal do telescópio.

14.3 Experimentos e desafios com a grade de difração, um CD e o experimento de Young

Antes da montagem do espectroscópio alguns questionamentos foram feitos sobre a decomposição da luz por um prisma e a diferença de funcionamento de uma rede de difração

(CAVALCANTE, TAVOLARO e HAAG, 2005).

Foi estabelecido um desafio que consistia em determinar a distância entre duas ranhuras de uma grade de difração e conseqüentemente o número de ranhuras por milímetro. Somente o professor sabia das características da grade (500 linhas por milímetro).

Figura 30 – Franjas de interferência produzidas por um feixe de laser e CD.

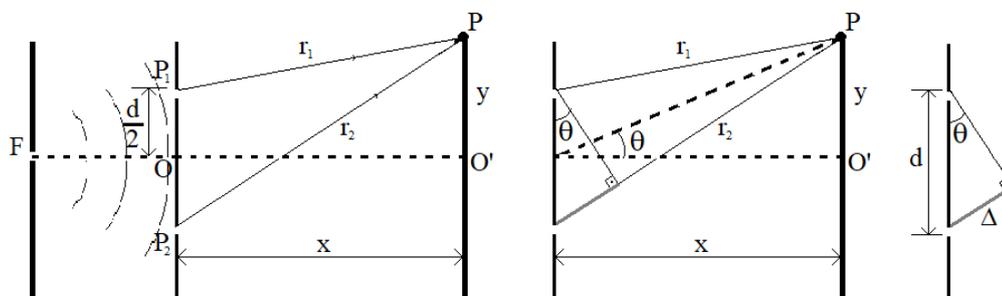


Fonte: elaborado pelo autor.

O experimento realizado em 1801 por Thomas Young foi reeditado pelas equipes com uma *laser* de comprimento de onda conhecido e uma rede de difração, e posteriormente com um pedaço de um *Compact Disk* (CD).

Um feixe de luz monocromática proveniente do *laser* ao incidir sobre a superfície da rede de difração (ou do CD sem a capa refletora) formou franjas de interferência conforme a (Figura 30). Para duas fendas separadas por uma distância d , a luz espalhada atingiu o anteparo colocado a uma distância x da rede. Para formar as franjas de interferência construtiva no anteparo, as ondas luminosas partiram das fendas P_1 e P_2 e chegaram em fase ao ponto P. Observando a figura 31, os caminhos percorridos por essas ondas (r_1 e r_2) eram de comprimentos diferentes.

Figura 31 – Ondas em fase na produção do primeiro máximo de interferência.



Fonte: elaborado pelo autor.

Então, para que as ondas luminosas chegassem ao ponto P em fase, formando pontos de interferência construtiva, a diferença de caminho (Δ) dessas ondas deveria ser um múltiplo

inteiro do comprimento de onda (λ). Equacionando para $m = 0, 1, 2, 3, \dots$

$$\Delta = m\lambda \quad (39)$$

Para a franja central (ou máximo central) correspondendo a $m = 0$, as ondas percorreram a mesma distância para formá-la, chegando em fase. O ângulo θ correspondia ao afastamento y entre O' e P (desvio do ponto P com relação ao máximo central). Foram medidas das distâncias x e y e os estudantes calcularam a tangente de θ . Depois, encontraram o arco cosseno para conhecer o valor desse ângulo.

Eles perceberam, conforme mostra a figura 31, a diferença de caminho no triângulo retângulo formado correspondia a

$$\Delta = d \text{ sen } \theta \quad (40)$$

E que esse triângulo era semelhante ao construído pelas diferenças de caminho e o anteparo (triângulo P, P_1 e P_2). Calcularam o seno do ângulo θ e fizeram a correspondência entre as expressões 3 e 4, resultando em:

$$m\lambda = d \text{ sen } \theta \quad (41)$$

Como usaram o primeiro máximo de interferência (em P), m seria igual a 1 e chegaram a determinar a distância d entre duas linhas da rede de difração com

$$d = \frac{\lambda}{\text{sen } \theta} \quad (42)$$

Foi aconselhado a eles que tomassem cuidado com as medidas, levando em consideração os algarismos significativos e os arredondamentos dos resultados somente no final do processo. Uns tomaram as medidas com muita atenção enquanto outros anotavam e faziam os cálculos iniciais. Ao final, todos estavam envolvidos na busca dos resultados.

13.4 Um exemplo resolvido de um experimento-desafio

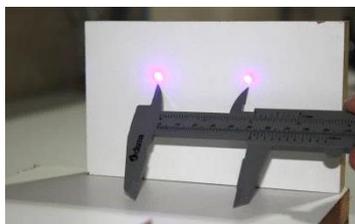
O experimento-desafio produzido precisava de conhecimentos sobre algarismos significativos e o uso do paquímetro. Alguns participantes buscaram na Internet o uso do paquímetro, outros baixaram um aplicativo para treinar: o *Vernier Caliper*.

Todos precisavam fazer as melhores medidas e ficavam atentos aos algarismos significativos para chegar aos resultados mais próximos. Um paquímetro estava na bancada junto ao aparato com *laser*, rede de difração e anteparo.

Foi sorteada a ordem da equipe de acordo com a cor do *laser*. A rede de difração já estava montada em um suporte a 25 centímetros do anteparo. Podiam ser feitas duas medidas e depois a média seria usada para os cálculos (FIGURAS 32, 33 e 34). Era anotado o

comprimento de onda do *laser*.

Figuras 32, 33 e 34 – Medidas com os lasers violeta, verde e vermelho, respectivamente.



Violeta



Verde



Vermelho

Fonte: elaborado pelo autor.

Na vez da equipe o *laser* era ajustado no suporte para ficar alinhado com a grade de difração e o anteparo. Em seguida, conferida a distância entre cada elemento do experimento com um paquímetro: a ponta do *laser*, a rede de difração e o anteparo. As equipes obtiveram os seguintes resultados:

Tabela 1 – Resultados das equipes

Equipe 1	Equipe 2	Equipe 3
Laser: Violeta	Laser: Verde	Laser: Vermelho
$\lambda = 405 \text{ nm}$	$\lambda = 532 \text{ nm}$	$\lambda = 660\text{-}680 \text{ nm}$
$y_1 = 52,8 \text{ mm}$	$y_1 = 68,75 \text{ mm}$	$y_1 = 93,85 \text{ mm}$
$y_2 = 53,40 \text{ mm}$	$y_2 = 69,70 \text{ mm}$	$y_2 = 93,85 \text{ mm}$
Média: $y = 53,10 \text{ mm}$	Média: $y = 69,23 \text{ mm}$	Média: $y = 93,85 \text{ mm}$
$x = 25 \text{ cm}$	$x = 25 \text{ cm}$	$x = 25 \text{ cm}$
$d = 3,226 \times 10^{-6} \text{ m}$	$d = 1,993 \times 10^{-6} \text{ m}$	$d = 1,906 \times 10^{-6} \text{ m}$
310 ranhuras/mm	501 ranhuras/mm	525 ranhuras/mm

Fonte: elaborada pelo autor.

Unidas, as equipes buscaram em suas medidas e cálculos detalhes que levaram seus resultados a serem diferentes do valor revelado de 500 ranhuras por milímetro. E chegaram a um consenso de onde melhorar suas medidas e metodologias para obter melhores resultados.

A partir daí foi dado um novo desafio dessa vez com outra rede de difração. A equipe 1, por ter maior discrepância nos resultados, chefiou a nova medida, dessa vez usando uma trena com a projeção do feixe em uma parede (Figura 35).

Figura 35 – Medida da rede de difração feita com pedaço de um CD.



Fonte: elaborada pelo autor.

A rede de difração consistia de um pedaço de um CD devidamente preparado. Retirou-se a película refletora e o corte do pedaço foi feito o mais próximo possível da borda do CD. Esse pedaço de CD serviu como grade de difração do espectroscópio que seria construído depois.

O novo resultado da equipe foi:

Tabela 2 – Resultados do novo desafio.

Laser: Violeta $\lambda = 405 \text{ nm}$	$y_1 = 55,70 \text{ cm}$	$x = 196,3 \text{ cm}$
	$y_2 = 55,80 \text{ cm}$	$d = 1,482 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
	Média: $y = 55,75 \text{ cm}$	674,8 ranhuras/mm

Fonte: elaborada pelo autor.

O resultado final para o CD foi de 674,8 ranhuras/mm ou 675 ranhuras/mm. Para chegarem nesse resultado, pesquisaram que a distância d é o inverso do número de fendas por unidade de comprimento. Tendo o cuidado de converter as unidades de milímetros e nanômetros para o SI, chegaram às conclusões acima (YOUNG e FREEDMAN, 2009, p. 130).

Usando os *lasers* violeta, verde e vermelho, notaram os diferentes tamanhos de y (outros, os ângulos de desvio θ) e concluíram que se passasse luz branca (policromática) pela rede de difração (ou CD), cada cor componente será projetada em regiões diferentes do anteparo, formando o espectro de cores. Isso se verificou com os ângulos de desvio (θ) proporcionais aos diferentes comprimentos de onda (λ) envolvidos (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2011).

14 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A experiência com o minicurso de introdução à Astronomia instrumental *maker* com kit para smartphone e telescópio partiu de convites aos estudantes para presenças espontâneas durante as aulas que constaram de quatro encontros por semana com experimentos que davam a autonomia aos participantes no desenrolar dos projetos.

Dos quatro encontros planejados os desafios ocorriam em escalas crescentes de dificuldades a cada etapa. O primeiro desafio foi a obtenção de uma imagem da Lua pelo smartphone. O segundo já construía um suporte simples para dar mais estabilidade ao *smartphone* quando acoplado à ocular do telescópio. O terceiro já passou por experimentos com difração e interferência e o quarto e mais difícil com a montagem do espectroscópio, sua colimação e o registro das imagens dos espectros das estrelas.

Intercalados a esses desafios, surgiam outros, de acordo com as dúvidas do grupo, que eram sanadas pelos próprios participantes ao pesquisarem, sendo orientados a se unirem em busca dos resultados que esclarecessem as indagações.

Os momentos foram de descontração, com os desafios atuando como brincadeiras entre os grupos que se empolgaram e ficavam envolvidos a ponto de algumas vezes extrapolarem o tempo de aula para repetir alguma coisa ou iniciar algo novo no clima de cooperação e satisfação com os resultados.

Certamente o “aprender a fazer” de Papert surtiu efeito com a investigação e a experimentação, em processos criativos que exploravam as possibilidades, encontravam erros, buscavam novos caminhos, modificavam e aperfeiçoavam detalhes, construíram e compartilharam experiências. Aprenderam e consolidaram conhecimento. Desenvolveram habilidades e competências em um intervalo que consistia em um conjunto de cinco aulas de cem minutos cada.

A cultura *maker* envolve uma metodologia poderosa do envolvimento e da paixão pelo que se faz. Associada à Astronomia produziu possibilidades além do esperado com os minicursos.

O que se pôde notar do que foi discutido na Astronomia: o uso correto do telescópio, orientação e localização, pontos cardeais, rotação da Terra, constelações e estrelas mais brilhantes, as fases da Lua, magnitude e brilho, noções de coordenadas astronômicas, astrofísica, espectros estelares, efeito Doppler-Fizeau, estrelas duplas, diferença entre estrela e

planeta, cores das estrelas, astrofotografia, diagrama HR¹, história da Astronomia.

Apesar da ênfase na difração a luz as discussões na Física ficaram em torno de: fundamentos da óptica geométrica, os princípios de propagação da luz, absorção, refração, reflexão, difração, interferência, lentes, espelhos, instrumentos ópticos, bases da óptica física e ondulatória, natureza da luz, cores primárias e secundárias, prismas, período, frequência, comprimento de onda, velocidade da luz, leis de Kirchhoff para a espectroscopia, séries de Balmer, raias de Fraunhofer, radiação de corpo negro, modelo atômico de Bohr, bases da Física Moderna, história da Física. Esses temas ajudaram a compreender o funcionamento do telescópio associado ao *kit* de Astronomia *maker*.

O convite para os estudantes a participarem espontaneamente das atividades foi uma estratégia proposital que surtiu efeito na criação de núcleos de Astronomia dentro das escolas. Em comum acordo com a coordenação, o participante mais antigo tinha a liberdade de convidar algum colega para suas atividades observacionais ao telescópio. O passo seguinte, quando alguns grupos estiverem consolidados é oficializar os clubes de Astronomia e ciências afins.

Em uma das escolas a coordenação de Olimpíadas já permitiu o a criação de seu clube voltado à Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica em atividades mistas de aulas expositivas e observacionais. Já possui dois telescópios e em uma das sedes há o projeto de se construir um observatório astronômico com sala própria do Clube de Astronomia.

Outra escola já comprou o segundo telescópio e a Coordenação de Olimpíadas concordou com um projeto de monitoria liderado pelos alunos do grupo que participaram das fases preparatórias das olimpíadas internacionais de Astronomia. Esse grupo já ministra aulas práticas e observacionais para os remanescentes das aulas de olimpíada de Astronomia. Uma adaptação que aconteceu nessa escola é que o convite da nova turma foi feito pelos estudantes das olimpíadas de Astronomia e o grupo foi formado a partir dali. Veteranos e novatos trocando ideias e crescendo juntos no conhecimento.

Os estudantes que participaram das aplicações passaram a frequentar as aulas voltadas para a Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA).

Os projetos se adaptaram às realidades das escolas que vêm usufruindo de resultados nas olimpíadas nacionais e internacionais de Astronomia. Em uma delas, o Colégio Antares, foi feito um projeto de Astronomia para Pais e Filhos, com séries do Ensino Fundamental e

¹ Um diagrama HR, ou de Hertzsprung-Russell, possui no eixo correspondente às abscissas as classes espectrais das estrelas (ou sua temperatura) e nos eixos das ordenadas, as magnitudes absolutas (luminosidades) estelares (ARGENTIÈRE, 1957, p. 43).

Médio participando de três noites de atividades observacionais. Houve muita procura pelo Clube de Astronomia depois disso.

O projeto segue com a promessa de implantação do minicurso por parte de uma terceira escola particular para o segundo semestre de 2019. Isso faz parte da continuidade do projeto que se molda à realidade da escola sem perder o seu cerne.

Uma escola pública já se manifestou, por meio de seu coordenador, para que fosse contemplada com um minicurso em 2019. Eles estão pretendendo construir em suas dependências uma laje em um dos prédios para observações astronômicas.

Outros frutos colhidos dessas adaptações com as escolas são medalhas na Olimpíada Latino-americana de Astronomia e Astronáutica por parte de estudantes que participaram das aplicações e participaram das aulas de Olimpíada.

O manual produzido não tem a intenção de fazer um projeto “engessado” no meio escolar. Muito menos esgota as possibilidades de uso do *kit* educacional. A criatividade e a curiosidade em aprender, por parte dos estudantes e professores, norteiam o legado do projeto.

A Astronomia, como uma ciência interdisciplinar, aliada a um dos *gadgets* mais usados em todos os tempos, o *smartphone*, darão asas às possibilidades de aplicações e usos em sala de aula, laboratórios e outros ambientes da Escola.

O projeto educacional de Astronomia dentro da perspectiva *maker* envolveu a produção de ferramentas que auxiliaram no registro de imagens diretas de objetos celestes ou de seus espectros, como mediadoras do uso do telescópio com *smartphone*. Aplicativos foram os grandes auxiliares – que poderão ter a sua produção em um passo futuro, dependendo da necessidade do grupo.

Há possibilidades de fazer um novo trabalho com o empilhamento de imagens de planetas e da Lua, por meio de filmagens ou sequências de fotos, ou mesmo a fotometria estelar.

O uso de outras plataformas, usando o *arduino* ou *raspberry pi*, são possibilidades que os futuros usuários desse manual poderão explorar e dar continuidade a essa busca de se conhecer melhor as ciências e associar esse conhecimento ao contexto do aprendizado escolar. Aproveitando o envolvimento dos participantes e a criatividade há a possibilidade da construção de câmeras e espectroscópios mais sofisticados, em edições futuras com produções de baixo custo e resultado imediato.

Ressalta-se aqui o legado e a busca da continuidade para paulatinamente mergulhar na cultura *maker* ficando a sugestão de se desenvolver projetos de fotometria estelar para vir se

juntar ao *kit* com suporte e o espectroscópio com novos projetos em encontros futuros que poderão se associar a Olimpíadas de Astronomia e de Física, feiras culturais, exposições e espaços *maker*.

Esses são os passos iniciais de um projeto que está em andamento, iniciado com pequenos projetos-piloto, que se adapta à realidade de cada um em um trabalho prazeroso tanto para o professor quanto para os estudantes, trazendo a oportunidade de trazer a iniciação científica para a Escola Básica, ajudando a desenvolver habilidades e competências, no papel de aproximar Ciência e escola cada vez mais e certamente aumentando o grau de amizade e apreço ao Educador.

REFERÊNCIAS

- ARGENTIÈRE, Rômulo. **Átomos e Estrelas**. Coleção Ciência e Divulgação. São Paulo: Edições Pincar, 1957.
- AZEVEDO, Rubens. **Selene A Lua ao Alcance de Todos**. São Paulo: Edições Pincar Ltda, 1959.
- BAKULIN, P.I. KONONOVICH, E.V. MOROZ, V.I. **Curso de Astronomia General**. Moscú: Editora Mir, 1987.
- BARROS, Lucas Guimarães; ASSIS, Alice; LANGHI, Rodolfo. Proposta de construção de espectroscópio como alternativa para o ensino de Astronomia. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 33, n. 3, p. 1026-1046, dez. 2016. ISSN 2175-7941. doi: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n3p1026>. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2016v33n3p1026>. Acesso em: 12 mai. 2019.
- BORGES, Karen Selbach. PERES, André. CASTILHO, Maria Inês. FAGUNDES, Léa da Cruz. Possibilidades e desafios de um espaço maker com objetivos educacionais. **Tecnologia Educacional**. Revista da Associação Brasileira de Tecnologia Educacional. Ano LIII – 210. Julho / Setembro – 2015. Disponível em: <http://abt-br.org.br/wp-content/uploads/2017/03/210.pdf> Acesso em: 12 mai. 2019.
- CADOGAN, Peter. **Lua nosso planeta irmão**. Rio de Janeiro: Livraria Francisco Alves Editora S. A., 1985.
- CAMARGO, Carlos Eduardo Pires de. O artesão, o filósofo e o maker. **Teccogs: Revista Digital de Tecnologias Cognitivas**, TIDD | PUC-SP, São Paulo, n. 13, p. 67-77, jan-jun. 2016. Disponível em: Fonte: <http://www.abrapecnet.org.br/enpec/x-enpec/anais2015/resumos/R0211-1.PDF> Acesso em: 12 mai. 2019.
- CAMPOS, Dinah Martins de Souza. **Psicologia da Aprendizagem**. 39 ed. Petrópolis: Editora Vozes, 2011.
- CARUSO, Francisco. OGURI, Vitor. **Física Moderna: origens clássicas e fundamentos quânticos**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- CASTAÑÓN, Gustavo Arja. O que é construtivismo? **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**. Campinas, Série 4, v. 1, n. 2, p. 209-242, jul.-dez. 2015. Disponível em: <https://www.cle.unicamp.br/eprints/index.php/cadernos/article/view/744/627>. Acesso em: 12 mai. 2019.

CAVALCANTE, Marisa. TAVOLARO, Almeida Cristiane Rodrigues C. HAAG, Rafael. Experiências em Física Moderna. **Física na Escola**, SBF, São Paulo, v. 6, n. 1, 2005. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/exper-fis-mod.pdf>. Acessado em: 12 mai.2019.

DOORLEY, Scott. WITTHOFT, Scott. PLATTNER, Hasso. Make Space: How to Set the Stage for Creative Collaboration. New Jersey: Institute of Design at Stanford University, 2012.

FEYNMAN, Richard P. **Só Pode Ser Brincadeira, Sr. Feynman!** Rio de Janeiro: Editora Intrínseca LTDA, 2019.

FILHO, Kepler S. Oliveira. SARAIVA, Maria F. Oliveira. Astronomia e Astrofísica. 3ed. Porto Alegre: Livraria da Física, 2014.

FINO, Carlos Nogueira. **Dewey, Papert, construcionismo e currículo**. Madeira, 2017. Disponível em: http://www3.uma.pt/carlosfino/publicacoes/Dewey_Papert_Construcionismo_Curriculo.pdf. Acesso em: 12 mai. 2019.

FREIRE, Paulo. **Educação e Mudança**. 11 ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1983.

GASPAR, Alberto. **Experiências de Ciências**. 2 ed. São Paulo: Ed. Livraria da Física, 2014.

HALLIDAY, David. RESNICK, Robert. WALKER, Jearl. **Fundamentos da Física, volume 4: Óptica e Física Moderna**. 8ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

HAREL, Idit. PAPERT, Seymour. “Situating Constructionism”. In **Constructionism**. Eds. New York: Ablex Publishing Corporation, 1991. Disponível em: http://web.media.mit.edu/~calla/web_comunidad/Reading-En/situating_constructionism.pdf . Acesso em: 12/mai/2019.

HATCH, Mark. **The Maker Movement Manifesto: Rules for Innovation in the New World of Crafters, Hackers, and Tinkerers**. New York: McGraw-Hill Education, 2013.

HERRERA, Luis Lach. **Dr. Seymour Papert y el Construccinismo. Una revisión comparada de su propuesta pedagógica con Jean Piaget y Lev Vygosky**. Enero 2017. Disponível em: https://www.academia.edu/32015807/Dr._Seymour_Papert_y_el_Construccinismo._Una_revisión_comparada_de_su_propuesta_pedagógica_con_Jean_Piaget_y_Lev_Vygosky. Acesso em: 12 mai. 2019.

HESSEN, Johannes. **Teoria do Conhecimento**. 7ª edição. Coimbra: Armênio Amado – Editor, Sucessor, 1980.

HEWITT, Paul G. **Física Conceitual**. 11 ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

KARTTUNEN, Hannu, KRÖGER, Pekka, OJA Heikki, POUTANEN, Markku, DONNER, Karl Johan (Eds.). **Fundamental Astronomy**. 5th edition. New York: Springer, 2007.

NAPOLEÃO, Tasso Augusto. Astronomia Amadora. In: MATSUURA, Oscar T. (Org.). *História da astronomia no Brasil* (2013). Volume 2. Recife: Cepe, 2014.

NICOLINI, Jean. **Manual do astrônomo amador**. 2 ed. Campinas: Papirus, 1991.

NUNES, Ana Ignez Belém Lima. SILVEIRA, Rosemary do Nascimento. *Psicologia da Aprendizagem processos, teorias e contextos*. Fortaleza: Liber Livro, 2008.

NUSSENZVEIG, Moisés. **Curso de Física Básica**. Vol. 4. 9 ed. São Paulo: Blucher, 2011.

PAPERT, Seymour. **A máquina das crianças**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1994.

PAPERT, Seymour. **Mindstorms: children, computers, and powerful ideas**. New York: Basic Books, Inc., 1980. Disponível em: <http://worrydream.com/refs/Papert%20-%20Mindstorms%201st%20ed.pdf>. Acesso em: 12 mai. 2019.

PIAGET, J. **O nascimento da inteligência na criança**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1991.

RÉ, Pedro. **Fotografar o Céu**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2002.

RESNICK, Mitchel. Give P's a Chance: Projects, Peers, Passion, Play. **Constructionism and Creativity conference, opening keynote**. Vienna, 2014. Disponível em: <http://web.media.mit.edu/~mres/papers.html>. Acesso em: 12 mai. 2019.

RESNICK, Mitchel. The Seeds That Seymour Sowed. **International Journal of Child-Computer Interaction**. 2017a. Disponível em: <http://www.media.mit.edu/~mres/papers/IJCCI-seeds-seymour-sowed.pdf> Acesso em: 12 mai. 2019.

RESNICK, Mitchel. **Lifelong Kindergarten: Cultivating Creativity through Projects, Passion, Peers, and Play**. Cambridge: MIT Press, 2017b.

TIPLER, Paul A. LLEWELLYN, Ralph A. **Física Moderna**. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

YOUNG, Hugh. FREEDMAN, Roger. **Física IV: ótica e física moderna**. 12ª Edição. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2009.

ZILIO, Sérgio Carlos. **Óptica Moderna Fundamentos e Aplicações**. Instituto de Física de São Carlos. Universidade de São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.fotonica.ifsc.usp.br/ebook/book1/Optica-Moderna.pdf> Acesso em: 12 mai 2019.

ANEXO A – MANUAL DO PRODUTO EDUCACIONAL

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

HELIOMÁRZIO RODRIGUES MOREIRA

**PRODUTO EDUCACIONAL: MINICURSO DE INTRODUÇÃO À ASTRONOMIA
INSTRUMENTAL COM KIT PARA SMARTPHONE E TELESCÓPIO**

FORTALEZA

2019

HELIOMÁRZIO RODRIGUES MOREIRA

**PROPOSTA DIDÁTICA: MANUAL DE SUGESTÕES PARA UM MINICURSO DE
INTRODUÇÃO À ASTRONOMIA INSTRUMENTAL COM KIT PARA
SMARTPHONE E TELESCÓPIO**

Produto Educacional apresentado ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Brito de Freitas.

FORTALEZA

2019

SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO	3
2	DESCRIÇÃO DO KIT	4
3	MATERIAL NECESSÁRIO	5
4	UMA SUGESTÃO PARA AS MONTAGENS	7
4.1	O suporte para smartphone	7
4.1.1	Encaixe da ocular	7
4.1.2	Apoio do smartphone	8
4.1.3	Juntando o apoio do smartphone ao encaixe da ocular	9
4.1.4	A colocação dos elásticos	9
4.2	A montagem do espectroscópio	10
4.2.1	Outro encaixe da ocular	10
4.2.2	Disco com fenda	10
4.2.3	O cano de PVC de 25 mm	11
4.2.4	A outra extremidade do espectroscópio	11
4.2.5	A rede de difração	12
4.2.6	Os ajustes do espectroscópio	12
5	O GRANDE AUXÍLIO DO TELESCÓPIO	14
6	O RECONHECIMENTO DO CÉU	16
7	ALGO PODE DAR ERRADO? ÓTIMO!	17
8	ALGUMAS DICAS	18
9	UMA ULTIMA CONVERSA	20
	APÊNDICE A – Atividade I: Imagem da Lua pelo smartphone	22
	APÊNDICE B – Atividade II: Captura de imagens de estrelas	24
	APÊNDICE C – Atividade III: o poder separador do telescópio	25
	APÊNDICE D – Atividade III: o tamanho da imagem da Lua no telescópio	27
	APÊNDICE E – Atividade IV: o espectro luminoso da Lua	29
	APÊNDICE F – Atividade V: o espectro luminoso das estrelas	30
	APÊNDICE G – Exemplo resolvido 1	32
	APÊNDICE H – Exemplo resolvido 2	33
	APÊNDICE I – 5. TABELAS DE ATIVIDADES	34
	APÊNDICE J – O PAQUÍMETRO, UMA ÓTIMA AJUDA	39
	APÊNDICE K – DICAS DE PESQUISA	41

1 APRESENTAÇÃO

Uma rara noite estrelada e límpida convida à contemplação do céu e já levou muitas pessoas a buscarem explicações sobre o brilho e a natureza das estrelas. O aparecimento de um arco-íris também é fonte de admiração e muitos registram imagens para as suas redes sociais. Comentários nas redes sociais e *likes* mostram uma nova maneira do ser humano contemplar os fenômenos que o envolvem.

Em demonstrações com telescópios, quantos já experimentaram tentar fazer alguma imagem do objeto no campo da ocular com seus *smartphones*? Muitas vezes não obtendo o resultado desejado. A curiosidade sobre o céu parece ser um quesito encantador que atrai muitos caso haja a oportunidade de um evento público ou demonstração de Astronomia em uma escola.

Não é apenas a curiosidade que se torna comum aos momentos exemplificados acima. Um arco-íris e as estrelas têm muito em comum quando está em pauta a Astronomia. E os mediadores dessa “estranha” associação podem ser uma rede de difração (ou um prisma) e o sensor da câmera de um *smartphone*.

Associar a Astronomia a ferramentas de trabalho acessíveis ao estudante em um minicurso no qual possam aprender fazendo é o cerne da proposta que norteará este manual. A participação de grupos de trabalho na criação, montagem e o uso de um pequeno *kit* educacional para o registro de imagens astronômicas e espectros luminosos com a câmera de um *smartphone* terão como tema motivador a Astronomia. As atividades propostas superam os limites da sala de aula.

2 DESCRIÇÃO DO KIT

Durante as observações astronômicas da Lua com telescópio existe a possibilidade de se registrar as imagens com maior estabilidade. Basta por o suporte com o smartphone preso à ocular do telescópio. Então, fazem-se os ajustes necessários e registra-se a imagem do nosso satélite natural.

O espectroscópio poderá ser acoplado ao telescópio que nem o suporte. Preso à ocular pode-se ver a imagem da estrela pela tela do aparelho, fazer os devidos ajustes e registrar o espectro estelar.

A construção do kit segue alguns passos em três fases: montagem, ajustes e ação. Primeiro será montado o suporte para o smartphone que é mais simples, ajudando a desenvolver as habilidades manuais.

3 MATERIAL NECESSÁRIO

O material que é apresentado aqui é uma sugestão com base no que foi testado nas aplicações do produto. O importante é que se adapte à realidade da Escola, tendo em mente a facilidade de se encontrar e o baixo custo. As tabelas abaixo sugerem quantidades para quatro equipes de quatro participantes cada.

Tabela 1 – Ferramentas e material de colagem (Bancada do professor):

Material	Quantidade
Cola branca	01
Pistola de cola quente	01
ferro de solda	01
fita adesiva	01
tesoura sem ponta	04
estilete	01
serra de arco	01
chave de fenda	01
alicate	01
tinta acrílica preta	01
Pincel	01
Lixa (folha)	04

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 2 – Instrumentos de medida (um por equipe):

Material	Quantidade
Régua	04
Transferidor	04
Paquímetro	04
Esquadro	04

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 3 – *Kit* de montagem (um por equipe):

Material	Quantidade
Bucha PVC com redução de 40 x 25	03
Bucha PVC de 50 x 40	01
Cano PVC 25 mm, com 10 cm de comprimento	01
Papelão (01
Papel duplex preto (folha)	01
<i>Compact Disc</i> (CD) velho	01
Parafusos (ver Figura 3)	03
Pedaço de capa de apostila da cor preta (que se consegue com encadernadores)	01
Pedaços de lâminas de estiletes ou de lâminas de barbear	02
Elásticos amarelos (ou elásticos prendedores de cabelo)	02
feltro preto (10 cm x 10 cm)	01

Fonte: elaborado pelo autor.

4. UMA SUGESTÃO PARA AS MONTAGENS

A orientação para as montagens do *kit* para Astronomia com *smartphone* inicia a partir do mais simples, que é o suporte para *smartphone*. Isso ajudará no desenvolvimento das habilidades manuais e as imprecisões na construção podem ser minimizadas.

Depois vem a montagem do espectroscópio, que exigirá conhecimentos obtidos na construção do suporte e um maior aprofundamento na pesquisa sobre seu uso, aumentando o grau de dificuldade. Novos desafios podem ser criados pelos participantes em comum acordo com o professor. A criatividade não tem limites.

4.1 O suporte para *smartphone*

Aqui se iniciam as montagens. São materiais simples e o preparo não é tão crítico. Contudo, deve-se ter atenção com o uso do ferro de soldar e a pistola de cola quente. O professor deve estar atento para que o estudante que for usar um desses aparelhos não os deixe ligados após o uso ou se machuque por imperícia. Usar a serra e o estilete também requer especial atenção. A segurança deve estar em primeiro lugar.

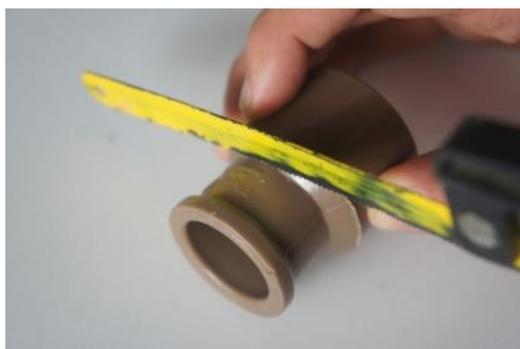
4.1.1 Encaixe da ocular

Figura 1 – A bucha PVC com redução



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 2 – Serrar e retirar a parte menor.



Fonte: elaborado pelo autor.

Serrar a base da bucha PVC com redução de 40 x 25. Retirar a parte menor (FIGURAS 1 e 2). Devem ser feitas três marcas na parte maior da bucha, correspondentes aos furos dos três parafusos. Esses três furos devem estar a 120 graus um do outro. A função desses parafusos é fixar o suporte na ocular do telescópio.

Depois, com o ferro de solda, furar a bucha e atarraxar os parafusos imediatamente,

para fazer rosca no plástico da bucha (FIGURA 3). Tira-se o excesso de plástico com um estilete cuidadosamente. Faz-se o acabamento com uma lixa.

Figura 3 – A colocação dos parafusos serve para fixar o suporte à ocular do telescópio.



Fonte: elaborado pelo autor.

4.1.2. Apoio do *smartphone*

Figura 4 – Peça de papelão preparado nas medidas do *smartphone*.



Fonte: elaborado pelo autor.

Finda essa etapa, tirar medidas do *smartphone* e a posição de sua câmera. Recortar um pedaço retangular de papelão e dobrá-lo ao meio para que fique mais resistente. O retângulo precisa ter as dimensões do *smartphone*. Passar um pouco de cola entre as partes internas do papelão e por fita crepe nas bordas, para garantir que as partes não se separem. Marcar a posição do centro da câmera do *smartphone*. Ela servirá de base para fazer a marca do encaixe

da bucha PVC que está com os parafusos (FIGURA 4).

4.1.3. Juntando o apoio do smartphone ao encaixe da ocular

Para encaixar a parte serrada da bucha no recorte redondo do papelão, primeiramente fazer coincidir a marca da câmera exatamente no centro da bucha e marcar uma circunferência externamente a ela. Em seguida, cortar essa parte e encaixar a parte serrada da bucha. Fixa-se as duas partes com um pouco de cola quente. No acabamento, deve-se deixar a pintura para a fase final.

4.1.4. A colocação dos elásticos

O smartphone fica preso ao suporte com elásticos, uma das sugestões é o elástico de cabelo ou o elástico amarelo. Os parafusos seguram o suporte com o smartphone na ocular do telescópio (sugere-se colocar um papelão ao redor da parte da ocular onde os parafusos encostarão. E ter o cuidado de não apertar demasiado para não danificar essa peça óptica muito sensível). O sistema pronto ficará como na (FIGURA 5).

Figura 5 – O smartphone fica preso ao suporte com por meio de elásticos.



Fonte: elaborado pelo autor.

4.2 A montagem do espectroscópio

4.2.1. Outro encaixe da ocular

Prepara-se outra bucha PVC com redução de 40 x 25 com os furos dos parafusos a 120°, mas dessa vez sem serrar. Ela precisa ficar inteira para encaixar o cano PVC de 25 mm de diâmetro por 10 cm de comprimento. Esse encaixe de ocular deve ser pintado de preto somente em sua parte interna de maior diâmetro.

4.2.2. Disco com fenda

Cortar um pedaço de plástico preto da capa de apostila no formato de um círculo que caiba na extremidade do cano PVC de 25 mm. Com cuidado, abrir uma fenda de aproximadamente 5 mm no centro desse pequeno disco. Colar o pedaço de uma das lâminas de estilete. Deixar secar.

Figura 6 – Disco com fenda e lâminas de estilete já pintado.



Fonte: elaborado pelo autor.

Depois, colar a outra lâmina, deixando-a quase encostada à primeira. Usar o fio de uma lâmina de barbear entre as duas para que o afastamento seja o mais fino possível. Olhar contra a luz e ver se a fenda forma franjas de difração. As lâminas coladas no disco serão pintadas de preto (FIGURA 6). Quando secar, deve ser colado na parte interna de menor diâmetro do encaixe da ocular, conforme a (FIGURA 7).

Figura 7 – Encaixe da ocular com o posicionamento correto do disco da fenda.



Fonte: elaborado pelo autor.

4.2.3 O cano de PVC de 25 mm

O interior do tubo de PVC deve ser revestido com feltro preto. Seu comprimento dependerá da menor distância entre a câmera do smartphone e a fenda para dar uma imagem nítida (geralmente 10 centímetros será o suficiente).

4.2.4 A outra extremidade do espectroscópio

A terceira e última bucha PVC com redução de 40 x 25 terá sua parte interna de maior diâmetro pintada de preto. Essa bucha será a extremidade que servirá de suporte para a rede de difração e apoio do smartphone. O cano de 25 mm precisa ser encaixado. A parte de maior diâmetro, por sua vez, será encaixada na bucha PVC de 50 x 40. E essa última será colada a um papelão que será o suporte do smartphone cujo preparo é semelhante ao descrito anteriormente na seção 3.1.2.

4.2.5 A rede de difração

Corte um disco com um pedaço do CD que tenha o diâmetro da parte externa maior da bucha PVC com redução de 40 x 25. A superfície refletora do disco pode ser removida com uma fita crepe conforme a (FIGURA 8) mostra. Esse disco de um pedaço do CD será nossa rede de difração.

Figura 8 – Retirando a película refletora do CD com uma fita crepe.



Fonte: elaborado pelo autor.

4.2.6 Os ajustes do espectroscópio

Figura 9 – As partes do espectroscópio.



Fonte: elaborado pelo autor.

O encaixe de cada peça precisa conter o disco com a fenda na extremidade que ficará na ocular e a rede de difração na outra, onde será ajustado o smartphone. As peças colocadas em sequencia devem ficar conforme a (FIGURA 9).

Para saber a posição da rede de difração deve-se olhar para uma fonte de luz (uma lâmpada acesa) para ver a posição correta da franja colorida. Pode-se fazer uma marca na borda para depois ajustar com a fenda (FIGURA 10). No espectroscópio, o ajuste é feito girando o cano até a fenda ficar perpendicular à franja colorida produzida no interior do espectroscópio.

Figura 10 – O pedaço de CD preparado para ser a rede de difração.



Fonte: elaborado pelo autor.

Na extremidade que contém a rede de difração (CD) deve ser encaixado o apoio do *smartphone*. Dois elásticos servirão para prendê-lo ao espectroscópio.

Feito o acabamento e ajustes o espectroscópio estará pronto para acoplar à ocular de um telescópio e iniciar os trabalhos (FIGURA 11).

Figura 11 – O espectroscópio montado no telescópio por um dos grupos.



Fonte: elaborado pelo autor.

5 O GRANDE AUXÍLIO DO TELESCÓPIO

Na obtenção de imagens de estrelas é necessário que haja um telescópio e que ele fique firme ao apontar para uma estrela de grande brilho. Algumas escolas possuem telescópios refletores ou mesmo pequenos refratores ou lunetas, como o Galileoscópio, distribuído pela organização da Olimpíada Brasileira de Astronomia (OBA) em algum Encontro Regional de Ensino de Astronomia (EREA) e doações, que podem servir se a base for bem fixada e não trema ou saia da posição quando for fixar o espectroscópio. O prévio contato do educador com o instrumento óptico será imprescindível para que seja feito o apontamento correto para o astro desejado.

É importante que o usuário do telescópio saiba apontar para o astro em questão. Geralmente o suporte da luneta tem dois movimentos: um para os lados, que chamaremos de movimento azimutal (em azimute) e outro para cima e para baixo, que será o movimento em altura. Deve-se treinar apontando para objetos distantes, como pontas de para-raios, lâmpadas de postes ou de edifícios bem distantes. Cuidado para que o alvo não fique perto de outros que possam confundir a identificação.

Pela extremidade mais próxima do observador, olha-se por cima do telescópio e, com o alvo em vista, gira-se o tubo para os lados até que o mesmo fique alinhado com a extremidade dianteira do aparelho óptico. Trava-se o parafuso de azimute. Depois se põe o mesmo objeto em mira, dessa vez com o olho ficando ainda na extremidade mais próxima do observador, mas mirando pelo lado do tubo. Movimenta-se o telescópio para cima ou para baixo até que o objeto coincida com a outra extremidade. Deve-se, ao final, travar o parafuso de altura.

Algumas dessas montagens de telescópios possuem manoplas de ajuste fino para azimute e altura. Pode-se fazer um novo procedimento usando esses ajustes finos para que o alvo fique no campo de visão quando for olhar pela ocular.

Olhando pela ocular, caso o apontamento inicial tenha sido rigoroso, já se pode ver a imagem do objeto, provavelmente ainda borrada, ou seja, fora de foco. Para dar mais nitidez à imagem observada, deve-se girar o botão do focalizador para frente ou para trás até que a imagem fique menor e mais nítida no campo de visão do telescópio.

O procedimento descrito acima também é usado para regular uma pequena luneta que fica ao lado do tubo do telescópio, a buscadora. Caso o telescópio a tenha, principia-se o ajuste com o tubo óptico do telescópio conforme o procedimento descrito acima. Depois,

olhando através da ocular da buscadora, regula dois dos três parafusos do seu suporte e aponta-se com ela para o objeto, até que o objeto fique no centro de um retículo (um pequeno +) no centro do campo da buscadora.

Familiarizado com o telescópio ou luneta que irá trabalhar, é hora de conhecer um pouco do céu para que consiga localizar e nomear as estrelas de menor magnitude que serão usadas para as capturas dos espectros luminosos.

6 O RECONHECIMENTO DO CÉU

Uma atividade que envolve a Astronomia precisa do reconhecimento prévio do céu a olho nu. Partindo do básico, como é a diferença básica do que é uma estrela ou um planeta à vista desarmada (ou diferenciar de um farol de avião, lâmpada de edifício, de poste, etc.). Estrela cintila (pisca) e planeta, não.

Pode-se ir a uma parte da escola sem muita interferência iluminação para melhor visualização do céu ou, pelo menos, em um lugar não tão cheio de luzes que deixarão ofuscado quem desejar ver o céu. Geralmente no meio de uma quadra de futsal descoberta ou campo de futebol se consegue observar o céu e montar o telescópio para os trabalhos.

Na atividade noturna, dependendo da cultura astronômica do professor, pode-se fazer uma pequena explanação sobre as constelações, as estrelas principais que estão visíveis acima do horizonte de observação, combinar que o zênite será o ponto mais alto sobre a cabeça do observador, a localização dos pontos cardeais, conhecer o movimento aparente dos astros comparando suas posições no início e no final da atividade em relação a referenciais terrestres, a Lua, caso esteja fácil de visualizar, dentre outras curiosidades que certamente deixarão os participantes muito interessados.

Uma ajuda com o próprio smartphone é a instalação de aplicativos de Astronomia que ajudam na localização e identificação das constelações, estrelas, planetas e bem mais, socorrendo o professor e os demais participantes para dissipar as dúvidas sobre esse ou aquele astro que está no céu. Uma lista de *Apps* gratuitos que pode ajudar: *Google Sky Map*, *KStars Lite*, *SkySafari*, *SkEye*, *Heavens Above*, *Star Walk*, etc., muitos deles usando a realidade aumentada (AR), colocando o observador no centro de uma esfera celeste.

Basicamente o funcionamento é parecido: deixar a localização do GPS ativada, configurar (é lógico que precisa explorar um pouco para saber o que tem e como funcionam, mesmo sendo bem intuitivos – certamente os jovens dominarão o aplicativo rapidamente e estarão dispostos a ajudar), apontar para o céu e identificar o astro ou constelação de acordo com o lugar do observador.

7. ALGO PODE DAR ERRADO? ÓTIMO!

As atividades propostas nos quatro encontros desse minicurso são experimentais. O professor deve estimular ao máximo os participantes e certamente ocorrerão imprevistos nas montagens e mesmo resultados inesperados nas obtenções das imagens, mas isso faz parte do processo. O estudante é estimulado a resolver os desafios e superá-los.

O aperfeiçoamento faz parte do projeto de construção e uso dos aparatos. Os estudantes precisam sugerir melhoras e anotar o que deu certo e o que deu errado, trocar ideias com os colegas e pesquisar novas formas de melhorar seus projetos. O *kit* proposto é o ponto de partida para um projeto de aperfeiçoamento constante. Um modelo cuja estrutura de trabalho pode ser usada em diversos outros projetos de ciências.

A pergunta de quem não tem o convívio com o experimental e está acostumado com as respostas prontas é: “e se der errado?” Mas o professor precisa ter em seu plano de aula as variáveis que surgem em uma aula experimental. Não deve esquecer que os problemas de Física são idealizações com raios de luz, iluminação ideal, absorvedores e refletores perfeitos, etc.

Os imprevistos e as variáveis que aparecem em um experimento são o estímulo ao desafio e à busca de aperfeiçoamento do aparato. Muito diferente das respostas prontas de uma aula teórica, esse é um elemento importante em uma aula prática, onde o professor estimula a discussão e a busca de soluções eficazes.

No preparo de seu plano de aula, por mais anos de experiência com o assunto, o professor deve montar e testar o seu aparelho previamente. Ele servirá de modelo, o que facilita o processo de aprendizagem pela imitação (Piaget). E em caso de algum imprevisto, a turma e o professor podem escolher o que fazer com o aparelho em alguma etapa do trabalho.

O tempo de apresentação da proposta pelo professor deve ser o mais curto possível para que haja a troca de ideias sem contratempos.

É necessário que todos os membros da equipe possam realizar a observação dos resultados, de modo que não restem dúvidas do que se está buscando, comparando-os com os dos demais colegas. Assim estará garantida a observação do fenômeno.

8 ALGUMAS DICAS

Uma boa dica na construção do espectroscópio é que a ranhura e a lente da câmera do smartphone estejam a uma distância boa o suficiente para que ela seja bem focalizada pelo aparelho quando a rede de difração não estiver no lugar. O ideal é que se coloque a câmera na posição PRO e se faça o foco manualmente. E se veja o ponto exato de focalização para uma imagem nítida da ranhura.

Há casos de smartphones com foco automático que podem não dar o foco e a nitidez esperada na primeira vez. Uma saída já testada é verificar a distância entre a fenda e o ponto de foco da lente do smartphone e dar uma maior distância.

Pode-se ainda verificar a focalização aproximando e afastando a câmera de algum objeto bem iluminado e assim medir a distância entre o objeto e a lente, quando a imagem estiver nítida no display do smartphone (geralmente, uns 9 centímetros são o suficiente). E comparar essa distância com as medidas esperadas do seu espectroscópio. Caso o smartphone tenha uma memória que suporte a instalação de algum aplicativo, pode-se procurar no *PlayStore* ou *App Store* algum aplicativo de câmera com foco manual (pode-se ver a compatibilidade no momento da instalação).

O professor deve estar atento também para o caso de mau uso dos aparelhos, o que pode ser evitado se as regras da atividade forem combinadas com todos, deixando bem claro o que se pode ou não fazer na sala. E a própria turma regulará isso caso algum colega atrapalhe o que é do interesse de todos. A segurança e o bem estar de todos os que estão na sala deve estar em primeiro lugar, portanto, deve-se deixar bem claro no procedimento. Esse é um procedimento atitudinal que deve ser exercitado.

A organização deve ser combinada também. É um procedimento atitudinal para que todos saibam deixar sua sala limpa e organizada ao final de cada atividade, em sinal de respeito aos que usarão aquele espaço depois. Não podemos esquecer de que cidadãos estão sendo formados ali.

Se a escola não tem telescópio pode ser feita uma atividade extra de montagem de uma luneta.

E um plano de aula precisa de momentos alternativos como, por exemplo, caso o céu esteja nublado e não dê para ver alguma estrela ao telescópio. Há a possibilidade (prevista no plano) de se marcar outra data ou mesmo apontar o telescópio para lâmpadas distantes para fotografá-las e a seus espectros de luz. Há lâmpadas de vapor de mercúrio que mostrarão raias

características desse elemento químico. Outra opção é fazer algum dos experimentos das sugestões que estão no final desse trabalho.

Se o céu ficar nublado adapta-se a aula e se pode apontar o telescópio para lâmpadas distantes aumentando o desafio de fotografar as lâmpadas e fazer registros de seus espectros. Caso haja lâmpada de vapor de mercúrio por perto, dá para fazer a tentativa de se registrar as raias do mercúrio e comparar com os espectros de outras fontes de luz como *leds*, etc.

9. UMA ULTIMA CONVERSA

Os desafios ficam maiores a cada encontro. No primeiro, construiu-se um suporte simples para acoplar o *smartphone* no telescópio e conseguir imagens mais estáveis e de maior qualidade.

Dos quatro encontros planejados, os desafios ocorrem em escalas crescentes de dificuldades: O primeiro desafio pede a obtenção de uma imagem da Lua pelo *smartphone*. O segundo, para as habilidades manuais, constrói um suporte simples para dar mais estabilidade ao *smartphone* quando acoplado à ocular do telescópio. O terceiro envolve experimentos com difração e interferência e o quarto é mais difícil com a montagem do espectroscópio, sua colimação e o registro das imagens dos espectros das estrelas.

Fica a sugestão de se estender o cerne desse manual para iniciar um trabalho prazeroso, tanto para o professor, quanto para os estudantes, que dá a oportunidade de trazer a iniciação científica para a Escola Básica, ajudando a desenvolver habilidades e competências, aproximando Ciência e Escola cada vez mais e certamente aumentando o grau de amizade e apreço ao educador.

O manual não esgota as possibilidades de uso do *kit* educacional. A criatividade e a curiosidade em aprender, por parte dos estudantes e professor, norteiam o legado desse manual. A Astronomia, como uma ciência interdisciplinar, aliada a um dos *gadgets* mais usados em todos os tempos, o *smartphone*, darão asas às possibilidades de aplicações e usos em sala de aula, laboratórios e outros ambientes da Escola.

A Física poderá ser explorada em assuntos da óptica geométrica, desde a parte de fundamentos, como os princípios de propagação da luz, permeando a refração, reflexão e difração da luz, temas como lentes, espelhos e instrumentos ópticos. A óptica física, com a natureza da luz, as cores primárias e secundárias, frequências, a decomposição da luz por Newton para conhecer o princípio da espectroscopia óptica desde a dispersão da luz com os prismas, a história da Física também pode ser contemplada ao se vivenciar momentos importantes e biografias de físicos e astrônomos.

A ondulatória também pode ser contemplada ao se interpretar os fenômenos da luz na difração, ao explicar o funcionamento da rede de difração usada no espectroscópio, as interferências construtiva e destrutiva, ou elementos básicos como comprimento de onda, frequência e velocidade da luz.

A introdução à Física Moderna, contemplando o início da espectroscopia óptica, com

as leis de Kirchoff, séries de Balmer, radiação de corpo negro, modelo atômico de Bohr, podem ser ilustradas e exploradas com o espectroscópio. E muito da Astrofísica.

A criatividade do usuário do *kit* permeará também os temas astronômicos, na busca da compreensão do universo, com o estudo das raias do Sol por Fraunhofer, a descoberta do elemento químico Hélio, a composição química das estrelas, ou as origens e avanços da Química.

Aplicativos, usos aprofundados em outras plataformas, como o *arduino* e *raspberry pi*, temas da matemática envolvidos em cada montagem e uso dos aparatos, são possibilidades que os futuros usuários desse manual poderão explorar e dar continuidade a essa busca de se conhecer melhor as ciências e associar esse conhecimento ao contexto do aprendizado escolar.

No final deste manual seguem algumas sugestões do que pode ser utilizado com os aparelhos construídos e os smartphones. Pode-se combinar de por as imagens em um grupo de redes sociais, para facilitar os comentários e discussões. A socialização do conhecimento será melhor gerenciada pelo professor. Outros experimentos podem ser feitos para outras áreas da Física. Isso dependerá dos objetivos e estratégias do educador.

APÊNDICE A – Atividade I: Imagem da Lua pelo smartphone

Muitos acham que a observação da Lua deve ser feita na fase de Lua Cheia. Porém, essa é a fase com o mínimo de pormenores que a Lua pode oferecer, pois o Sol estará a pino nas regiões lunares que ficarão sem ou com pouquíssima sombra. É uma boa época de se tomar imagens das raias brilhantes lunares, resultados de antigos impactos que formaram algumas crateras.

Uma boa fase para quem está iniciando a observação da Lua é o Quarto Crescente, quando as crateras e montanhas lunares apresentam sombra por causa da posição do Sol no horizonte lunar, dando mais contraste para quem olha pelo telescópio, melhor destacando o relevo da superfície de nosso satélite natural.

Material:

- Telescópio e acessórios
- Oculares
- Smartphone
- Suporte para smartphone

Procedimento:

Com o telescópio ajustado, buscadora alinhada, apontar para a Lua pela buscadora. Em seguida, olhar pela ocular de maior distância focal. Fazer o ajuste do foco até a imagem ficar nítida no campo da ocular. Conferir a posição da Lua no centro da buscadora.

- Colocar o smartphone no suporte;
- Conferir se o centro da lente da câmera está coincidindo com o centro do furo do suporte;
- Colocar o suporte na ocular do telescópio e apertar suavemente os parafusos o suficiente para que o aparato fique firme.

A imagem da Lua pode aparecer muito clara e borrada. Para isso, recorre-se à função PRO da câmera e reduz-se o ISO para o menor número (ISO 100). Outros ajustes podem ser necessários no smartphone. Por exemplo: Com o controle de luminosidade reduzir o brilho.

Finalmente, use o *zoom* da câmera do *smartphone*. Amplie um pouco a imagem da Lua, o suficiente para mostrar a superfície lunar sem que o campo arredondado forme vinhetagem

(um disco escuro nas bordas da imagem). Faça a sua foto para as redes sociais. Pratique um pouco mais.

Baixe e instale o aplicativo *Lunar Phase*.

Questionário:

1 – Qual o percentual de iluminação e a idade lunar marcados no aplicativo?

Gabarito: próximo de 50% e 7 dias (Caso seja o Quarto Crescente).

2 – Quais os horários aproximados do nascer e ocaso da Lua?

Gabarito: nascer, 12h; passagem no meridiano local, 18h e ocaso, 0h – Valores aproximados para o Quarto Crescente.

3 – No Brasil, há a tradição de se nomear somente quatro fases lunares. Mas a Lua apresenta fases todos os dias. Olhando a imagem que você capturou com o seu smartphone, essa fase registrada é antes ou depois da Lua Cheia?

Gabarito: Antes da Lua Cheia.

4 – será próxima de qual fase?

Gabarito: Próximo do Quarto Crescente.

5 – A Lua vai nascer no mesmo horário no dia seguinte ao da sua foto?

Gabarito: Não. Ela nasce quase uma hora depois (aproximadamente 50 minutos).

6 – por meio do aplicativo *Lunar Map*, indique os nomes de alguns pormenores do relevo lunar que aparecem em sua foto.

Gabarito: depende da região lunar imageada pela câmera.

7 – Alguns fundamentos da óptica geométrica podem ser identificados no funcionamento de um telescópio. Por exemplo, a estrutura óptica é montada em um tubo opaco. As lentes e o ar onde a luz se propaga são meios transparentes. Para construir a trajetória dos raios de luz recorre-se à propagação retilínea da luz e independência dos raios luminosos em feixes cilíndricos, cônicos convergentes e divergentes.

Por meio de um desenho e com base nos seus conhecimentos de óptica, descreva a trajetória da luz no interior do telescópio. Recorra ao seu livro ou a alguma fonte da Internet.

a) Telescópio refrator:

b) Telescópio refletor:

c) Telescópio
catadióptrico:

(Desenho da trajetória da luz dentro do telescópio)

APÊNDICE B – Atividade II: Captura de imagens de estrelas

Desafio experimental: Nos fundamentos da óptica geométrica, a Lua é uma fonte secundária de luz, pois reflete a luz do Sol, que é uma fonte primária. Mas há outras classificações em fontes puntiformes e extensas. O Sol é uma estrela. Por que as outras estrelas são consideradas fontes puntiformes e não extensas?

Material:

- Telescópio e acessórios
- Oculares
- Smartphone
- Suporte para smartphone

Podemos fotografar essas estrelas com o mesmo procedimento que fizemos com a Lua. O desafio é obter a imagem de uma estrela com o smartphone ao telescópio.

- Identifique a estrela com um dos aplicativos de reconhecimento do céu que você instalou.
- Faça uma lista com os nomes das estrelas que você consegue registrar com o seu smartphone.
- Anote ao lado de cada nome a magnitude e a cor da estrela.
- Observe que o número da magnitude é inversamente proporcional ao brilho por ela apresentado.
- Posicione o smartphone no suporte com a ocular.
- Faça os ajustes finais de localização e focalização.
- Inicie as capturas de imagens.

Sugestões de estrelas (algumas delas poderão estar abaixo do horizonte no horário de observação pois dependerão da época da observação – o aplicativo ajudará nesse aspecto): Albireo e Deneb (Cygnus); Altair e Tarazed (Aquila); Vega e Sheliak (Luyra); Arcturus e Izar (Bootes); Spica e Zavijava (Virgo); Mizar e Dubhe (Ursa Major); Acrux e Gacrux (Crux, o Cruzeiro do Sul); Rigil Kentaurus e Hadar (Centaurus); Antares e Shaula (Scorpius); Regulus e Denebola (Leo); Castor e Pollux (Gemini); Betelgeuse e Rigel (Orion); Sirius e Mirzam (Canis Major); Capella e Menkalinan (Auriga); Aldebaran e Elnath (Tauri); Canopus e Miaplacidus (Carina); Achernar e Cursa (Eridanus).

APÊNDICE C – Atividade III: o poder separador do telescópio

Dados:

$$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$$

$$1 \text{ rad} \times (3600 \times 180)/\pi = 206\,264,806'' (\approx 2,06 \cdot 10^5 \text{ segundos de arco})$$

$$1' = 60''$$

Material:

- Telescópio e acessórios
- Oculares
- Smartphone
- Suporte para smartphone

Procedimento:

1. Localize no tubo do telescópio as indicações de diâmetro e distância focal e anote nos espaços abaixo:

Diâmetro (mm): _____ 150 mm

Distância Focal (mm): _____ 750 mm

Ou razão focal (f/D): _____ f/5

1. Com base nos dados coletados, determine o poder de resolução do telescópio em segundos de arco.

$$\theta = 1,22 \frac{\lambda}{D}$$
$$\theta = 1,22 \frac{2,06 \cdot 10^5 \cdot 550 \cdot 10^{-9} \text{ m}}{150 \cdot 10^{-3} \text{ m}}$$
$$\theta = 0,9 \text{ segundos de arco}$$

2. Por comparação encontre o poder de resolução do olho humano em minutos de arco para uma luz monocromática de 550nm. Suponha que a pupila dilatada no escuro atinja 5 mm de diâmetro.

$$\theta = \frac{\lambda}{D}$$
$$\theta \cong \frac{2,06 \cdot 10^5 \cdot 550 \cdot 10^{-9} \text{ m}}{5 \cdot 10^{-3} \text{ m}}$$
$$\theta \cong 23 \text{ segundos de arco}$$

3. Quais outros métodos são usados para detectar estrelas binárias com telescópios ópticos?

Gabarito: Observacional, por medida direta. Por espectroscopia, por mudanças nas raias espectrais. Por variação de brilho, por eclipses ou trânsitos estelares. Astrometricamente, por medição do desvio da estrela (caso haja uma companheira não observável).

APÊNDICE D – Atividade III: o tamanho da imagem da Lua no telescópio.

Material:

- Telescópio e acessórios
- Oculares
- Smartphone
- Suporte para smartphone

Procedimento:

1. Acesse o aplicativo *Lunar Phase* e anote a distância que a Lua está hoje: _____ km.
2. Sabendo que o raio da Lua é de 1738 km, calcule qual deve ser aproximadamente o diâmetro aparente da Lua em minutos de arco.

Gabarito:

Supondo a distância de 374 923 km.

$\tan \theta = 1738 / 374\,923 \Rightarrow \tan \theta = 4,63 \Rightarrow \theta \text{ (arctan)} = 0,265^\circ \text{ (semidiâmetro)}$

Cálculo do diâmetro: $2 \times 0,265^\circ = 0,531^\circ$

Diâmetro em minutos de arco: $0,531^\circ \times 60 = 31,9'$ (aproximadamente 32 minutos de arco – quase meio grau).

3. Anote o diâmetro e a razão focal do telescópio. Há alguns aparelhos que dão a razão focal ao invés da distância focal.

Diâmetro: ____ mm

Razão focal: ____ mm.

Calcule a distância focal e compare o resultado encontrado com as especificações do telescópio.

Gabarito:

Diâmetro: 70 mm

Razão focal: f/10

Cálculo da distância focal: $f/D = 10 \Rightarrow f = 10 \times D \Rightarrow f = 10 \cdot 70 \square f = 700 \text{ mm}$

Sendo:

Distância focal: f

Diâmetro (abertura): D

4. Com base no diâmetro angular (u) da Lua em radianos e a distância focal (f) do telescópio, é possível saber o tamanho da imagem (s) no plano focal da objetiva.

Determine o tamanho da imagem da Lua no plano focal do telescópio.

Gabarito:

$$u = (31,9' \times \pi) / (180^\circ \times 60') \Rightarrow u = 9,279 \times 10^{-3} \text{ radianos}$$

$$s = f \times u \Rightarrow s \text{ (mm)} = 700 \text{ (mm)} \times 9,279 \times 10^{-3} \text{ (rad)} \square s = 6,49 \text{ mm}$$

APÊNDICE E – Atividade IV: o espectro luminoso da Lua

Material:

- Telescópio e acessórios
- Oculares
- Smartphone
- Espectroscópio com suporte

Procedimento:

1. Confira o ajuste da buscadora com o telescópio. O que for visto na buscadora deve ser visto também no centro do campo da ocular do telescópio.
2. Aponte o telescópio para a Lua. Ajuste o foco para que a imagem da Lua fique nítida.
3. Coloque o espectroscópio no telescópio prendendo na ocular. O espectroscópio deve estar calibrado.
4. Prenda o smartphone no suporte mantendo a objetiva da câmera no centro do furo onde vai ficar a ocular.
5. Coloque o *smartphone* no espectroscópio e confira a imagem na câmera.
6. Caso a imagem da fenda não fique nítida, faça os ajustes necessários tocando na tela do *smartphone* para ajustar o foco. Pode ser necessário reduzir a luminosidade na câmera ajustando o ISO e a abertura ou o tempo de exposição. O espectro deve estar visível na tela da câmera.
7. Faça algumas imagens do espectro lunar.
8. Repita o procedimento para três estrelas de grande brilho.

Questionário:

1. Descreva o que foi possível observar no espectro lunar. Esse espectro é contínuo? Justifique.

Gabarito: Não. Porque aparecem algumas raias escuras de absorção.

2. Apontando o telescópio para outras regiões lunares, o espectro é o mesmo?

Gabarito: Sim, pelo que se pode fotografar com o equipamento.

As duas questões ajudam nas discussões enquanto as equipes tentam fazer as imagens, Nessa atividade há muita demora em obter as imagens dos espectros.

APÊNDICE F – Atividade V: o espectro luminoso das estrelas

Material:

- Telescópio e acessórios
- Oculares
- Smartphone
- Espectroscópio com suporte

Procedimento:

1. Confira o ajuste da buscadora com o telescópio. O que for visto na buscadora deve ser visto também no centro do campo da ocular do telescópio.
2. Aponte o telescópio para uma estrela de grande brilho.
3. Anote os dados dessa estrela (nome, constelação, cor, magnitude).
4. Coloque o espectroscópio no telescópio prendendo na ocular. O espectroscópio deve estar calibrado.
5. Prenda o smartphone no suporte mantendo a objetiva da câmera no centro do furo onde vai ficar a ocular.
6. Coloque o *smartphone* no espectroscópio e confira a imagem na câmera.
7. Ajuste a luminosidade, o ISO e a abertura ou o tempo de exposição. O espectro deve estar visível na tela da câmera.
8. Repita o procedimento para três estrelas de grande brilho.

Questionário:

1. Aparecem algumas raias escuras no espectro de algumas estrelas. Que tipo de espectro é esse? De emissão ou Absorção? Justifique.

Gabarito: Sim. Absorção. De acordo com a lei de Kirchoff:

1) Uma fonte emissora (corpo opaco) quente, emite um **espectro contínuo** quando não há espaçamento perceptível entre as cores.

2) Uma fonte emissora (gás transparente) produz um **espectro de emissão**, que se caracteriza pelas linhas brilhantes em destaque.

3) Ao passar um espectro contínuo por um gás que está a baixa temperatura, há a produção de linhas escuras, o que caracteriza um **espectro de absorção**.

2. Caso sejam registradas algumas raias escuras no espectro, como pode ser o procedimento de identificação de algum elemento químico da estrela?

Gabarito: Se faz por comparação com o espectro produzido em laboratório. Cada elemento químico tem um espectro característico.

3. Além da identificação dos elementos químicos em uma estrela, quais outras características podem ser identificadas em uma estrela com a espectroscopia óptica?

Gabarito: Classes espectrais, diagrama Hertzsprung-Russel, Estudos do efeito Doppler, velocidades radiais, estrelas binárias espectroscópicas, etc.

APÊNDICE G – Exemplo resolvido 1

Para um telescópio com um diâmetro de 150 mm e a distância média da Lua aceita como sendo de 384 400 km, qual deve ser o menor diâmetro (x) que pode ser resolvida uma cratera lunar para o comprimento de onda de 550 nm? Dá para visualizar uma bandeira de 1 metro na superfície da Lua?

$$\frac{x}{384400 \times 10^3} = \frac{1,22.550 \times 10^{-9}}{150 \times 10^{-3}}$$
$$x = 1,7 \text{ km}$$

Uma maneira de se resolver o caso de se visualizar a bandeira na Lua: Se a Lua tem 3476 km de diâmetro, o que corresponde a aproximadamente meio grau ($30'$), ela ocupa 1800 segundos de arco ($1800''$) do céu. Cada segundo de arco corresponde a $3476/1800''$, ou seja, 1,93 quilômetros, que é muito maior que a bandeira.

Por curiosidade, o diâmetro que deveria ter o telescópio para resolver uma bandeira de 1 metro na superfície da Lua é de 257,9 metros. O maior telescópio do mundo, o *European Extremely Large Telescope* (E-ELT), ainda em construção no Chile, terá um espelho primário de 39 metros.

APÊNDICE H – Exemplo resolvido 2

Para um telescópio de 150 milímetros de diâmetro e razão focal $f/5$, encontre a distância focal pela expressão:

$$\text{Razão focal} = \frac{f}{D}$$

$$5 = \frac{f}{150}$$

$$f = 150 \text{ mm}$$

Transformando o diâmetro da Lua de meio grau ($30'$) para radianos, usando $\theta = \frac{30' \cdot \pi}{180 \cdot 60'}$, obtém-se $\theta = 8,73 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$.

Utilizando a expressão $s = f\theta$, encontra-se que a imagem da Lua tem aproximadamente 6,54 milímetros no plano focal do telescópio.

APÊNDICE I – TABELAS COM SUGESTÕES ATIVIDADES

Conforme o gerenciamento do tempo pode-se fazer algumas das atividades sugeridas. Mas o professor e os participantes ficam livres para novas possibilidades que surgirem durante os encontros. O foco é a autonomia e a criatividade.

Tabela 1 – Semana 1

Semana	Aula N°	Duração	Atividade	Observações
1	1	50 minutos	<ul style="list-style-type: none"> • Observação da Lua ao telescópio. • Observação do céu a olho nu. • Desafio: a fotografar a Lua. 	<p>Iniciar a aula orientando como manusear o telescópio e estimular o estudante a apontar para a Lua. Mostrar a imagem da Lua e desafiar a cada um fazer com seu smartphone.</p> <p>O professor deve sempre controlar o tempo de atividades.</p>
	2	50 minutos	<ul style="list-style-type: none"> • Localização dos principais astros com aplicativos do smartphone. • Convidar para a aula seguinte. • Compartilhar as imagens obtidas com o grupo. 	<p>Mostrar os aplicativos de localização dos astros e perguntar os nomes de estrelas e planetas que podem estar sobre o horizonte. Observar como está o conhecimento prévio do grupo.</p> <p>Pedir para anotar o nome, a constelação e a magnitude das principais estrelas.</p>

Fonte: elaborada pelo autor.

Tabela 2 – Semana 2

Semana	Aula N°	Duração	Atividade	Observações
2	3	50 minutos	<ul style="list-style-type: none"> Montagem do adaptador (Caso todos terminem logo, passar para o momento 4). 	<p>Nesse dia apenas acompanhar a montagem e o uso do suporte para smartphone, bem como o preparo e o manuseio telescópio pelos participantes.</p>
	4	50 minutos	<ul style="list-style-type: none"> Fazer as imagens da Lua (que deve estar mais brilhante, próxima da Lua Cheia). Tentar capturar imagens de outros astros. Dar continuidade ao conhecimento do céu e aproveitar o momento para trazer algumas curiosidades pertinentes ao momento. Convite para o próximo encontro. 	<p>Separar em equipes de até quatro pessoas. Conhecer as funções de cada um. Acompanhar a colocação no telescópio. Captura de imagens, iniciar pela Lua. Usar aplicativos para mostrar as posições dos astros. Comparar com as datas anteriores. O aplicativo <i>Moon Atlas 3D</i> ajuda no reconhecimento de crateras e outros detalhes da superfície lunar. Compartilhamento das imagens obtidas.</p>

Fonte: elaborada pelo autor.

Tabela 3 – Semana 3

Semana	Aula N°	Duração	Atividade	Observações
3	5	50 minutos	<ul style="list-style-type: none"> • Mostrar um breve painel da história da espectroscopia óptica. • Desafios com experimentos (exemplos: experimento de Young, visualização e captura de imagens pelo smartphone dos espectros de diversas fontes de luz). • Uso de um CD como rede de difração. 	<p>Mostrar um prisma e uma rede de difração (CD) e questionar as diferenças na formação dos espectros luminosos.</p> <p>Conceitos de absorção, reflexão, refração e difração da luz.</p> <p>Dependendo do gerenciamento de tempo, podem-se fazer experimentos com um laser, mostrando os máximos de intensidade (m), um teste da chama com sal de cozinha (que também podem entrar em outros momentos das atividades).</p>
	6	50 minutos	<ul style="list-style-type: none"> • Fazer uma prévia do uso do espectroscópio. • Início da montagem do espectroscópio. 	<p>Mostrar o espectroscópio, indagar sobre o seu uso com o telescópio.</p> <p>O painel ajudará a conhecer suas aplicações.</p>

Fonte: elaborada pelo autor.

Tabela 4 – Semana 4

Semana	Aula N°	Duração	Atividade	Observações
3	5	50 minutos	<ul style="list-style-type: none"> • Finalização da montagem do espectroscópio. • Calibração e testes. 	<p>Indagar sobre o uso do espectroscópio com o telescópio.</p> <p>Identificar os astros a olho nu e com aplicativos, comparando com as memórias sobre as aulas anteriores. Isso ajuda a compreender os movimentos aparentes dos astros, conhecer as principais estrelas de uma constelação e conceitos astronômicos.</p>
	6	50 minutos	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptar o espectroscópio ao telescópio e tentar fazer imagens de estrelas brilhantes, identificando seus nomes, magnitudes, cores e constelações. • Compartilhamento das imagens obtidas com todo o grupo. 	<p>O questionamento às equipes sobre um conceito ou uso adequado do espectroscópio pode ser um direcionamento das atividades.</p> <p>As leis de Kirchhoff para a espectroscopia, a composição química das estrelas e outros temas podem ser explorados.</p>

Fonte: elaborada pelo autor.

Tabela 5 – Semana 5

Semana	Aula N°	Duração	Atividade	Observações
4	7	50 minutos	<ul style="list-style-type: none"> • Memória das aulas anteriores e dos painéis por parte das equipes. • Organizar as imagens, anexar interpretações e resultados com embasamento científico. • Apresentar os resultados para os demais participantes. 	<p>A reunião para a interpretação dos dados de cada imagem obtida gera um momento muito bom de discussão.</p> <p>Essa interpretação dos dados deve ser confrontada com informações de sites ou livros científicos.</p> <p>A apresentação, assim como em todos os momentos, deve ter o tempo controlado para não prejudicar a apresentação de outra equipe.</p>
	8	50 minutos	<ul style="list-style-type: none"> • Finalização das apresentações. • Publicação dos painéis e imagens. • Avaliação e encerramento. • Convite para o Clube de Astronomia. • Estender a toda a comunidade escolar. 	<p>Os participantes comentam seus momentos de dificuldades e os aperfeiçoamentos.</p> <p>Todos devem falar sobre o minicurso, oferecerem sugestões de continuidade e melhorias.</p>

Fonte: elaborada pelo autor.

APÊNDICE J – O PAQUÍMETRO, UMA ÓTIMA AJUDA

Dependendo da adaptação das atividades, pode-se usar um paquímetro (FIGURA 12), o que é um bom exercício mas é necessário estar acostumado a medir com ele.

Figura 12 – O paquímetro, uma ajuda para aprender a medir.



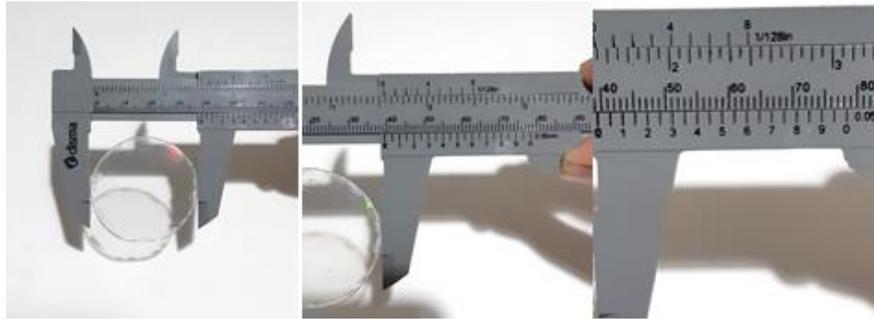
Fonte: elaborado pelo autor.

O uso do paquímetro ajuda bastante na revisão de sistemas e unidades de medidas de comprimento, Algarismos significativos e erros em medidas. O professor pode acompanhar todos os momentos e fazer algumas observações ou questionamentos, mas sem interferir diretamente nos porquês.

Orienta-se a pesquisar na *Internet* e a baixar algum aplicativo para treinar o uso do paquímetro, como o *Vernier Caliper*, equivalente ao usado nas ilustrações. Apesar disso, o professor deve estar atento a tudo como um maestro a conduzir toda a harmonia até a montagem e uso do espectroscópio.

Porém, algumas vezes pode haver dúvidas na leitura de medidas com paquímetros, o que é interessante revisar brevemente:

Figuras 13, 14 e 15 – A medida com o paquímetro. O uso do nônio.



Fonte: elaborado pelo autor.

No modelo utilizado na figura vamos nos ater à escala fixa da parte de baixo com as medidas em milímetros (a parte superior está em polegadas). A parte móvel tem outra escala conhecida por nônio (ou vernier) para realizar e comparar medidas (FIGURAS 13, 14 e 15).

Nele vem determinada a precisão que, nesse caso, é: 0,05 milímetros (cinco centésimos de milímetros ou duas casas de precisão após a vírgula).

Usando uma das medidas dos experimentos, vemos que o zero do nônio marcará os primeiros algarismos da medida que serão lidos na régua fixa. Nesse caso, a medida ficou entre os traços de 39 e 40 milímetros. Então, antes da vírgula já se sabe que será: 39 mm.

Agora, na régua móvel do nônio, procura-se o traço que coincide exatamente com algum traço da régua fixa. Na medida, 0,35 mm. Como a precisão é de 0,05 mm, podemos escrever a medida o exemplo como: 39,35 mm \pm 0,05 mm.

Outras partes do paquímetro podem servir para fazer medidas internas ou de profundidade conforme a necessidade.

APÊNDICE K – DICAS DE PESQUISA

Seguem alguns links para auxiliar em pesquisas para painéis de apresentações ou mesmo em experimentos auxiliares:

- Experimentos de Difração:
(http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec/11113/pdfs/guia_professor_experimento_difracao_v2.pdf. Acesso em: 12 mai. 2019)
- Espectroscopia: (<http://astro.if.ufrgs.br/rad/espec/espec.htm>)
- O Experimento de Ritter:
(http://www.if.ufrgs.br/~riffel/notas_aula/ensino_astro/roteiros/Roteiro_Experimento_Ritter.htm)
- Experiências em Física Moderna: (<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/exper-fis-mod.pdf>)

O levantamento do tema na Internet leva a alguns portais e *blogs* que dão um bom referencial de quanto a cultura *Maker* já está difundido entre os brasileiros. Destacam-se alguns sites especializados, tais como os portais e blogs:

- Fazedores (<https://blog.fazedores.com/cultura-maker-na-educacao>. Último acesso em: 06/06/2019)
- Filipeflop (<https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-movimento-maker-e-como-criar-a-cultura-maker/>, ultimo acesso em junho de 2019).
- Mundo Maker (<https://www.mundomaker.cc/blog/>)
- Escola Educação (<https://escolaeducacao.com.br/o-que-e-a-cultura-maker/>. Último acesso em: 12/06/2019).
- Canal Futura (<http://www.futura.org.br/cursos-online/o-que-e-a-cultura-maker-e-o-que-ela-tem-a-ver-com-a-educacao>. Último acesso em: 06/06/2019)

É recomendado o acesso aos trabalhos do professor Mitchel Resnick:

- Mitchel Resnick Publications (<http://web.media.mit.edu/~mres/papers.html>. Acesso em: 12 mai. 2019).