

UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIÂNGULO MINEIRO

ALINE CUNHA ALMEIDA

DESENVOLVIMENTO DE COLPOSCÓPIO DE BAIXO CUSTO PARA O AUXÍLIO
NA PREVENÇÃO DE CÂNCER DE COLO UTERINO

UBERABA

2023

ALINE CUNHA ALMEIDA

DESENVOLVIMENTO DE COLPOSCÓPIO DE BAIXO CUSTO PARA O AUXÍLIO
NA PREVENÇÃO DE CÂNCER DE COLO UTERINO

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica, da Universidade Federal do Triângulo Mineiro, como requisito para obtenção do título de mestre em inovação tecnológica.

Orientador: Prof. Dr. David Calhau Jorge
Coorientadora: Profa. Dra. Rosekeila Simões Nomelini

UBERABA

2023

**Catálogo na fonte: Biblioteca da Universidade Federal do
Triângulo Mineiro**

A444d Almeida, Aline Cunha
Desenvolvimento de colposcópio de baixo custo para o auxílio
na prevenção de câncer de colo uterino / Aline Cunha Almeida. --
2023.
135 f. : il., tab.

Dissertação (Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica)
-- Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, 2023
Orientador: Prof. Dr. David Calhau Jorge
Coorientadora: Profa. Dra. Rosekeila Simões Nomelini

1. Colposcopia. 2. Tecnologia digital. 3. Instrumentos ópticos.
4. Instrumentos e aparelhos médicos. 5. Diagnóstico por imagem.
6. Imagem tridimensional. 7. Telefone celular. I. Jorge, David Calhau.
II. Universidade Federal do Triângulo Mineiro. III. Título.

CDU 618.146:681.7

ALINE CUNHA ALMEIDA

DESENVOLVIMENTO DE COLPOSCÓPIO DE BAIXO CUSTO PARA A PREVENÇÃO DE CÂNCER DE COLO UTERINO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação Profissional em Inovação Tecnológica da Universidade Federal do Triângulo Mineiro como requisito parcial para obtenção do título de mestre.

Uberaba, 31 de maio de 2023

Banca Examinadora:

Dr. David Calhau Jorge - Orientador
Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Dra. Ana Cristina Macedo Barcelos
Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Dr. João Paulo Folador
Universidade Federal do Paraná



Documento assinado eletronicamente por **DAVID CALHAU JORGE, Professor do Magistério Superior**, em 31/05/2023, às 11:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#) e no art. 34 da [Portaria Reitoria/UFTM nº 87, de 17 de agosto de 2021](#).



Documento assinado eletronicamente por **ANA CRISTINA MACEDO BARCELOS, Professor do Magistério Superior**, em 31/05/2023, às 11:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#) e no art. 34 da [Portaria Reitoria/UFTM nº 87, de 17 de agosto de 2021](#).



Documento assinado eletronicamente por **João Paulo Folador, Usuário Externo**, em 31/05/2023, às 11:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#) e no art. 34 da [Portaria Reitoria/UFTM nº 87, de 17 de agosto de 2021](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.uftm.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1005294** e o código CRC **D1CC5074**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar força interior para superar as dificuldades, mostrar o caminho nos momentos difíceis e me suprir em todas as minhas necessidades.

Ao meu orientador Professor Dr. David Calhau Jorge pela oportunidade de trabalhar e aprender com toda sua experiência, por sua postura ativa em me ajudar no desenvolvimento do projeto, por acreditar em mim e ser um exemplo de profissional e educador que fará parte da minha história.

A minha coorientadora Dra. Professora Rosekeila Simões Nomelini pela oportunidade de poder participar do seu projeto de pesquisa, por todo o suporte e orientação durante o desenvolvimento e testes do trabalho. A Dra. Priscila Thais Silva Mantoani pela paciência em me receber e me orientar com as dúvidas e detalhes do equipamento, pela sua disponibilidade e apoio durante todo o desenvolvimento do projeto.

Agradeço em especial ao meu amigo engenheiro Renato Bruno, que se dispôs a me ajudar no desenvolvimento do projeto compartilhando todo seu conhecimento e experiência.

À minha família e amigos, em especial a minha mãe, pelo incentivo e suporte nos momentos difíceis.

RESUMO

O câncer do colo do útero, um dos mais frequentes em mulheres, pode ser evitado se forem diagnosticadas as lesões pré-malignas (neoplasias intraepiteliais cervicais). Com isso, o tratamento para a doença se torna muito mais simples e menos agressivo. O grande problema é que as lesões pré-malignas são assintomáticas, com isso, quando os sintomas aparecem, conclui-se que o câncer já está se desenvolvendo. Nota-se assim a importância do exame periódico para detecção de lesões pré-malignas. Os exames utilizados para a prevenção dessas lesões é o da citologia oncológica, ou seja, o método de Papanicolaou, a colposcopia e a histopatologia. Esse é o conjunto utilizado no diagnóstico das lesões cervicais precursoras do câncer de colo do útero. Um problema encontrado nessa prevenção é o acesso a um dos equipamentos que auxilia no diagnóstico, chamado colposcópico, pois há regiões que não dispõem do dispositivo. Tendo isto em vista, a proposta do projeto é um aparelho de baixo custo para auxiliar na análise de médicos durante o exame ginecológico, para a realização de colposcopia. Este projeto que faz parte do Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica (PMPIT), abordará uma pesquisa de campo com cunho qualitativo. Será proposto um equipamento de baixo custo, sendo sua estrutura fabricada de material de fácil acesso ou impresso em uma impressora 3D. Serão utilizadas combinações de lentes para se alcançar a ampliação necessária da região do colo do útero durante o exame de colposcopia, e a apresentação da imagem ao médico se dará através de um aparelho *smartphone*. Assim, o consultório, clínica ou qualquer outra instituição médica onde o exame for realizado, não terá a necessidade de uma infraestrutura onerosa com computador e aparelho colposcópico convencional para a realização do exame, tornando possível o acesso a colposcopia para mulheres que vivem em lugares remotos ou com carência de recursos.

Palavras-chave: Colposcópico; colposcópico digital; equipamento óptico; aparelho médico; imagens médicas, aparelho celular, impressão 3D.

ABSTRACT

Cervical cancer, one of the most common types of cancer in women, can be prevented if pre-malignant lesions (cervical intraepithelial neoplasia) are diagnosed. As a result, treatment for the disease becomes much simpler and less aggressive. The major problem is that pre-malignant lesions are asymptomatic, so when symptoms appear, it is concluded that cancer is already developing. This highlights the importance of regular examinations for detecting pre-malignant lesions. The tests used for the prevention of these lesions are oncotic cytology, also known as the Pap test, colposcopy, and histopathology. These are the methods used in diagnosing precursor cervical lesions of cervical cancer. One problem encountered in this prevention is the accessibility to a diagnostic aid called a colposcope, as there are regions that do not have the device. With this in mind, the proposed project is a low-cost device to assist doctors in the analysis during gynecological examinations, specifically for performing colposcopy. This project, which is part of the Professional Master's Program in Technological Innovation (PMPIT), will involve a qualitative field research. A low-cost device will be proposed, with its structure made of easily accessible materials or printed using a 3D printer. Combinations of lenses will be used to achieve the necessary magnification of the cervical region during colposcopy, and the image will be presented to the doctor through a smartphone. This way, the medical office, clinic, or any other medical institution where the examination is performed will not require costly infrastructure such as a computer and a conventional colposcope to conduct the examination, making colposcopy accessible to women living in remote areas or with limited resources.

Keywords: Colposcope; digital colposcope; optical equipment; medical device; medical images; cell phone, 3D printing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Taxa de incidência estimada para o ano de 2023 de câncer de colo uterino no Brasil.	17
Figura 2 - Número de casos de câncer em mulheres no ano de 2020 no mundo.	18
Figura 3 – Imagem colposcopia de colo normal – Os três elementos que permitem reconhecer a junção escamo-colunar após ácido acético: 1 – O aspecto papilar da mucosa glandular; 2 – A diferença de nível entre a mucosa glandular e o epitélio pavimentoso; 3 – A orla branca, que é encontrada igualmente em torno de um orifício glandular.....	20
Figura 4 – Imagem colposcópica do colo do útero com anomalia após a aplicação dos reagentes.	21
Figura 5 - Colposcópio.	24
Figura 6 - Espectro da Luz.	27
Figura 7 - Feixes de Luz.	28
Figura 8 - Reflexão regular e Reflexão difusa.....	28
Figura 9 - Refração regular da luz e Refração difusa da luz.	29
Figura 10 - Absorção da luz.	29
Figura 11 - Cores de alguns corpos determinadas pela luz refletida difusamente por eles.....	30
Figura 12 - Sombra e Penumbra.	31
Figura 13 - Princípio da Reversibilidade dos Raios de Luz.	31
Figura 14 - Princípio da Independência dos Raios de Luz.	32
Figura 15 - Reflexão da luz em superfície plana e esférica.....	32
Figura 16 - $PI = P'I$	33
Figura 17 - Prolongamento dos raios refletidos passando por P'	34
Figura 18 - Características do ponto objeto formado por P e por P'	35
Figura 19 - Simetria dos pontos A , B , C e D , em um espelho plano.....	36
Figura 20 - Luz monocromática se propagando de um meio menos refringente para um meio mais refringente.	37
Figura 21 - Luz monocromática se propagando da água para o ar.	38
Figura 22 - Objeto real na água tem imagem mais próxima a superfície.....	39
Figura 23 - O raio emergente R' é paralelo ao raio incidente R	40
Figura 24 - Prisma Óptico.....	41

Figura 25 - Raio de luz monocromática em um Prisma Óptico.....	41
Figura 26 - Dispersão da luz branca ao sofrer refração em um prisma de vidro.	42
Figura 27 - Lentes de bordas delgadas e Lentes de bordas espessas.	43
Figura 28 - Lentes de bordas delgadas como lentes convergentes (a) e Lentes de bordas espessas como lentes divergentes (b).	44
Figura 29 - Distâncias focais das lentes convergentes e divergentes.	45
Figura 30 - Distâncias dos focos principais e dos pontos antiprincipais.....	45
Figura 31 - Todo raio de luz que incide na lente e paralelamente ao seu eixo principal se refrata passando pelo foco imagem.	46
Figura 32 - Todo raio de luz que atravessa a lente passando pelo centro óptico (O) não sofre desvio.....	46
Figura 33 - Todo raio de luz que incide na lente passando pelo foco objeto se refrata paralelamente ao eixo principal.....	47
Figura 34 - AB é um objeto real, isto é, objeto luminoso ou iluminado situado diante da lente.....	48
Figura 35 - Objeto real, situado após o ponto antiprincipal.....	48
Figura 36 - Objeto real, situado sobre o ponto antiprincipal.	49
Figura 37 - Objeto real, situado entre o foco e o ponto antiprincipal.....	49
Figura 38 - Objeto real, situado sobre o foco.....	50
Figura 39 - Objeto real, situado entre o foco e o centro óptico da lente.....	50
Figura 40 - Formação da imagem de um telescópio composto.	53
Figura 41 - Comparação com a imagem ideal (1), com aberração cromática axial (2) e com aberração cromática transversa (3).....	54
Figura 42 - Fenômeno da aberração esférica.....	55
Figura 43 - Fenômeno da aberração coma.....	56
Figura 44 - Fenômeno da aberração de astigmatismo.....	56
Figura 45 - a) imagem normal; b) imagem com distorção negativa; c) imagem com distorção positiva.	57
Figura 46 – Acoplamento de lentes.	58
Figura 47 - Exemplo de funcionamento do processo FDM.....	64
Figura 48 – Modelo típico de impressão SLS.	65
Figura 49 – Foto impressora Ender 3.....	70
Figura 50 – Simulação da impressão no Cura.....	71
Figura 51 – Lentes utilizadas no processo de Ideação.	74

Figura 52 – Protótipo 0: Vista explodida.	75
Figura 53 – Protótipo 0: Modelo para Ideação.....	75
Figura 54 – Testes feitos utilizando ângulos de reflexão.	76
Figura 55 – Testes feitos com os tubos em preto.	77
Figura 56 – Projeto Protótipo 1: Primeira versão.	79
Figura 57 – Lentes utilizadas no Protótipo 1.	80
Figura 58 – Projeto Protótipo 1.....	80
Figura 59 – Protótipo 1.	81
Figura 60 – Projeto do Protótipo 2: primeira versão.	82
Figura 61 – Projeto do Protótipo 2 em cortes horizontais – primeira versão.	83
Figura 62 – Projeto do Protótipo 2.	84
Figura 63 – Projeto do Protótipo 2 em cortes verticais.....	85
Figura 64 – Protótipo 2: Andar 0 (a) e Andar 1 (b).....	86
Figura 65 – Protótipo 2: Vista de cima Andar 1 (a), andar 2 (b) e andar 3 (c).....	87
Figura 66 – Protótipo 2: Imagens formadas.	88
Figura 67 – Protótipo 3.	89
Figura 68 – Protótipo 3: Cortes verticais.....	90
Figura 69 – Protótipo 3 - Cortes horizontais.....	91
Figura 70 – Protótipo 3: Processo de montagem.	92
Figura 71 – Protótipo 3: Protótipo montado.....	92
Figura 72 – Índice de refração em função do comprimento de onda.....	94
Figura 73 – Conjunto de lentes objetivas do Protótipo 3.....	95
Figura 74 – Protótipo 3 – Imagens formadas.....	96
Figura 75 – Projeto do Sistema de Ajuste de Foco.....	97
Figura 76 – Sistema de Ajuste de Foco.	97
Figura 77 – Sistema de Ajuste de Foco Montado.	98
Figura 78 – Montagem do Sistema de ajuste de foco e iluminação.....	99
Figura 79 – Sistema de ajuste de foco e iluminação.	100
Figura 80 - Circuito para controle de iluminação.....	101
Figura 81 – Sistema de ajuste de foco e iluminação montado.....	101
Figura 82 – Peças para Base.	102
Figura 83 – Base montada.	103
Figura 84 – Projeto do primeiro modelo do Suporte para celular.	104
Figura 85 – Peças do primeiro modelo do Suporte para celular.....	105

Figura 86 – Primeiro modelo do Suporte para celular.....	105
Figura 87 – Segundo modelo do Suporte para celular.....	106
Figura 88 – Montagem do modelo final do Suporte para celular.....	107
Figura 89 – Modelo final do Suporte para celular.....	107
Figura 90 – Modelo final do Protótipo.....	108
Figura 91 - Representação esquemática da colposcopia digital.	109
Figura 92 - Representação esquemática do aparelho proposto.....	109
Figura 93 – Testes feitos no Ambulatório Maria da Glória.....	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo de recomendações para conduta inicial frente aos resultados alterados de exames citopatológicos nas unidades de atenção básica.....	22
Tabela 2 - Materiais para lentes: Convencionais e Alternativos.....	62

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	OBJETIVO GERAL	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3	JUSTIFICATIVA	16
4	REFERENCIAL TEÓRICO	17
4.1	CÂNCER DE COLO DO ÚTERO	17
4.1.1	Exames e Diagnósticos	19
4.1.2	Colposcópico	23
4.2	ÓPTICA GEOMÉTRICA	26
4.2.1	Conceitos Fundamentais	26
4.2.1.1	Luz	26
4.2.1.2	Fenômenos Ópticos	28
4.2.1.3	Cores dos Corpos	29
4.2.1.4	Princípios da Óptica	30
4.2.2	Reflexão da Luz	32
4.2.3	Formação de Imagens em Espelhos Planos	33
4.2.3.1	Imagem de um Ponto	33
4.2.3.2	Imagem Real e Imagem Virtual	34
4.2.3.3	Imagem de um Objeto	35
4.2.4	Refração da Luz	36
4.2.4.1	Considerações Iniciais	36
4.2.4.2	Leis da Refração	37
4.2.4.3	Reflexão Total da Luz	38
4.2.4.4	Dioptra Plano	39
4.2.4.5	Lâminas de Faces Paralelas	40

4.2.4.6	Prisma.....	40
4.2.4.7	Dispersão Luminosa	42
4.2.5	Lentes Esféricas Delgadas.....	43
4.2.5.1	Comportamento Óptico.....	43
4.2.5.2	Análise Gráfica.....	45
4.2.5.3	Raios Notáveis.....	46
4.2.5.4	Construção Geométrica da Imagem	47
4.2.5.5	Convenção de Sinais.....	51
4.2.5.6	Vergência das Lentes	51
4.2.5.7	Equação dos Fabricantes ou Equação de Halley	52
4.2.5.8	Equação de Gauss	52
4.2.5.9	Aumento Linear Transversal.....	52
4.2.6	Microscópio Composto	53
4.2.7	Aberrações	54
4.2.7.1	Aberração Cromática.....	54
4.2.7.2	Aberrações Geométricas	55
4.2.8	Associações de Lentes	57
4.3	CARACTERÍSTICAS DE CONSTITUIÇÃO DAS LENTES	60
4.4	IMPRESSORA 3D.....	63
4.4.1	Impressora 3D com tecnologia FDM (Modelagem de Deposição Fundida).....	66
5	METODOLOGIA.....	68
5.1	MODELAGEM E IMPRESSÃO	68
5.2	PROCESSO DE PROTOTIPAGEM	72
5.2.1	Estrutura e Lentes para Formação da Imagem	73
5.2.1.1	Ideação - Protótipo 0.....	73
5.2.1.2	Protótipo 1	77

5.2.1.3 Protótipo 2	81
5.2.1.4 Protótipo 3	89
5.2.2 Sistema para Ajuste de Foco e Iluminação.....	96
5.2.3 Base	102
5.2.4 Suporte para Celular	103
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	108
6.1 CUSTOS DO PROJETO	108
6.2 TESTES MÉDICOS	110
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	112
REFERÊNCIAS.....	114
ANEXO A – DOCUMENTO DE APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA... 119	
ANEXO B – DOCUMENTO DE PEDIDO DE PATENTE..... 135	

1 INTRODUÇÃO

O câncer é uma doença das doenças que mais mata no mundo. Apesar de existir há muito tempo na sociedade, ainda é um dos fatores mais preocupantes em saúde pública. Segundo o Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva (2022), estima-se que, no ano de 2020, houve 19,3 milhões de novos casos de câncer no mundo, sendo 1,9 milhão referentes ao câncer de cólon e reto.

O câncer do colo do útero, é um dos mais frequentes em mulheres, podendo ser prevenido se diagnosticadas as lesões pré-malignas, denominadas neoplasias intraepiteliais cervicais (NIC). Com isso, o tratamento se torna muito mais simples e menos agressivo. As lesões pré-malignas consistem em lesões que, caso não ocorra uma reversão no seu desenvolvimento, podem evoluir para tumores malignos, podendo se manifestar como câncer. O grande problema é que as lesões pré-malignas são assintomáticas. Os sintomas geralmente ocorrem quando já há o diagnóstico de câncer de colo uterino. Assim, nota-se a importância do exame periódico para detecção de lesões pré-malignas (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002).

Os exames utilizados para a prevenção dessa neoplasia cervical são a citologia oncológica, também conhecido como exame Papanicolaou, a colposcopia e a histopatologia, esse é o conjunto utilizado no diagnóstico das lesões cervicais precursoras do câncer de colo do útero. (OLIVEIRA; BARBOSA, 2014).

O teste de Papanicolaou, é o exame inicial, feito periodicamente e tem por finalidade principal a detecção de lesões pré-malignas. A Colposcopia é feita quando o diagnóstico da citologia sugere alguma lesão. Para esse exame, é necessário o auxílio de um aparelho chamado colposcópico, que amplia a visão do colo do útero. Com isso, mostrando as alterações sugestivas de lesões precursoras do câncer, ou o câncer propriamente dito, o que torna possível o profissional que está executando o exame realizar uma biópsia, sendo guiado pela imagem colposcópica. A histologia é feita quando a colposcopia mostra alterações sugestivas de lesões pré-neoplásticas, ou quando houver discordância entre o exame colposcópico e o citológico (OLIVEIRA; BARBOSA, 2014).

Como o estudo de Nascimento et al. (2015) mostrou, uma grande parte das mulheres que são encaminhadas para a colposcopia tem um tempo de espera total para o exame muito grande, sendo assim medidas para reduzir esse prazo podem ajudar a evitar a evolução para câncer do colo do útero nessas pacientes.

Para melhor êxito na detecção de lesões pré-malignas de colo uterino, se faz necessário mais acesso ao exame de colposcopia, que necessita do colposcópio, equipamento que auxilia no diagnóstico do câncer uterino durante o exame, porém este aparelho pode ser oneroso para o Sistema de Saúde o que gera um problema, já que o Brasil e demais países em desenvolvimento tem reservas limitadas de investimentos (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002).

A proposta deste trabalho visa ajudar a solucionar este problema, desenvolvendo um equipamento de baixo custo para substituir o atual colposcópio no auxílio durante os exames de colposcopia, em locais onde não há condições financeiras para adquirir o equipamento convencional. Utilizando para isso, um aparelho com peças projetadas no software Solidworks e impressas em uma impressora 3D com o uso de filamentos do tipo PLA (Polyactic Acid - Ácido Polilático), lentes de material com preço acessível, e um telefone celular.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um aparelho de baixo custo, para auxílio durante o exame de colposcopia, tendo sua estrutura fabricada em impressora 3D com materiais periféricos de fácil acesso. Utilizando uma combinação de lentes e espelhos para alcançar a ampliação necessária para a visualização da região do colo uterino, sendo o resultado mostrado em um smartphone para o profissional que estará conduzindo o exame de colposcopia podendo assim fazer um eventual registro do exame.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- conhecer os fundamentos dos procedimentos para diagnóstico precoce do câncer cervical;
- definir e avaliar os tipos de lentes para gerar os resultados esperados, com a qualidade, nitidez necessárias e de baixo custo;
- definir o método para a utilização do celular no auxílio do procedimento sem que isso cause constrangimento à paciente;
- projetar uma estrutura de baixo custo confeccionada com material de fácil acesso e peças impressas em uma impressora 3D;
- comparar o protótipo com o equipamento utilizado no mercado;
- promover uma pesquisa de usabilidade do equipamento com médicos que atuam na área.

3 JUSTIFICATIVA

Este projeto tem a finalidade de viabilizar um equipamento de baixo custo para auxiliar na realização do exame de colposcopia, que por sua vez, irá aumentar o alcance deste importante exame em regiões onde hoje não há recursos suficientes para obtenção do aparelho colposcópico e nem de seus periféricos, como computador, já que a proposta deste aparelho contempla a utilização de um smartphone para a visualização e eventual registro do exame.

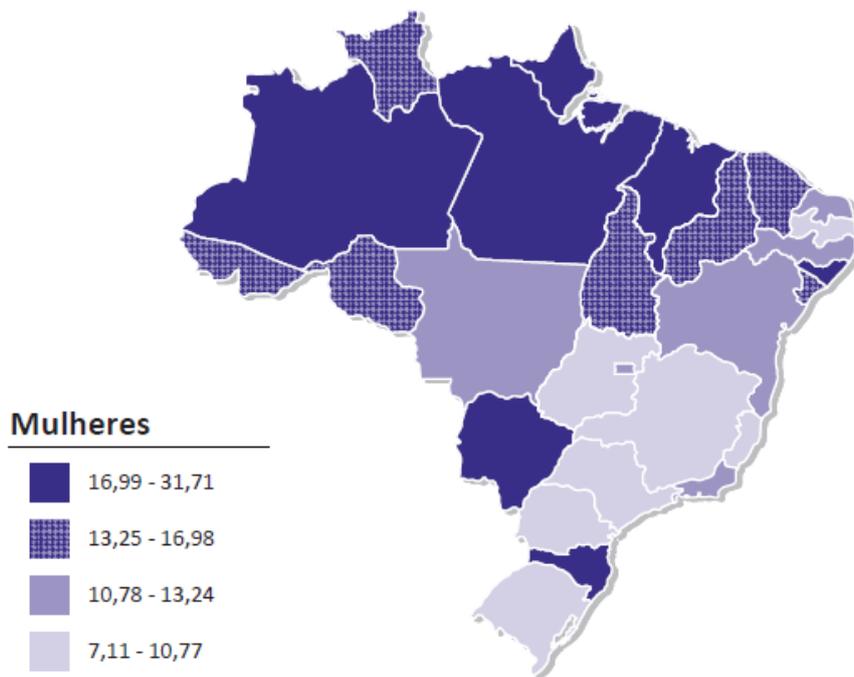
4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 CÂNCER DE COLO DO ÚTERO

O câncer de colo de útero é um dos mais incidentes em mulheres em todo mundo. A taxa de ocorrência dessa neoplasia cervical varia em todo o planeta, inclusive dentro do Brasil, onde a distribuição dessa taxa pode ser feita pelas regiões geográficas, que mostra a região centro-oeste, norte e nordeste com maior incidência estimada para o ano de 2023 de câncer do colo do útero, como pode ser visto na Figura 1. Em aspectos mundiais é notório que a maior ocorrência dessa doença se dá em países com Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) mais baixos. (INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER, 2022).

Figura 1 - Taxa de incidência estimada para o ano de 2023 de câncer de colo uterino no Brasil.

Representação espacial das taxas ajustadas^a de incidência por 100 mil mulheres, estimadas para o ano de 2023, segundo Unidade da Federação (neoplasia maligna do colo do útero)



Fonte: Estimativa 2023 : incidência de câncer no Brasil, Instituto Nacional de Câncer, 2022.

Conforme a estimativa para 2020 da Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (*International Agency for Research on Cancer*) em 2020 no mundo surgiram 604.127 novos casos de câncer uterino, o equivalente a 6,5% de todos os novos casos de câncer em mulheres do mundo. Pode-se visualizar isso na Figura 2.

Figura 2 - Número de casos de câncer em mulheres no ano de 2020 no mundo.



Fonte: Adaptado de Cancer; Organization, 2020.

Mais de 90% dos casos de câncer de colo de útero são causados pelo Papiloma Vírus Humano, vírus conhecido como HPV, este micro-organismo pode causar, em algumas mulheres, lesões localizadas no colo do útero, o que pode se transformar mais tarde em um tumor maligno (GLOBOCAN, 2020).

Apesar de o câncer cervical ser muito antigo, segundo a Globocan (2020), ele ainda é um dos principais problema de saúde pública no mundo e principalmente em países emergentes, tendo sido estimados, no ano de 2020, só na América do Sul, uma taxa de incidência de 15,4/100.000 mulheres.

“Quase 90% dos casos e mortes por câncer cervical ocorrem em países de baixa e média renda que carecem de programas nacionais abrangentes de imunização contra o HPV e de rastreamento do câncer cervical” (GRANT et al., 2019, p. 1, tradução nossa). Isso ocorre devido à dificuldade ao acesso a equipamentos para a realização dos exames e também profissionais com baixo nível de treinamento.

4.1.1 Exames e Diagnósticos

A análise das lesões intraepiteliais e do carcinoma do colo uterino é realizado por meio da associação de três métodos, que são a citologia do colo do útero ou exame de Papanicolaou, colposcopia e histologia (LIMA et al., 2017).

No Brasil, a citologia e a colposcopia tiveram início a partir dos anos 1940, através de profissionais precursores do combate ao câncer do colo de útero (INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA, 2016).

“A citologia oncológica, também chamada de exame de Papanicolaou, previne o câncer de colo de útero e deve ser realizada em todas as mulheres com vida sexualmente ativa, pelo menos uma vez ao ano” (LIMA et al., 2017, p. 156).

A colposcopia é uma técnica baseada na exploração amplificada dos epitélios do colo do útero, vagina e vulva, cujo objetivo fundamental é identificar as lesões invasivas ou precursoras de câncer. O termo colposcopia foi introduzido pelo próprio Hinselmann, derivado da palavra *kolpos*, que significa vagina, e *skopeo*, que significa olhar com atenção. Essa visualização será possível através da aplicação de dois reagentes químicos, o ácido acético e o iodo, respectivamente. Os principais achados colposcópicos anormais são: Epitélio acetobranco plano ou micropapilar, pontilhado, mosaico, leucoplasia, zona iodo negativa, vasos atípicos. Os exames citológicos, colposcópicos e histológicos são complementares e formam a base do diagnóstico de lesão do colo uterino (FREIRE et al., 2019, p. 1).

A colposcopia utiliza um microscópio de baixa potência, chamado colposcópico, para visualizar as alterações do colo do útero. Essas alterações são destacadas com aplicação de agentes de contraste exógenos, como ácido acético, a solução de lugol e o bissulfito de sódio (SELLORS; SANKARANARAYANAN, 2003; ASIEDU et al., 2019).

A aplicação de ácido acético (3% ou 5%) no colo do útero causa uma coagulação reversível nas proteínas nucleares, que afeta principalmente as áreas de lesão devido ao seu alto nível de proteína nuclear. Isso causa clareamento e textura em mosaico em regiões anormais, enquanto as regiões normais permanecem com uma cor rosa claro. As células epiteliais normais do colo do útero são ricas em glicogênio e absorvem o iodo de Lugol, solução essa que é capaz de corar de marrom escuro células com grande quantidade de glicogênio, sendo que células pré-malignas possuem deficiência de glicogênio, por conta do seu alto metabolismo, estas áreas não absorvem a solução aparecendo amareladas. Após a aplicação da Solução de

Lugol, instilamos Bissulfito de sódio para eliminar o lugol e realçar os achados para realização da biópsia. As áreas suspeitas destacadas por esses agentes de contraste são submetidas à biópsia para confirmação patológica de anormalidades cervicais (SELLORS; SANKARANARAYANAN, 2003; ASIEDU et al., 2019).

Nas Figuras 3 e 4 nota-se a diferença entre o colo do útero normal e o colo uterino com anomalia após a aplicação das soluções.

Figura 3 – Imagem colposcopia de colo normal – Os três elementos que permitem reconhecer a junção escamo-colunar após ácido acético: 1 – O aspecto papilar da mucosa glandular; 2 – A diferença de nível entre a mucosa glandular e o epitélio pavimentoso; 3 – A orla branca, que é encontrada igualmente em torno de um orifício glandular.



Fonte: Cartier e Cartier, 1999.

Figura 4 – Imagem colposcópica do colo do útero com anomalia após a aplicação dos reagentes.



Fonte: Freire et al., 2019.

Este método é aceito em todo o mundo no auxílio ao diagnóstico do câncer de colo do útero em estágios iniciais e lesões precursoras, pois orienta o local da biópsia, que pode ser feita em uma única consulta (AVULA, 2018, tradução nossa).

A histopatologia é o exame laboratorial, geralmente feito após a colposcopia para análise das amostras coletadas (LIMA et al., 2017).

As terminologias utilizadas para a classificação das lesões neste exame foram revisadas de forma a uniformizá-las em 2012, em um projeto chamado de Projeto LAST (“Lower Anogenital Squamous Terminology” ou traduzindo “Terminologia de Neoplasias Escamosas Anogenitais Inferiores”). A terminologia diagnóstica foi dividida em duas categorias que refletem as categorias biológicas das lesões morfológicas: lesão intraepitelial escamosa de baixo grau – LIEBG e lesão intraepitelial escamosa de alto grau LIEAG. Fazendo um paralelo a classificação utilizada antes do projeto LAST, chamada de classificação de Richart, temos que a LIEBG contempla as Neoplasias Intraepiteliais Cervicais (NIC) grau I e o termo LIEAG engloba as Neoplasias Intraepiteliais Cervicais graus II e III (FOCCHI, 2018).

Para combater o câncer de colo uterino o Ministério da Saúde do Brasil adotou algumas diretrizes para o rastreamento dessa neoplasia cervical, como mostra a Tabela 1 (INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA,

2018). Nesta tabela fica evidenciado a importância que o exame de colposcopia tem neste processo.

Tabela 1 - Resumo de recomendações para conduta inicial frente aos resultados alterados de exames citopatológicos nas unidades de atenção básica.

Diagnóstico citopatológico		Faixa etária	Conduta inicial
Células escamosas atípicas de significado indeterminado (ASCUS)	Possivelmente não neoplásicas (ASC-US)	< 25 anos	Repetir em 3 anos
		Entre 25 e 29 anos	Repetir a citologia em 12 meses
		≥ 30 anos	Repetir a citologia em 6 meses
	Não se podendo afastar lesão de alto grau (ASC-H)		Encaminhar para colposcopia
Células glandulares atípicas de significado indeterminado (AGC)	Possivelmente não neoplásicas ou não se podendo afastar lesão de alto grau		Encaminhar para colposcopia
Células atípicas de origem indefinida (AOI)	Possivelmente não neoplásicas ou não se podendo afastar lesão de alto grau		Encaminhar para colposcopia
Lesão de Baixo Grau (LSIL)		< 25 anos	Repetir em 3 anos
		≥ 25 anos	Repetir a citologia em 6 meses
Lesão de Alto Grau (HSIL)			Encaminhar para colposcopia
Lesão intraepitelial de alto grau não podendo excluir microinvasão			Encaminhar para colposcopia
Carcinoma escamoso invasor			Encaminhar para colposcopia
Adenocarcinoma <i>in situ</i> (AIS) ou invasor			Encaminhar para colposcopia

Fonte: Adaptado de Ações de Controle do Câncer do Colo do Útero no Brasil: Avanços e Desafios, Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva. Ministério da Saúde, 2018.

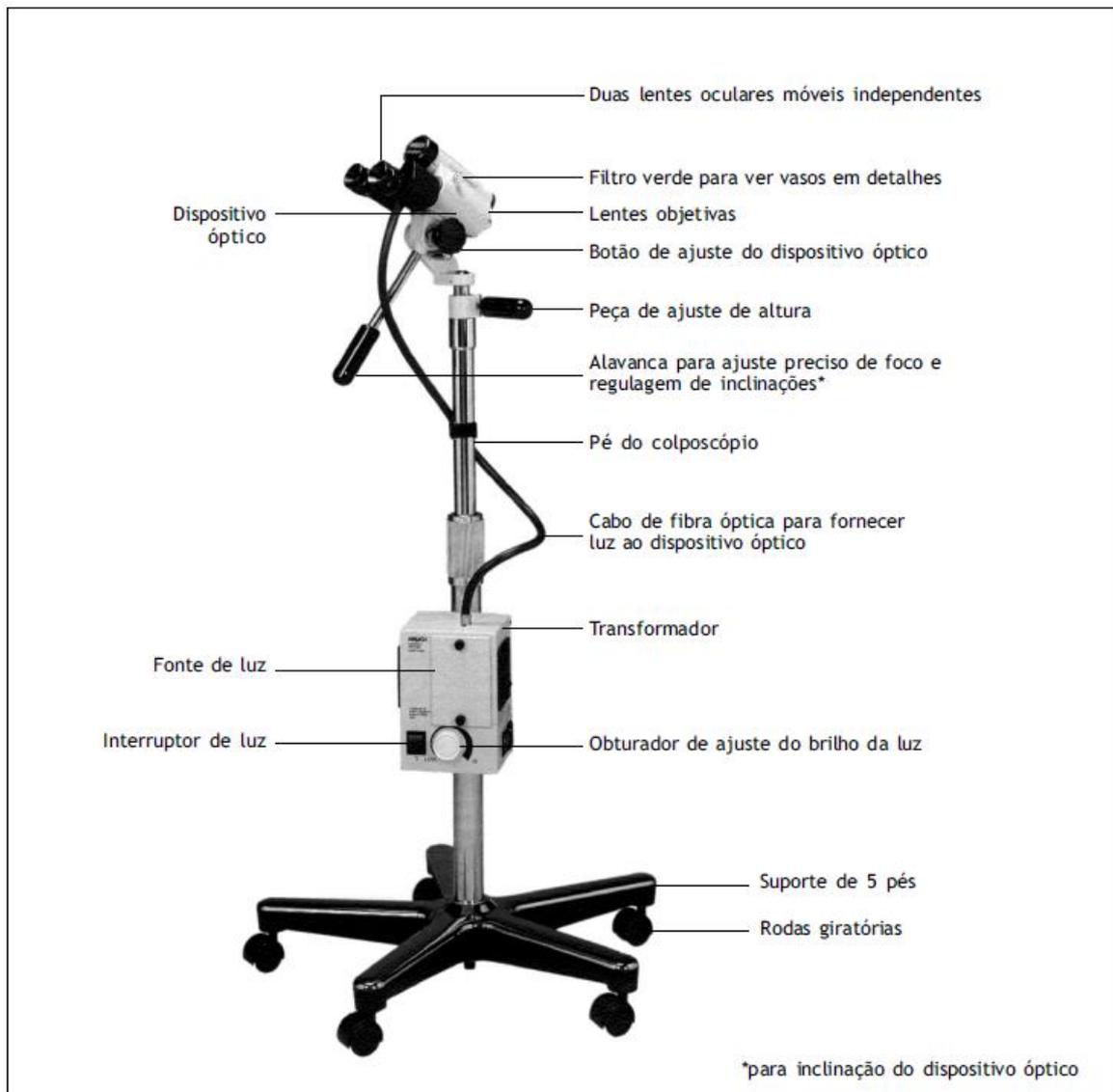
Segundo o Portal de Boas Práticas da Saúde da Mulher, da Criança e do Adolescente, o Ministério da Saúde enfrenta alguns desafios em relação ao combate do câncer de colo de útero, entre eles está o acesso ao exame de rastreio, com qualidade, a todas as mulheres do grupo alvo para isso garantir o acesso à colposcopia e tratamento da lesão precursora e câncer (INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA, 2018).

4.1.2 Colposcópio

O aparelho colposcópico foi desenvolvido pelo médico alemão Hans Hinselman na década de 1920. Esta ferramenta começou a ser utilizada no Brasil nos anos de 1930 e desde então tem grande contribuição na detecção precoce de carcinomas. Este dispositivo conseguiu oferecer uma grande contribuição na detecção precoce do câncer do colo do uterino, sendo adotada como a principal estratégia de controle da doença (LANA, 2020).

O colposcópico, conforme mostra a Figura 5, consiste em um microscópio óptico fixado em uma base móvel que possui luz branca própria, onde o objeto fica a uma distância de trabalho de cerca de 300mm. Durante o exame de colposcopia é utilizado ácido acético e uma solução de Lugol, para ajudar na visualização das áreas que possuem alguma anomalia, pois tais líquidos possuem características diferenciadas nas composições celulares, o que diferenciam essas áreas nas imagens formadas (HILLMANN, 2010).

Figura 5 - Colposcópio.



Fonte: Adaptado de Sellors; Sankaranarayanan, 2003.

Durante o exame de colposcopia, além de ampliar a área do colo do útero para visualização de anomalias, também é utilizado para auxiliar o médico na coleta de material do colo uterino para posterior biópsia. Podemos dividir os colposcópio em colposcópio binocular e vídeo colposcópio (colposcopia digital).

A visualização da imagem em um colposcópio binocular é feita através de um binóculo, assim como os microscópios comuns, onde a imagem é gerada através das lentes e o próprio profissional de saúde que está realizando o exame define o procedimento a ser adotado embasado em seu conhecimento prévio.

Já o vídeo colposcópico transmite as imagens geradas pelo colposcópico diretamente para um computador, assim permitindo uma análise mais detalhada ou a utilização de softwares. “As imagens são mostradas em tempo real no monitor do computador, e podem ser capturadas, arquivadas, impressas ou enviadas via internet” (HILLMANN, 2010, p. 43).

A colposcopia digital apresenta nítidas vantagens, no entanto, ela requer uma estrutura com alto custo, podendo variar de R\$ 10.000,00 até R\$ 50.000,00 em alguns casos como o do vídeo colposcópico. O que torna o produto de difícil acesso para países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento.

Visando este problema, alguns equipamentos de baixo custo foram estudados e desenvolvidos. Dentre estes, temos o Magnivisualizer, que é um dispositivo de baixo custo que tem por objetivo proporcionar uma ampliação iluminada para a detecção de lesões pré-cancerígenas no colo do útero. Este é um instrumento portátil, pode ser operado com bateria, porém não consegue auxiliar durante a coleta de biópsia (PARASHARI et al., 2000).

Como outro exemplo se encontra o AviScope, desenvolvido como uma alternativa para a inspeção visual a olho nu com ácido acético. É um aparelho portátil de inspeção visual ampliada que foi testado como uma alternativa ao colposcópico em ambientes de poucos recursos (SELLORS; WINKLER; KREYSAR, 2004).

Mesmo tendo diversas vantagens, estes instrumentos obtiveram sucessos limitados, pois não possuem captura digital de imagem, profundidade de foco limitada e ainda características de iluminação deficientes (LAM et al., 2015).

Um outro sistema de baixo custo foi desenvolvido com o intuito de resolver alguns dos problemas apresentados anteriormente, o colposcópico digital POCkeT. Este aparelho é introduzido no canal vaginal até próximo ao colo do útero, tendo sua distância de trabalho cerca de 30mm, eliminando a necessidade de ótica de alta resolução que possuem um custo mais elevado, que trabalham a uma distância de 300mm do colo do útero. (LAM et al., 2015). Com isso, este dispositivo consegue minimizar os custos, mas constrói uma restrição, pois não se torna possível realizar a biópsia guiada por colposcopia, sendo que o aparelho é inserido no canal vaginal.

4.2 ÓPTICA GEOMÉTRICA

Levando em consideração que a importância do entendimento básico sobre óptica geométrica e lentes é de extrema importância para o desenvolvimento deste trabalho, nessa seção será apresentado alguns conceitos essenciais.

4.2.1 Conceitos Fundamentais

4.2.1.1 Luz

O conceito base para o estudo de óptica é o da luz. Segundo Maxwell, “a luz é uma modalidade de energia radiante que se propaga através de ondas eletromagnéticas” (COURROL; PRETO, 2022, p. 4).

Apesar de Hertz ter comprovado a teoria de Maxwell 15 anos depois, sua descrição ainda não explicava o fenômeno fotoelétrico, onde algumas cores de luz ao serem aplicadas em uma placa metálica, boa condutora, conseguiam extrair elétrons e outras cores não, a depender da frequência de onda da cor dessa luz (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007).

O físico alemão Albert Einstein, embasado pela teoria utilizada pelo também físico alemão Max Planck para a explicação de radiação em um corpo negro, onde a energia equivale a uma constante, chamada de constante de Planck, multiplicada pela frequência da radiação, mostrou que a energia de um feixe de luz era concentrada em pequenos pacotes de energia, denominados posteriormente de fótons, o que explicava o fenômeno da emissão fotoelétrica (GASPAR, 2013).

Ondas e partículas são ideias diferentes, embora não sejam opostas. Toda onda pressupõe um movimento de partículas. Porém, as características do movimento ondulatório são distintas das características do movimento de partículas. Ondas são formas em movimento, transportam energia sem transportar matéria. Ondas não se chocam, mas se cruzam e contornam obstáculos, o que não ocorre com corpos materiais do mundo macroscópico (GASPAR, 2013, p. 350).

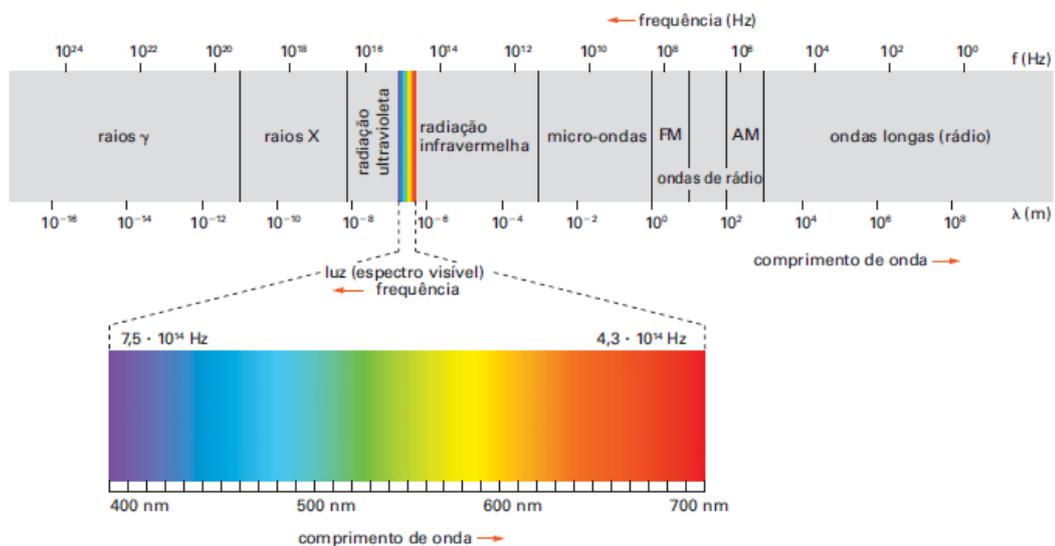
Isso fez com que hoje na física se aceitasse a teoria da dualidade onda partícula da luz, onde a mesma é considerada uma onda e também uma partícula, os fenômenos de reflexão, refração, interferência, difração e polarização da luz podem

ser explicados pela teoria ondulatória e os de emissão e absorção podem ser explicados pela teoria corpuscular da luz (COURROL; PRETO, 2022, p. 5).

A luz branca é formada pela combinação de todas as cores do espectro visível, dentre estas cores se dividiu a luz branca em sete principais (chamadas popularmente das cores do arco-íris): vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007).

A Figura 6 mostra o espectro eletromagnético da luz, nota-se que as diferenças entre os espectros das ondas se dão devido ao comprimento e a frequência da onda. Dentro da faixa do espectro visível ao olho humano, por exemplo, quanto mais próximo do violeta o espectro maior a frequência de sua onda e menor o comprimento da mesma, já quanto mais avermelhado ocorre o oposto, maior o comprimento e menor a frequência da onda.

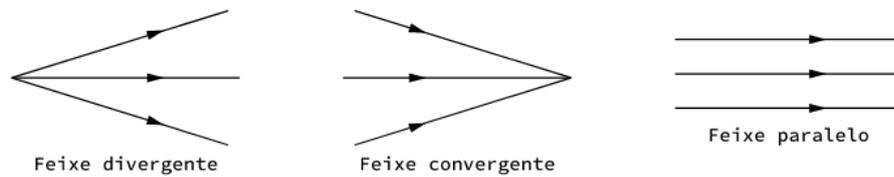
Figura 6 - Espectro da Luz.



Fonte: Gaspar, 2013.

Contudo, para o entendimento da ótica geométrica não é necessário um conhecimento complexo de luz, mas sim o conceito de raios luminosos. Que são definidos como “linhas orientadas que representam, graficamente, a direção e o sentido de propagação da luz” (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007, p. 217).

Os feixes de luz, conjunto de raios luminosos, podem ser: convergente, divergente e paralelo, conforme mostra a Figura 7.

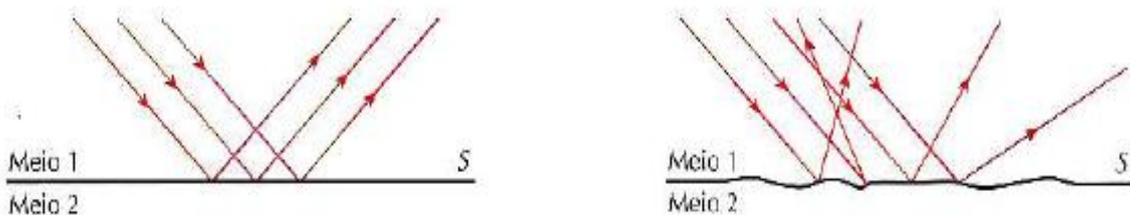
Figura 7 - Feixes de Luz.

Fonte: Adaptado Júnior, Ferraro, Soares, 2007.

4.2.1.2 Fenômenos Ópticos

Quando feixes de luz são direcionados a uma determinada superfície podem ocorrer três tipos de fenômenos: reflexão (regular ou difusa), refração e absorção da luz.

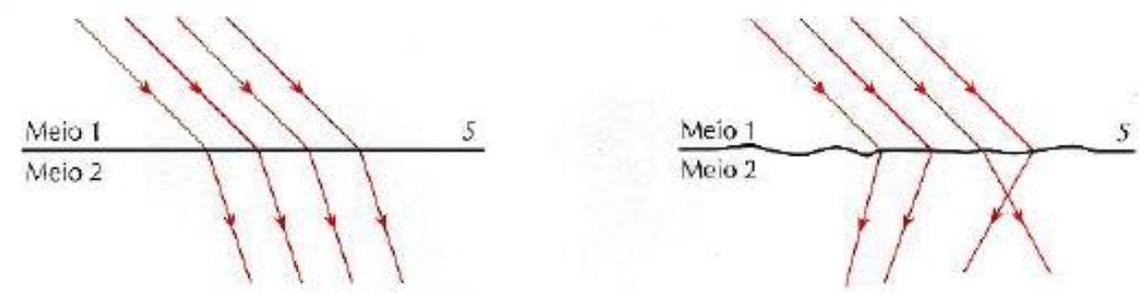
Conforme ilustrado na Figura 8, na reflexão regular os raios de luz incidentes sobre a superfície retornam paralelamente ao mesmo meio incidente como foram recaídos sobre ela. Já na reflexão difusa, os raios de luz incidentes retornam ao mesmo meio incidente de forma descoordenada, em todas as direções, isso ocorre quando a superfície é irregular (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007).

Figura 8 - Reflexão regular e Reflexão difusa.

Fonte: Júnior, Ferraro, Soares, 2007.

O fenômeno da refração ocorre quando os raios que incidem no meio 1 passa por uma superfície, sofrendo uma alteração na sua velocidade e podendo sofrer um desvio e incide no meio 2. A refração da luz, também pode acontecer de forma regular ou difusa, de acordo com a superfície onde ela ocorre, conforme mostra a Figura 9 (COURROL; PRETO, 2022).

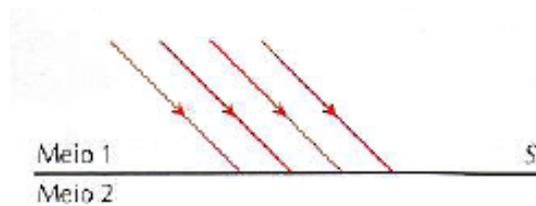
Figura 9 - Refração regular da luz e Refração difusa da luz.



Fonte: Júnior, Ferraro, Soares, 2007.

Absorção de luz, como mostra a Figura 10, ocorre quando a superfície absorve os raios de luz incidentes pelo meio 1, de forma que eles não voltam a esse meio e nem passe para o meio 2.

Figura 10 - Absorção da luz.

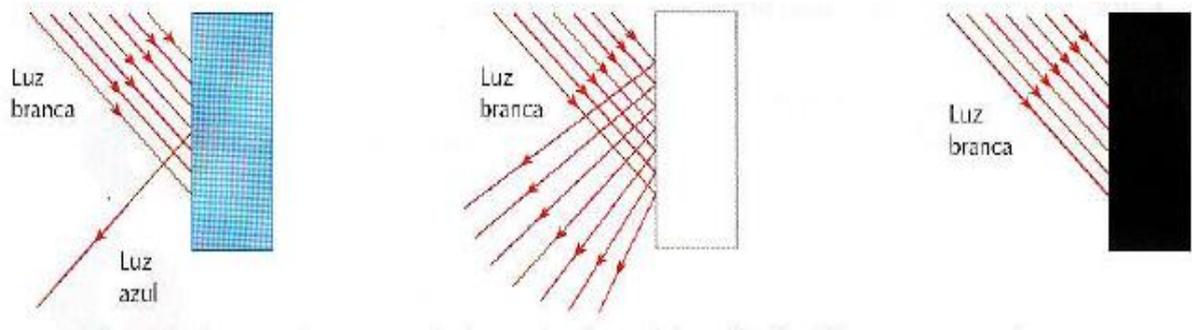


Fonte: Júnior, Ferraro, Soares, 2007.

4.2.1.3 Cores dos Corpos

“A cor que um corpo apresenta por reflexão é determinada pelo tipo de luz que ele reflete difusamente” (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007, p. 221). Por exemplo, quando vemos um objeto na cor azul, significa que quando este objeto foi iluminado pela luz branca, ele absorveu as demais cores e refletiu a azul. Um objeto branco quando iluminado com luz branca reflete todas as cores, assim, refletindo a própria luz branca; e também um corpo preto que absorve todas as cores não refletindo nenhuma luz, como mostra a Figura 11.

Figura 11 - Cores de alguns corpos determinadas pela luz refletida difusamente por eles.



Fonte: Júnior, Ferraro, Soares, 2007.

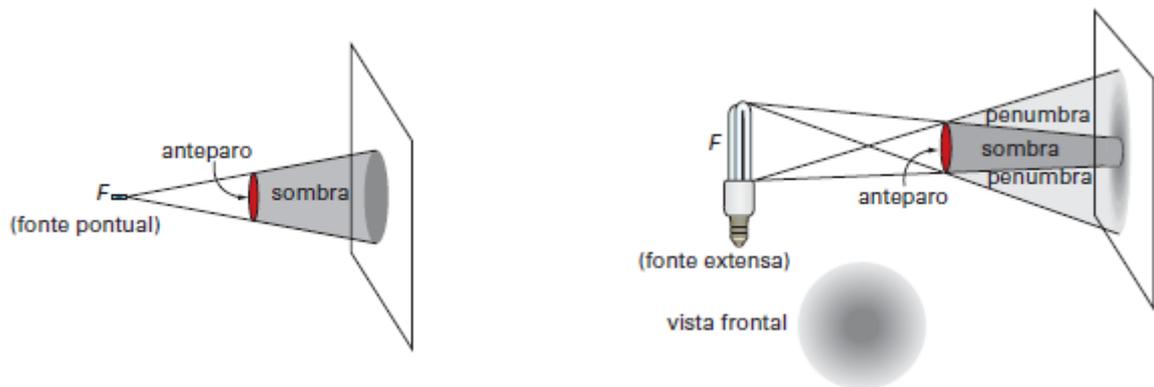
4.2.1.4 Princípios da Óptica

A óptica geométrica é embasada basicamente por três princípios: princípio da propagação retilínea, princípio da reversibilidade e o princípio da independência dos raios (GASPAR, 2013).

O princípio da propagação retilínea diz que em meios homogêneos e transparentes a luz se propaga em linha reta (GASPAR, 2013).

Um conceito abordado a partir do princípio da propagação retilínea da luz, é o de sombra e penumbra. A sombra ocorre quando há a ausência total da luz e a penumbra acontece quando a ausência de luz é parcial. Como mostra a Figura 12, quando se tem uma fonte puntiforme de luz, ou seja, fonte que tem dimensões desprezíveis em relação à distância do objeto, direcionada a um anteparo, a projeção é somente de sombra. Porém, quando a fonte de luz é extensa, ela produz o fenômeno da sombra e da penumbra. É este fenômeno que permite entender melhor as fases da lua e eclipses (GASPAR, 2013).

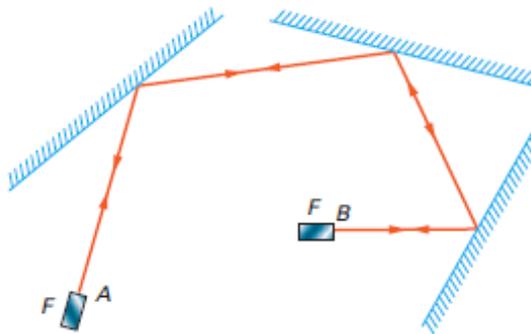
Figura 12 - Sombra e Penumbra.



Fonte: Gaspar, 2013.

O princípio da reversibilidade anuncia que a trajetória seguida pelo raio de luz, em um sentido, é a mesma quando o raio troca o sentido do percurso, ou seja, a trajetória dos feixes de luz não depende do seu sentido de propagação, conforme Figura 13 (GASPAR, 2013).

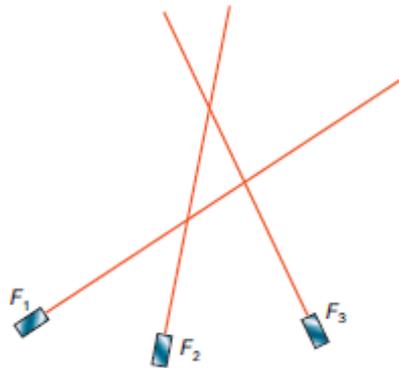
Figura 13 - Princípio da Reversibilidade dos Raios de Luz.



Fonte: Gaspar, 2013.

Já o princípio da independência dos raios de luz, mostra que quando dois raios de luz se cruzam, continuam suas trajetórias individualmente. Um raio não interfere na trajetória do outro, como apresenta a Figura 14, eles se propagam independentemente (GASPAR, 2013).

Figura 14 - Princípio da Independência dos Raios de Luz.

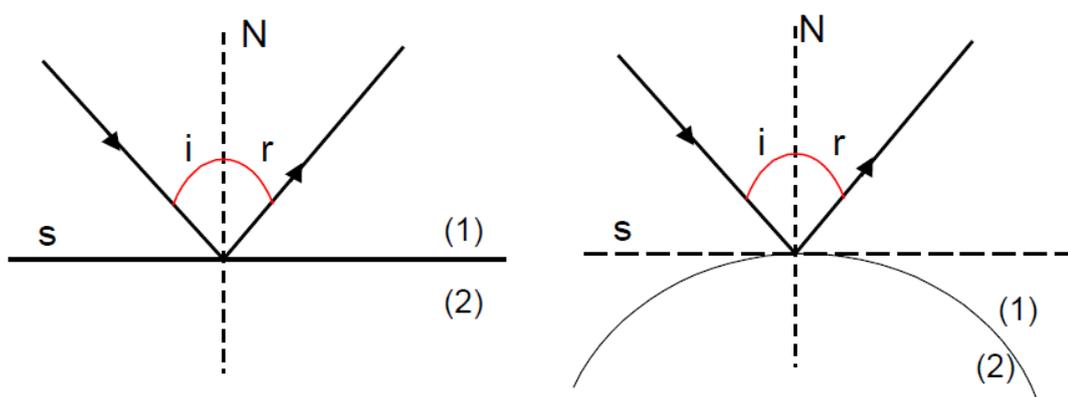


Fonte: Gaspar, 2013.

4.2.2 Reflexão da Luz

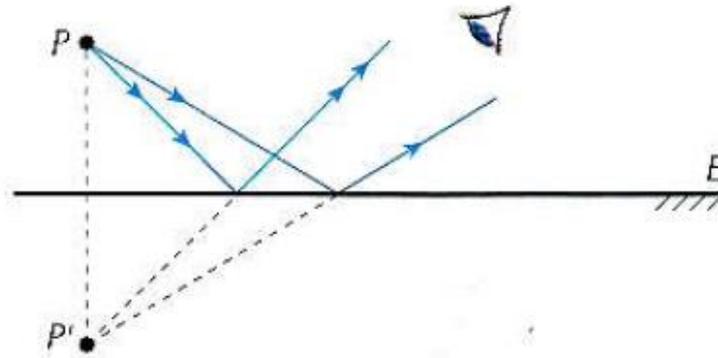
A reflexão da luz é regida por duas leis. Primeira lei: “o raio refletido, a normal, que é a reta perpendicular a superfície, e o raio incidente estão situados no mesmo plano”. Segunda lei: “o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência, $r = i$ ” (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007, p. 239). A Figura 15 ilustra a reflexão da luz em uma superfície plana e uma superfície curva.

Figura 15 - Reflexão da luz em superfície plana e esférica.



Fonte: Courrol; Preto, 2022.

Figura 17 - Prolongamento dos raios refletidos passando por P' .



Fonte: Júnior, Ferraro, Soares, 2007.

O ponto P definido pela interseção de raios incidentes sobre o espelho é denominado ponto objeto real, em relação ao espelho. O ponto P' definido pela interseção de raios emergentes do espelho é denominado ponto imagem virtual, em relação ao espelho (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007, p. 240).

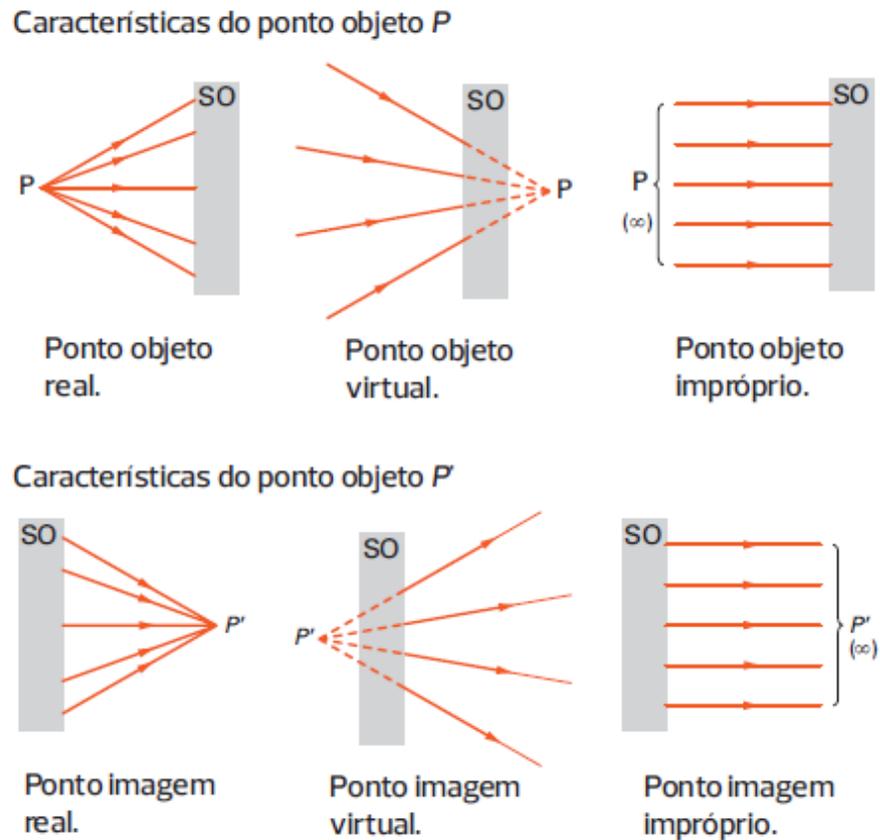
4.2.3.2 Imagem Real e Imagem Virtual

Quando se projeta uma imagem em uma tela, por exemplo, se tem uma imagem é real, pois é possível tocá-la, se mudarmos o local da tela a imagem permanece sempre a mesma. Já a imagem que vemos em um espelho plano, se movimentamos conforme há movimento em frente ao espelho, há a percepção da imagem ser formada atrás dele, este tipo de imagem denomina-se imagem virtual (GASPAR, 2013).

De modo geral, uma imagem real é definida pela imagem formada a partir de efetivos raios luminosos e a imagem virtual é formada a partir do prolongamento dos raios de luz (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007). Há ainda situações em que os raios de luz incidem ou emergem paralelamente de sistemas ópticos (SO), que são elementos que alteram a trajetória da luz, nesse caso, os pontos de convergência ou emergência não existem, por isso são chamados pontos impróprios, ver Figura 18.

Quando a luz sai do objeto óptico em direção ao sistema óptico, diz-se ponto objeto. Contudo, quando a luz sai do sistema óptico e converge no prolongamento da imagem do objeto, é chamado de ponto imagem (GASPAR, 2013).

Figura 18 - Características do ponto objeto formado por P e por P'.

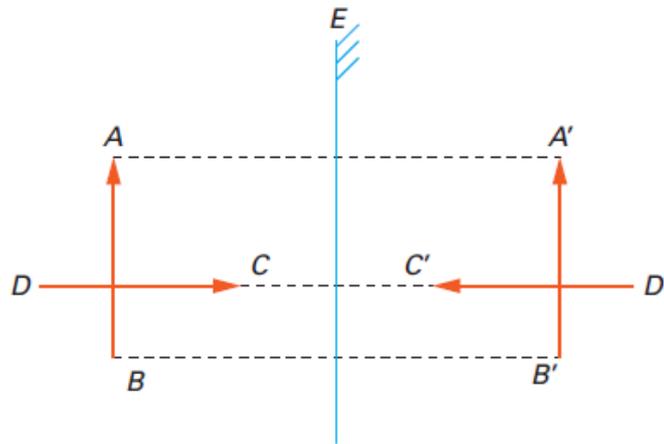


Fonte: Gaspar, 2013.

4.2.3.3 Imagem de um Objeto

Quando se tem uma figura a ser projetada em um espelho plano, sua imagem é revertida, também chamada de enantiomorfos. Termo utilizado para formas simétricas que não se sobrepõem. A imagem pode ser obtida através da simetria de cada um dos seus pontos no espelho, como mostra a Figura 19. A reflexão do objeto terá sempre o mesmo tamanho e distância do objeto real (GASPAR, 2013).

Figura 19 - Simetria dos pontos A , B , C e D , em um espelho plano.



Fonte: Gaspar, 2013.

4.2.4 Refração da Luz

4.2.4.1 Considerações Iniciais

A refração da luz é um fenômeno óptico que ocorre quando a luz muda o meio onde está se propagando, por exemplo, passa do ar para a água. Quando isso ocorre há uma mudança na velocidade na luz (GASPAR, 2013).

A velocidade de propagação da luz depende do meio em que ela está incidindo. No vácuo a luz se propaga a velocidade de $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, é a maior velocidade com que algo se propaga na natureza (GASPAR, 2013).

A grandeza que determina a facilidade ou dificuldade que a luz tem para se propagar é o índice de refração (n). O índice de refração absoluto é dado pela razão entre a velocidade da luz no vácuo (c) e a velocidade da luz no meio analisado (v), como mostra a equação 1 (GASPAR, 2013).

$$n = \frac{c}{v} \quad (1)$$

O índice de refração relativo, analisa a razão entre as velocidades da luz nos meios em que estão sendo estudados, conforme a equação 2.

$$n_{1/2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (2)$$

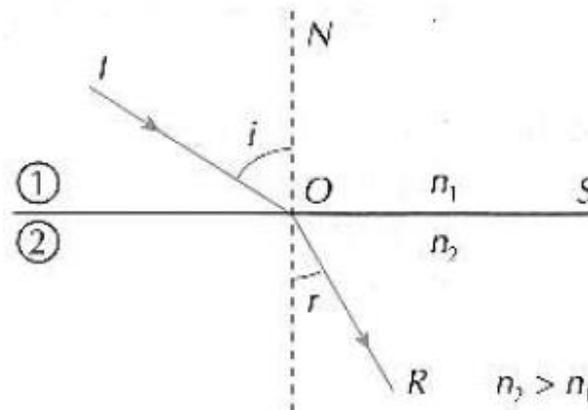
O índice de refração está diretamente relacionado com o espectro da luz, sendo de maior valor para luz violeta, que tem maior frequência de onda, e menor valor para a luz vermelha, que possui menor frequência de onda (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007).

“Para indicar entre dois meios aquele que tem maior ou menor índice de refração, é comum usarmos o termo refringência. Assim, o meio que possui maior índice de refração é o que apresenta maior refringência (mais refringente)” (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007, p. 286).

4.2.4.2 Leis da Refração

A refração luminosa é regida por duas leis. A primeira lei diz que “o raio incidente I , o raio refratado R e a norma N à superfície de separação S pertencem ao mesmo plano” (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007, p. 287). Como ilustra a Figura 20.

Figura 20 - Luz monocromática se propagando de um meio menos refringente para um meio mais refringente.



Fonte: Júnior, Ferraro, Soares, 2007.

A segunda lei ou lei de Snell-Descartes traz que “para cada par de meios e para cada luz monocromática que se refrata, é constante o produto do seno do ângulo que o raio forma com a normal e o índice de refração do meio em que o raio se encontra” (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007, p. 287). Conforme mostra a equação 3.

$$n_1 \cdot \text{sen } i = n_2 \cdot \text{sen } r \quad (3)$$

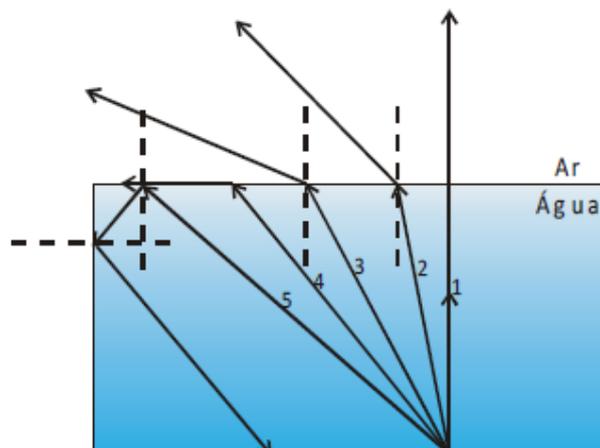
Analisando estas duas leis, conclui-se que quando um raio atravessa obliquamente uma superfície entre um meio mais refringente para um meio menos refringente, o ângulo de refração se afasta da normal, e o seu oposto também é verdadeiro, quando um raio atravessa obliquamente uma superfície entre um meio menos refringente para um meio mais refringente, o ângulo de refração se aproxima da normal (GASPAR, 2013).

4.2.4.3 Reflexão Total da Luz

Quando uma luz monocromática se propaga de um meio mais refringente para um meio menos refringente os raios luminosos vão se afastando da normal conforme o ângulo de incidência vai aumentando.

Com isso, em um determinado ângulo, a depender do espectro da luz que está sendo analisada e dos índices de refração dos meios, o ângulo de refração chega a 90° , o que faz com que não ocorra a refração para o segundo meio. Esse ângulo de incidência chamamos de ângulo limite (L). Quando o ângulo de incidência (i) passa desse valor limite $i > L$ não há refração da luz e sim uma reflexão total (MURAMATSU et al., 2018). Como mostra a Figura 21.

Figura 21 - Luz monocromática se propagando da água para o ar.

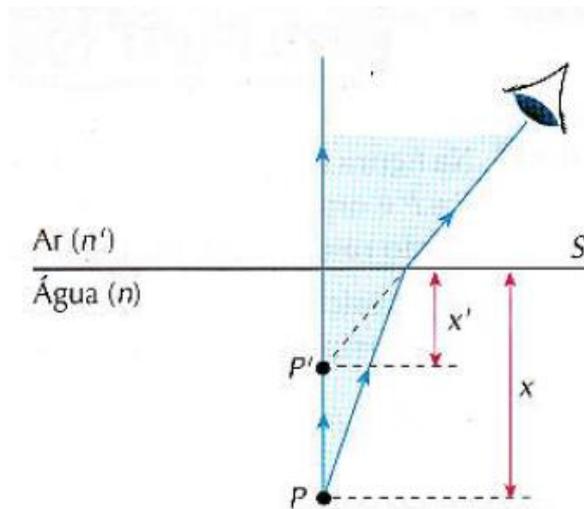


Fonte: Muramatsu et al., 2018.

4.2.4.4 Dioptra Plano

“Dioptra plano é o conjunto de dois meios homogêneos e transparentes separados por uma superfície plana S ” (Figura 22) (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007, p. 293).

Figura 22 - Objeto real na água tem imagem mais próxima a superfície.



Fonte: Júnior, Ferraro, Soares, 2007.

Quando os raios de luz passam de um meio com valor de refração diferente do outro meio e formam ângulos de pequenos valores com a normal (até aproximadamente 10°), percebe-se que a imagem e o objeto sofrem uma relação de distância diretamente relacionada com os índices de refração dos meios, como mostra a equação 4 (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007).

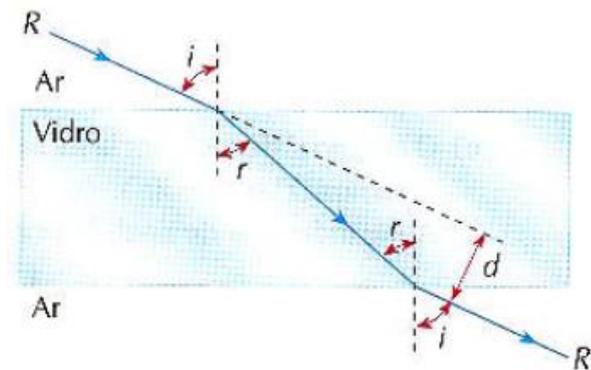
$$\frac{x}{x'} = \frac{n}{n'} \quad (4)$$

4.2.4.5 Lâminas de Faces Paralelas

Duas superfícies delimitando o mesmo material constituem uma lâmina de faces paralelas, o vidro de uma vidraça, por exemplo, é um sistema deste (GASPAR, 2013).

Quando um raio luminoso atravessa dois dióptros planos de mesmo material, ele não sofre desvio em seu ângulo, ocorrendo apenas um desvio lateral da luz, ou seja, o raio sai pelo segundo dióptro plano paralelamente ao raio que incidiu no primeiro dióptro, conforme Figura 23.

Figura 23 - O raio emergente R' é paralelo ao raio incidente R .



Fonte: Júnior, Ferraro, Soares, 2007.

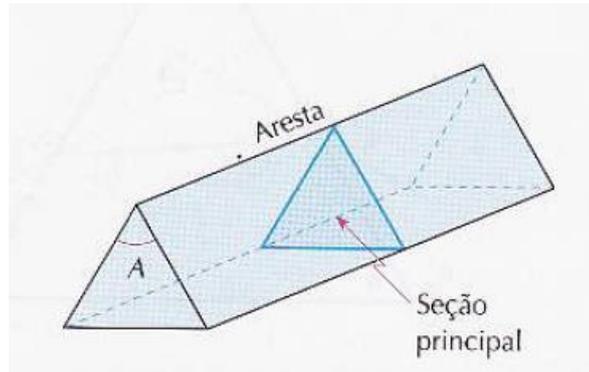
Para o cálculo do desvio ocorrido se utiliza a equação 5, onde: d = distância do desvio lateral; e = espessura da lâmina; i = ângulo de incidência e r = ângulo de refração (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007).

$$d = e \cdot \frac{\text{sen}(i - r)}{\cos r} \quad (5)$$

4.2.4.6 Prisma

Na óptica geométrica, “prisma é o conjunto de três meios homogêneos e transparentes separados por duas superfícies planas não-paralelas, que são suas faces. As faces interceptam-se em uma reta chamada aresta do prisma” (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007, p. 297). Como mostra a Figura 24.

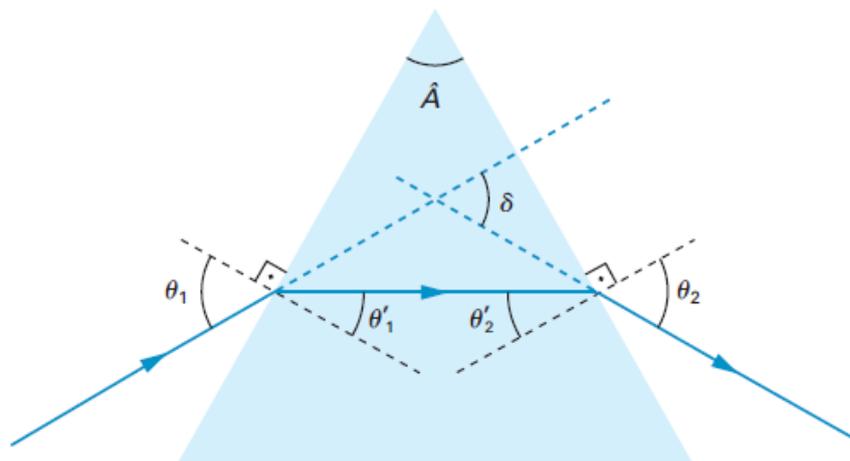
Figura 24 - Prisma Óptico.



Fonte: Júnior, Ferraro, Soares, 2007.

“Um raio de luz monocromática, quando atravessa um prisma triangular, contido em um plano paralelo às suas faces poligonais, sofre um desvio de ângulo δ em sua trajetória, como mostra a figura”, vide Figura 25 (GASPAR, 2013, p. 121):

Figura 25 - Raio de luz monocromática em um Prisma Óptico.



Fonte: Gaspar, 2013.

Sendo os ângulos θ_1 e θ_2 , respectivamente, os ângulos de incidência e emergência da luz, e \hat{A} o ângulo entre as faces do prisma, pode-se calcular o desvio δ sofrido pelos raios de luz pela equação 6 (GASPAR, 2013):

$$\delta = \theta_1 + \theta_2 - \hat{A} \quad (6)$$

Sendo que o ângulo de refringência (\hat{A}) é dado pela equação 7 (GASPAR, 2013):

$$\hat{A} = \theta'_1 + \theta'_2 \quad (7)$$

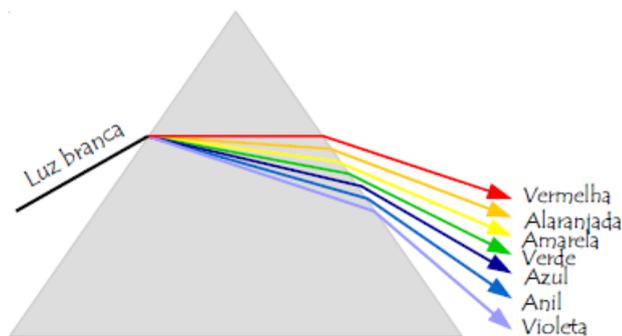
4.2.4.7 Dispersão Luminosa

Segundo o físico e matemático inglês, Isaac Newton, a luz branca é a junção de todas as cores de luz (MURAMATSU et al., 2018).

Em seu artigo de 1672, Newton procurou defender as ideias de que a luz branca é uma mistura de todas as cores, que cada cor pura está associada a uma refração diferente, e que as cores puras separadas por um prisma não sofrem modificações quando são refratadas, refletidas, espalhadas ou em qualquer outro fenômeno (MARTINS; SILVA, 2015, p. 4202-23).

A decomposição da luz branca em suas diversas cores é chamada de dispersão luminosa ou dispersão da luz. Uma das formas de se observar esta dispersão é incidindo luz branca obliquamente sobre uma das faces de um prisma, como pelo espectro eletromagnético cada cor tem frequência e velocidade distintas, a luz emerge na outra face do prisma separada em suas cores (MURAMATSU et al., 2018). Conforme ilustra a Figura 26.

Figura 26 - Dispersão da luz branca ao sofrer refração em um prisma de vidro.



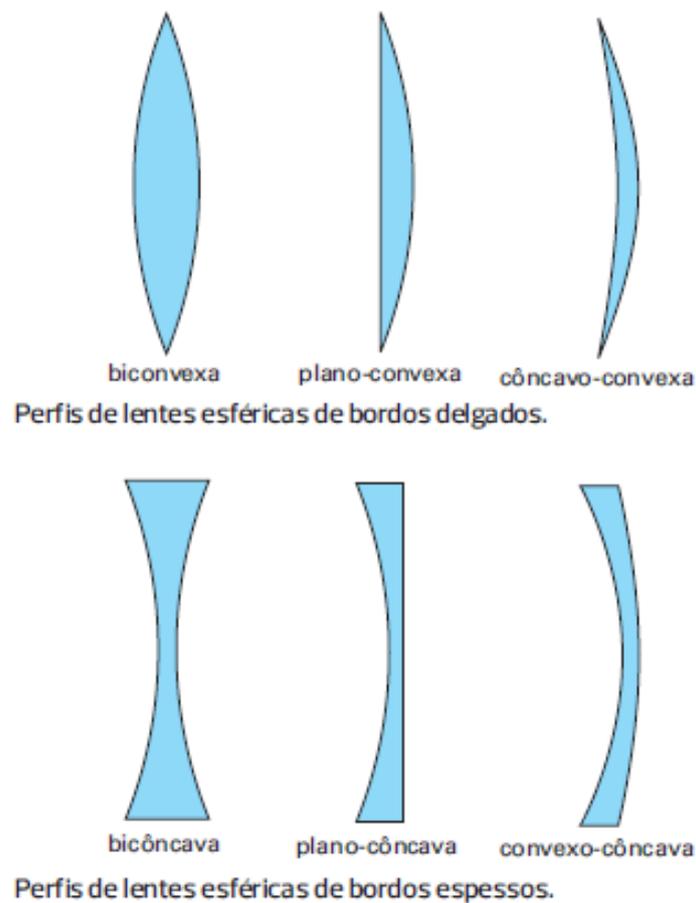
Fonte: Muramatsu et al., 2018.

4.2.5 Lentes Esféricas Delgadas

4.2.5.1 Comportamento Óptico

Segundo Gaspar (2013, p. 132), “lente é qualquer corpo transparente limitado por duas superfícies, das quais pelo menos uma é curva”. Há seis tipos de lentes esféricas (Figura 27), três tipos de bordas delgadas, as quais possuem as extremidades mais finas que seu centro, e três classes de bordas espessas, como o próprio nome diz, dispõem de extremidades mais espessas que o seu centro. As lentes de bordas delgadas possuem pelo menos uma de suas faces convexa, já as lentes de bordas espessas trazem ao menos uma de suas faces côncava.

Figura 27 - Lentes de bordas delgadas e Lentes de bordas espessas.

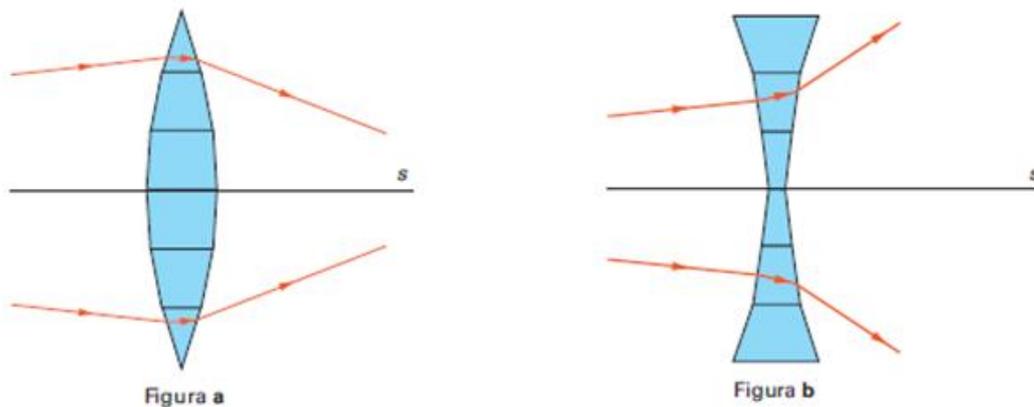


Fonte: Gaspar, 2013.

As nomenclaturas das lentes côncavas ou convexas, são definidas conforme se apresentam para o observador. Essa denominação é realizada indicando primeiro a face menos curva da lente (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007).

Considerando lentes de vidro ($n = 1,5$) inseridas no ar ($n = 1$), que é o caso mais comum, as lentes de bordas delgadas se comportam como lentes convergentes, ou seja, os raios de luz ao passar por elas convergem em um determinado ponto, chamado de foco imagem. Já as lentes de bordas espessas são divergentes, os raios de luz ao passar por elas se divergem um do outro, se espalhando ao invés de se concentrar em um determinado ponto, como pode ser observado na Figura 28 (GASPAR, 2013).

Figura 28 - Lentes de bordas delgadas como lentes convergentes (a) e Lentes de bordas espessas como lentes divergentes (b).



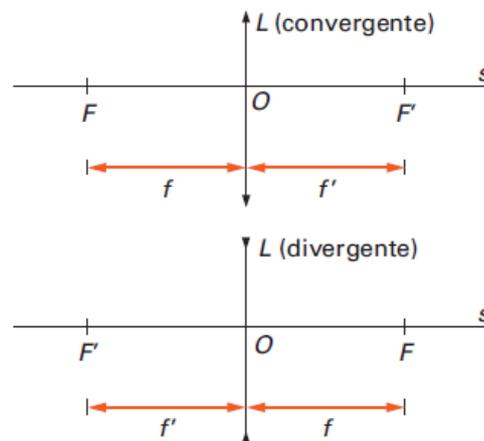
Fonte: Gaspar, 2013.

Há dois focos principais: o foco objeto F e o foco imagem F' . Sendo que a distância entre cada foco e o centro óptico é a mesma, ou seja, $FO = F'O$, como se observa na Figura 29. Os focos principais de uma lente convergente são reais, ou seja, ele é definido a partir do encontro factual dos raios luminosos, já os focos principais de uma lente divergente são virtuais, pois o encontro dos raios é feito a partir do seu prolongamento (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007).

4.2.5.2 Análise Gráfica

Em uma análise gráfica, o foco imagem de uma lente convergente fica do lado onde a luz sai da lente e em uma lente divergente o foco imagem fica do lado onde chega a luz até a lente, conforme mostra a Figura 29.

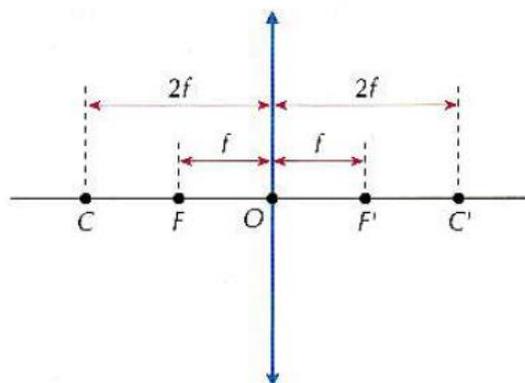
Figura 29 - Distâncias focais das lentes convergentes e divergentes.



Fonte: Gaspar, 2013.

Além dos focos principais ou pontos focais F e F' , há também os pontos antiprincipais C e C' , que ficam a uma distância duas vezes maior que a distância entre o foco e o centro óptico FO , ou seja, a distância entre o foco e o centro óptico é igual a distância entre o foco e seu antiprincipal $FO = CF$ e $F'O = C'F'$, como mostra a Figura 30 (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007).

Figura 30 - Distâncias dos focos principais e dos pontos antiprincipais.



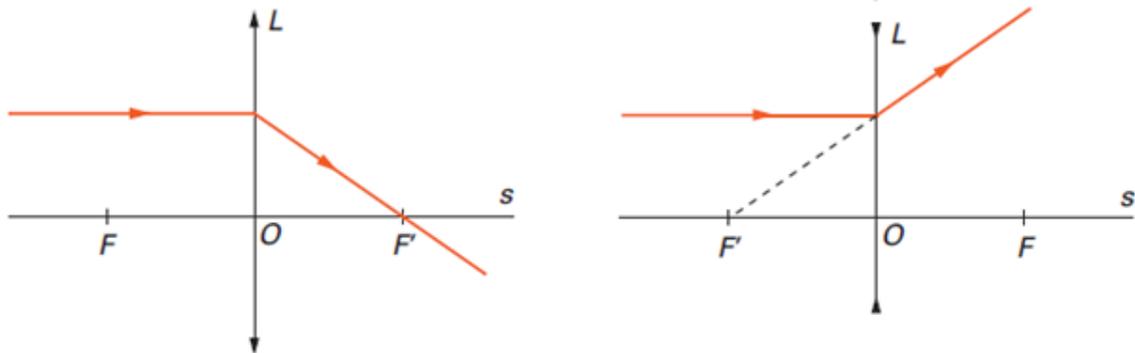
Fonte: Júnior, Ferraro, Soares, 2007.

4.2.5.3 Raios Notáveis

Raios notáveis são aqueles que têm seu comportamento óptico ao atravessar as lentes já conhecido, há três tipos principais de raios notáveis.

O primeiro ocorre quando a luz incide paralelamente ao eixo principal passando pela lente, assim emergindo da lente passando pelo foco imagem F' , vide Figura 31 (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007).

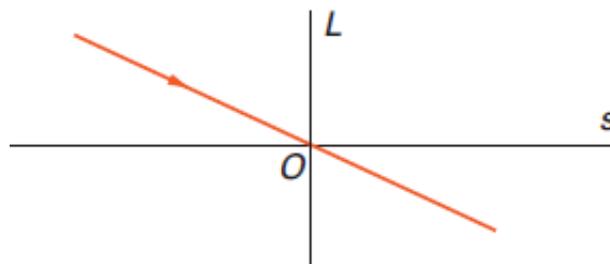
Figura 31 - Todo raio de luz que incide na lente e paralelamente ao seu eixo principal se refrata passando pelo foco imagem.



Fonte: Gaspar, 2013.

O posterior acontece quando o raio de luz incide pelo centro óptico O , ele passa pela lente e não sofre nenhum desvio, como se observa na Figura 32 (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007).

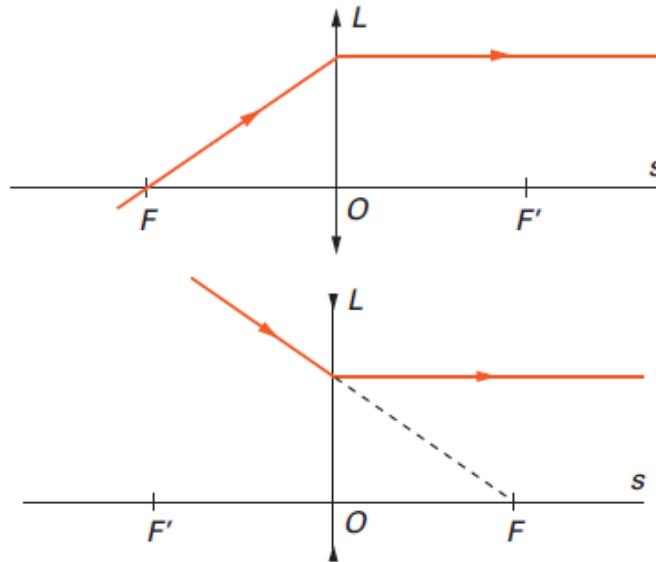
Figura 32 - Todo raio de luz que atravessa a lente passando pelo centro óptico (O) não sofre desvio.



Fonte: Gaspar, 2013.

O último se verifica quando a luz incide pelo foco objeto F , passa pela lente e emerge paralelamente ao eixo, que pode ser observado na Figura 33 (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007).

Figura 33 - Todo raio de luz que incide na lente passando pelo foco objeto se refrata paralelamente ao eixo principal.

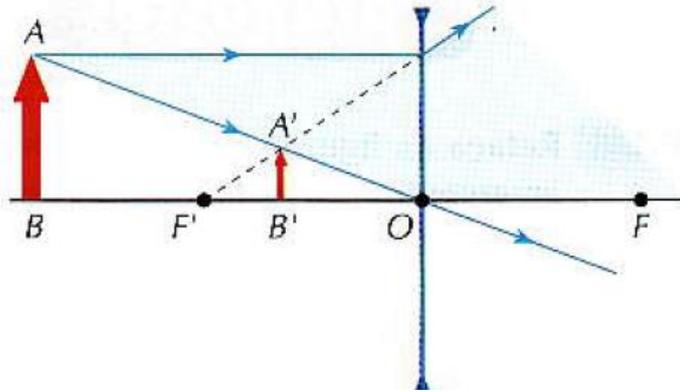


Fonte: Gaspar, 2013.

4.2.5.4 Construção Geométrica da Imagem

Nas lentes divergentes toda a imagem formada é sempre virtual, pois é formada a partir do prolongamento dos raios de luz, direita, pois tem sua formação no mesmo sentido do plano do objeto e menor que o objeto, conforme a Figura 34 (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007). Um exemplo da utilidade das lentes divergentes é o olho mágico utilizado nas portas.

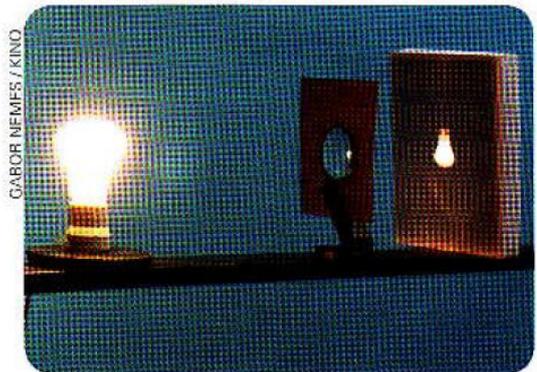
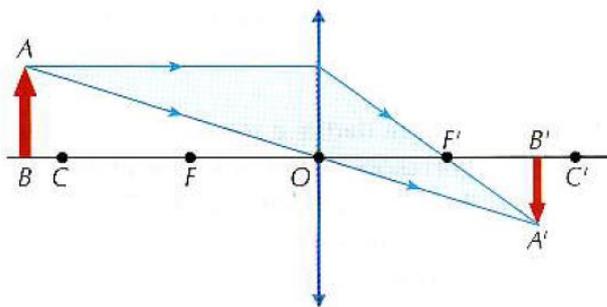
Figura 34 - \overline{AB} é um objeto real, isto é, objeto luminoso ou iluminado situado diante da lente.



Fonte: Júnior, Ferraro, Soares, 2007.

Já as lentes convergentes possuem cinco situações distintas onde o objeto pode estar localizado. Na primeira delas o objeto se encontra depois do ponto antiprincipal, tendo uma imagem real, invertida e menor que o objeto, conforme Figura 35 (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007). Lente utilizada em câmeras fotográficas.

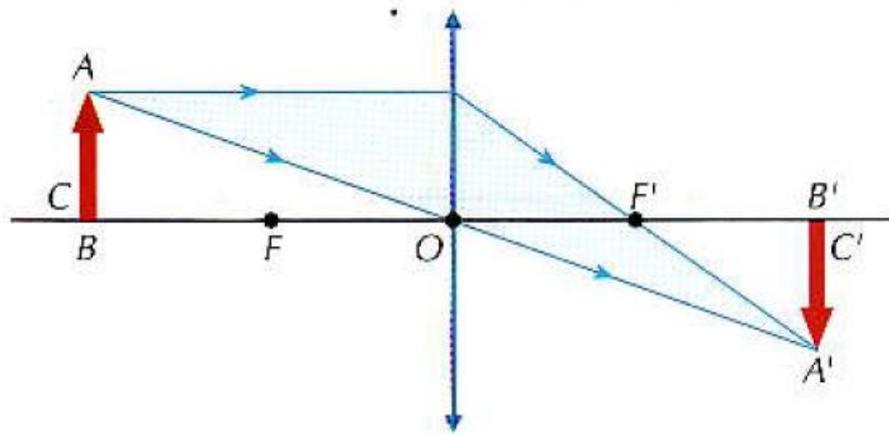
Figura 35 - Objeto real, situado após o ponto antiprincipal.



Fonte: Júnior, Ferraro, Soares, 2007.

No segundo caso, o objeto se localiza sobre o ponto antiprincipal, formando uma imagem real, invertida e do mesmo tamanho que o objeto, como ilustra a Figura 36 (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007). Um exemplo da utilização desse caso das lentes convergentes é a copiadora.

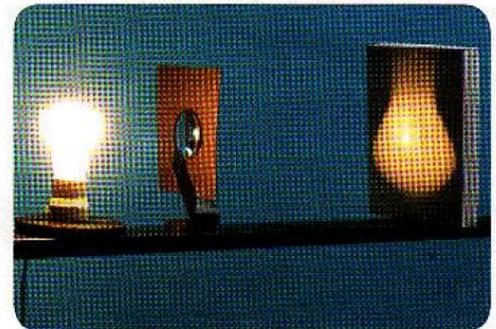
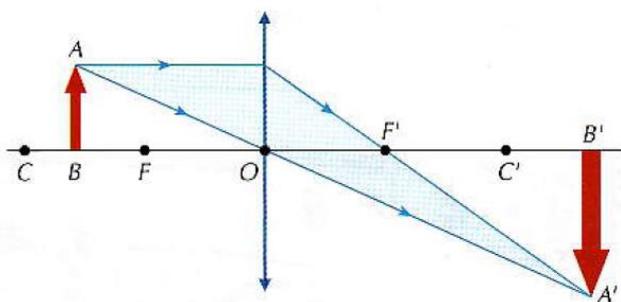
Figura 36 - Objeto real, situado sobre o ponto antiprincipal.



Fonte: Júnior, Ferraro, Soares, 2007.

O terceiro caso ocorre quando o objeto está situado entre o foco e o ponto antiprincipal, tendo uma imagem real, invertida e maior que o objeto, conforme a Figura 37 (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007). Lente utilizada em projetores de slides.

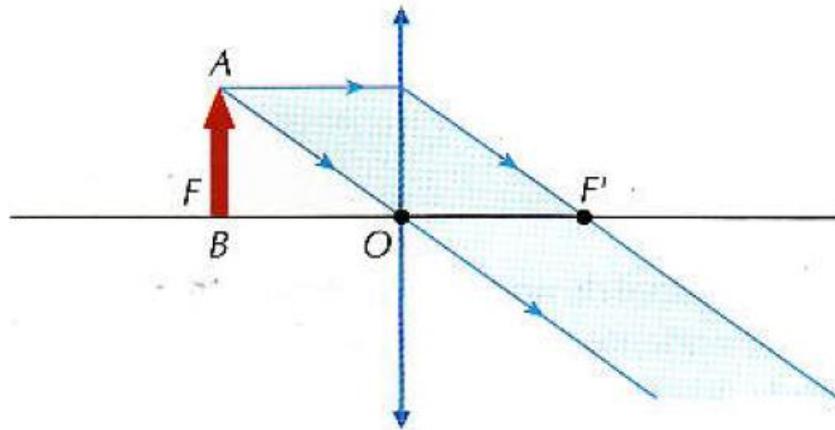
Figura 37 - Objeto real, situado entre o foco e o ponto antiprincipal.



Fonte: Júnior, Ferraro, Soares, 2007.

No quarto caso o objeto está localizado sobre o ponto focal, formando uma imagem imprópria, pois os raios de luz não se encontram e nem seus prolongamentos, como pode ser observado na Figura 38 (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007). Um exemplo do uso desse caso das lentes convergentes é o farol de um veículo.

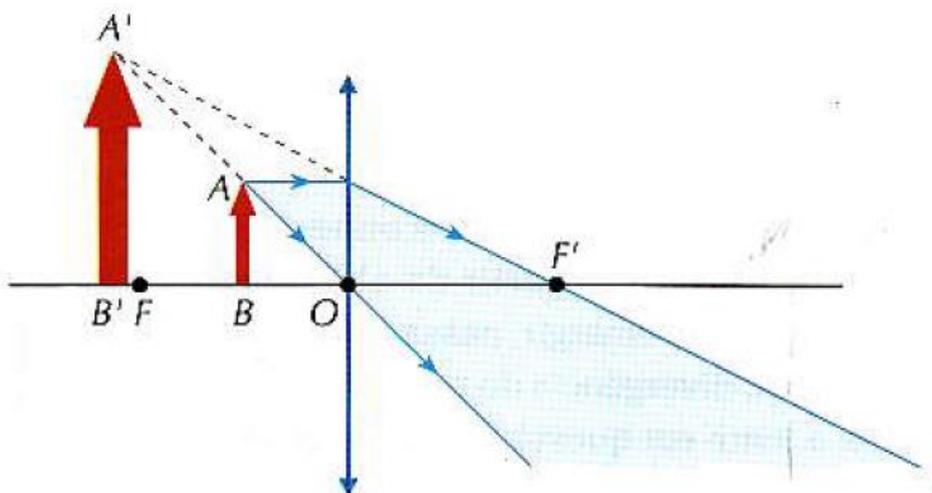
Figura 38 - Objeto real, situado sobre o foco.



Fonte: Júnior, Ferraro, Soares, 2007.

O último caso ocorre quando o objeto está situado entre o foco e o centro óptico da lente, formando uma imagem virtual, direita e maior que o objeto, como ilustra a imagem da Figura 39 (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007). Lente utilizada nas lupas.

Figura 39 - Objeto real, situado entre o foco e o centro óptico da lente.



Fonte: Júnior, Ferraro, Soares, 2007.

4.2.5.5 Convenção de Sinais

Para um estudo analítico das lentes algumas convenções de sinais foram adotadas tendo como referencial o eixo das abscissas do plano cartesiano, conforme estudado na seção gráfica de análise (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007).

Os referenciais estabelecidos definem que os objetos e imagens reais têm abscissas positivas e objetos e imagens virtuais têm abscissas negativas. Sendo assim, se considera a imagem formada real quando a abscissa da imagem (p') ou do objeto (p) for maior que zero, ou seja, $p' > 0$ ou $p > 0$, já a imagem ou o objeto virtual é quando $p' < 0$ ou $p < 0$ (GASPAR, 2013).

A imagem é considerada direita quando o tamanho da imagem formada (i) for maior que zero, ou seja, $i > 0$, e é considerada invertida quando $i < 0$ (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007).

4.2.5.6 Vergência das Lentes

A vergência de uma lente (ou convergência) pode ser entendida como “a medida da capacidade da lente de desviar a luz sobre ela incidente” (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007, p. 331).

Ela é encontrada calculando-se o inverso da distância focal, considerando sempre a distância focal em metros. Sua unidade de medida é a dioptria (di), como mostra a equação 8.

$$D = \frac{1}{f} \quad (8)$$

De acordo com o referencial de Gauss (convenção de sinais), a distância focal é maior que zero ($f > 0$) quando a lente é convergente e menor que zero ($f < 0$) quando a lente é divergente (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007).

4.2.5.7 Equação dos Fabricantes ou Equação de Halley

A distância focal f de uma lente pode ser determinada, como mostra a equação abaixo, a partir dos índices de refração da lente (n_2) e do meio (n_1) e dos raios de curvatura das faces da lente, onde a face convexa tem valor positivo e a face côncava tem valor negativo (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007). A Equação de Halley é descrita conforme equação 9.

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (9)$$

4.2.5.8 Equação de Gauss

A equação dos de Gauss ou equação dos pontos conjugados “relaciona a abscissa do objeto (p), a abscissa da imagem (p') e a distância focal da lente (f)” (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007, p. 333). Como mostra a equação 10 abaixo.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \quad (10)$$

4.2.5.9 Aumento Linear Transversal

O aumento linear transversal indica quantas vezes a imagem pode ser maior ou menor que o objeto. Sendo assim pode-se calcular diretamente esse aumento ou diminuição pela relação do tamanho da imagem e do objeto ou utilizando a relação entre suas abscissas. Também pode ser expresso em função da abscissa p em relação a distância focal f da lente. Com isso, tem-se três expressões que podem ser utilizadas para chegar ao resultado do aumento linear transversal como mostrado abaixo (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007).

$$A = \frac{i}{p} = -\frac{p'}{p} = \frac{f}{f-p} \quad (11)$$

Se o aumento transversal linear for positivo, ou seja, $A > 0$ a imagem é direita, caso $A < 0$ a imagem é invertida. Isso justifica o sinal negativo na fórmula quando se é utilizado o valor das abscissas (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007).

4.2.6 Microscópio Composto

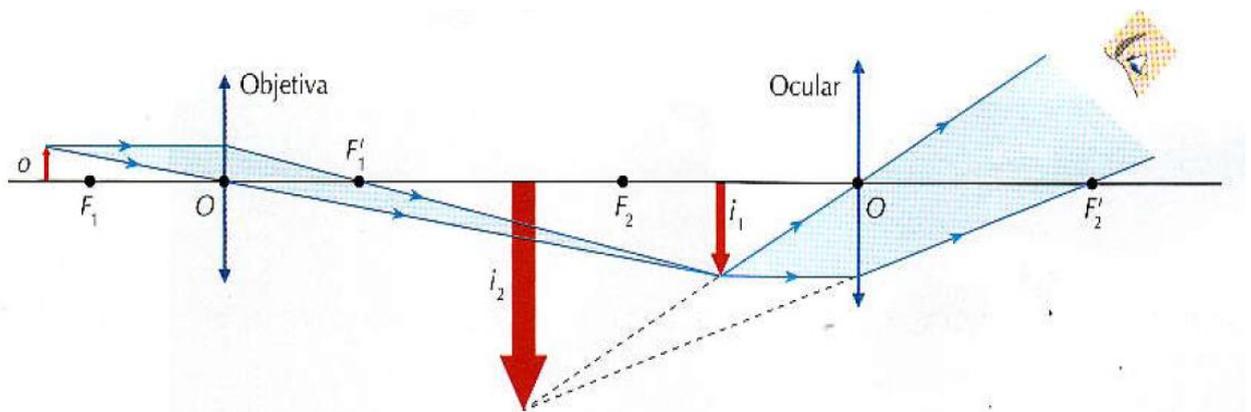
O microscópio composto é utilizado para ampliar objetos de pequenas dimensões. Assim como o telescópio refrator este equipamento possui, basicamente, duas lentes convergentes, a objetiva e a ocular (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007).

Sua lente objetiva possui o princípio de funcionamento do caso 3 das lentes convergentes, o objeto se localiza entre o foco e o ponto antifocal. Sendo assim, produz uma imagem real, invertida e maior que o objeto observado.

A lente ocular, tem como objeto a imagem formada pela lente objetiva, assim sua função é ampliar esta imagem para o observador, trabalhando como uma lupa de ampliação, formando uma imagem virtual, direita e maior que a primeira imagem formada pela objetiva, vide Figura 40. Resultando em uma imagem final invertida e maior que o objeto observado, sendo sua ampliação a multiplicação do valor de ampliação de cada uma das lentes (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007).

Para se saber a ampliação total do aparelho se multiplica a ampliação oferecida por cada lente do conjunto (GASPAR, 2013).

Figura 40 - Formação da imagem de um telescópio composto.



Fonte: Júnior, Ferraro, Soares, 2007.

4.2.7 Aberrações

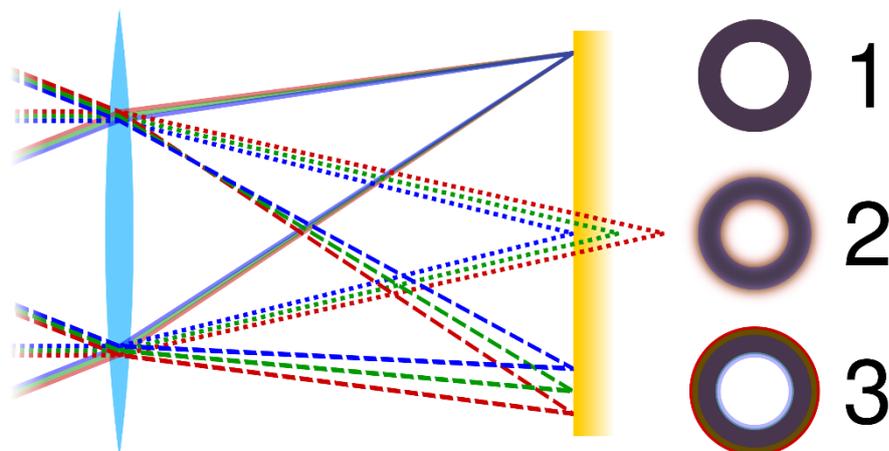
4.2.7.1 Aberração Cromática

Em aparelhos ópticos, como o microscópio composto, foram notados efeitos que diminuem a percepção e nitidez da imagem. Estes efeitos estão associados a um fenômeno chamado aberração cromática, que está ligada à luz policromática (PIONÓRIO; RODRIGUES JUNIOR; BERTUOLA, 2008).

A aberração cromática ou dispersão cromática de uma lente deriva do fenômeno da dispersão luminosa que é a separação da luz branca em diversas cores (componentes monocromáticos) após atravessar um determinado material, por exemplo, as lentes. Isso ocorre, pois, cada cor possui uma frequência de onda diferente da outra, por exemplo, a luz azul possui maior frequência que a luz vermelha (COURROL; PRETO, 2022).

Assim, os raios de luz sofrem desvios diferentes ao atravessarem um determinado material transparente, devido ao seu índice de refração, com isso seus pontos focais se diferem, sendo um ponto para cada comprimento de onda, como mostra a Figura 41. Como resultado, a imagem de um ponto é vista como um pequeno borrão (TOMMASELLI, 2009).

Figura 41 - Comparação com a imagem ideal (1), com aberração cromática axial (2) e com aberração cromática transversa (3).



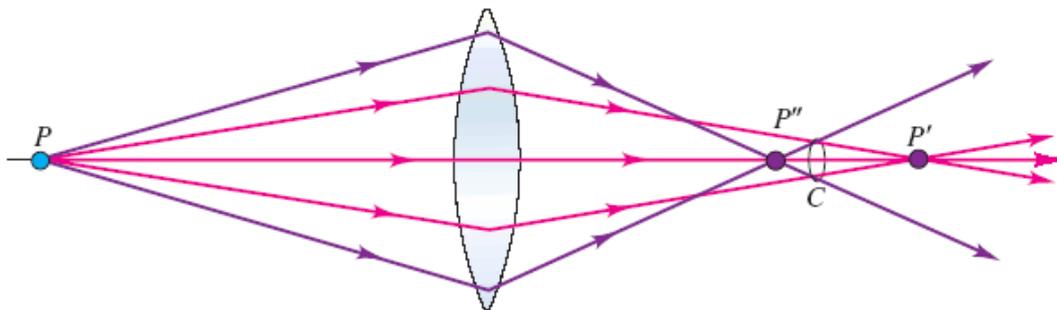
Fonte: CC Autor Cmglee.

4.2.7.2 Aberrações Geométricas

Com exceção da aberração cromática, as outras aberrações são chamadas de aberrações geométricas, são as principais: aberração esférica, coma, astigmatismo e distorção. Estas aberrações são analisadas utilizando as luzes monocromáticas (TOMMASELLI, 2009).

Na aberração esférica a imagem formada é sempre um círculo, vide Figura 42. “Os raios que atingem a lente em pontos afastados do eixo são muito mais refratados que aqueles que atingem a lente nas vizinhanças do eixo, o que faz com que nem todos os raios sejam focalizados num único ponto” (COURROL; PRETO, 2022, p. 87).

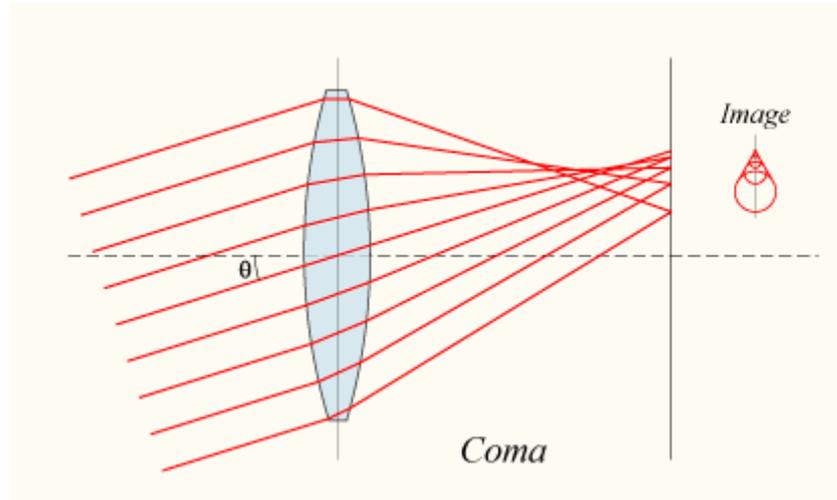
Figura 42 - Fenômeno da aberração esférica.



Fonte: Tommaselli, 2009.

Já a aberração coma, é assim chamada pois a imagem formada tem a forma de uma cauda de cometa, observa-se essa situação na Figura 43. “É produzido quando os raios de um ponto fora do eixo da lente passam através do perímetro da lente e são focados num anel deslocado radialmente do foco dos raios que passam no centro da lente” (COURROL; PRETO, 2022, p. 87).

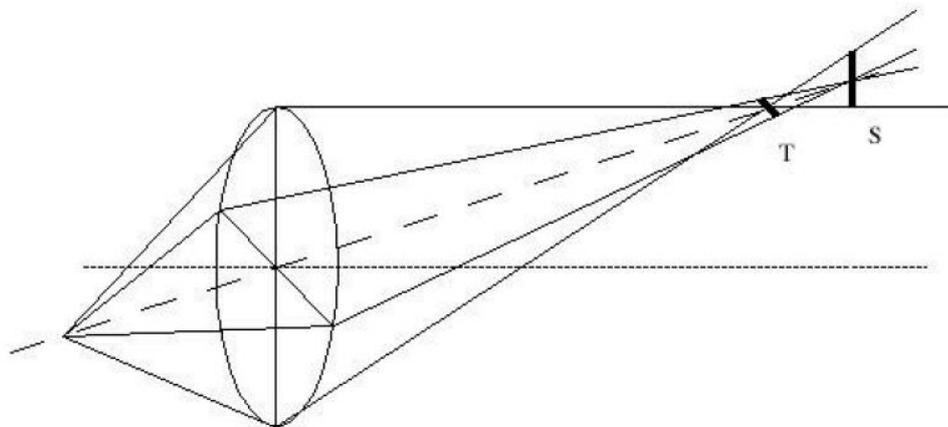
Figura 43 - Fenômeno da aberração coma.



Fonte: Tommaselli, 2009.

A aberração do astigmatismo se dá pela curvatura irregular da lente, onde os raios luminosos que incidem no plano horizontal possuem ponto focal de convergência diferente dos raios luminosos que incidem sobre o plano vertical, com isso é formado dois pontos focais da imagem, o que a deixa borrada, como observado na Figura 44, do Courrol e Preto (2022, p. 87) explicam o astigmatismo como “os raios luminosos que atravessam determinado plano da lente estão focados, já os raios luminosos de um outro plano não estão focados nesse mesmo ponto”.

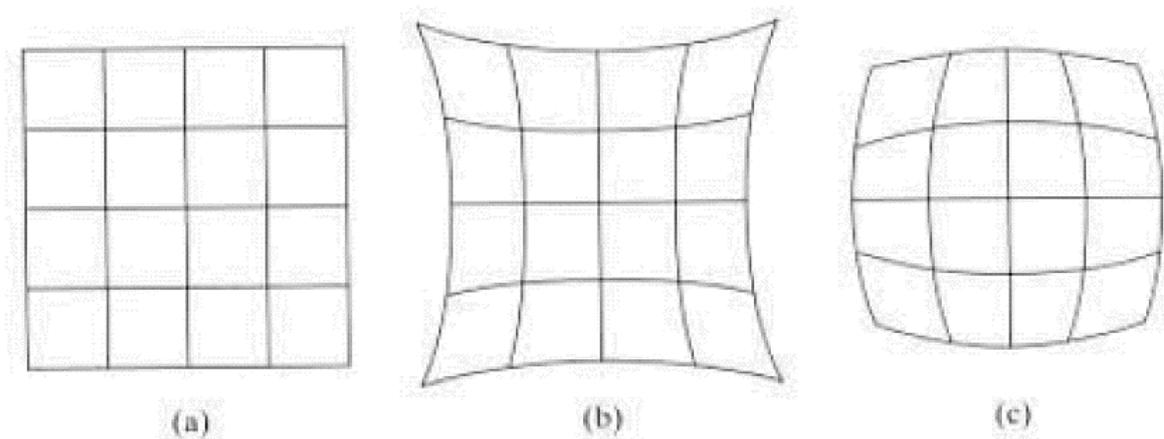
Figura 44 - Fenômeno da aberração de astigmatismo.



Fonte: Courrol; Preto, 2022.

Já a distorção provoca um desvio na trajetória dos raios que emergem da lente, provocando uma mudança radial na distância focal da imagem, isso “ocorre quando a ampliação da imagem depende do tamanho do ângulo incidente dos raios que passam pela lente. Neste caso observamos que linhas retas parecem curvas na imagem” (COURROL; PRETO, 2022, p. 87). Como pode ser observado na imagem da Figura 45.

Figura 45 - a) imagem normal; b) imagem com distorção negativa; c) imagem com distorção positiva.



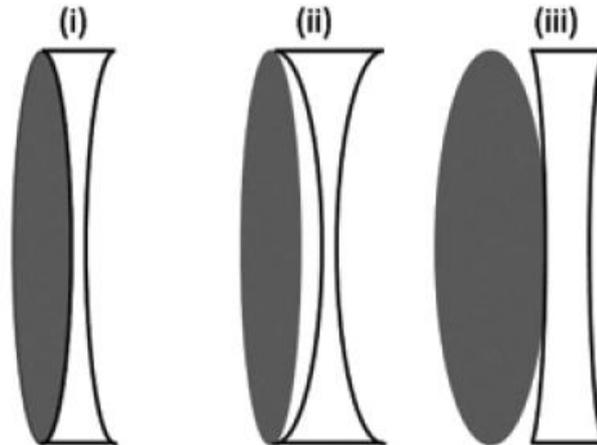
Fonte: Courrol; Preto, 2022.

4.2.8 Associações de Lentes

Para o desenvolvimento de diversos instrumentos óptico é necessária a associação de mais de uma lente para minimizar os efeitos das aberrações. Pode-se fazer um sistema composto de duas lentes esféricas convergentes, separadas por uma distância conveniente e previamente conhecida ou um sistema de lentes justapostas. Sendo que as lentes podem ter índices de refração distintos para alterar o ângulo de refração das cores (PIONÓRIO; RODRIGUES JUNIOR; BERTUOLA, 2008).

A Figura 46, mostra o caso de lentes justapostas, ou seja, não há espaço entre elas.

Figura 46 – Acoplamento de lentes.



Fonte: Pionório, Rodrigues Junior e Bertuola 2008.

A vergência (D) da lente equivalente à associação é igual à soma algébrica das vergências das lentes componentes, como mostra a equação 12 (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 2007).

$$D = D_1 + D_2 \quad (12)$$

Pode-se dizer então que:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \quad (13)$$

Para o caso de duas lentes separadas por uma distância (d), os valores usados para os índices de refração são 1,38 para o vermelho e 1,48 para o violeta. Admitiu-se conhecida, a priori, a Lei de Snell para refração que se pode calcular o valor da distância através da equação 14.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 \cdot f_2} \quad (14)$$

Quando se relaciona índices de refração temos o que se denomina de potência dispersiva (δ). Para se calcular essa potência dispersiva se utiliza a seguinte equação (PIONÓRIO; RODRIGUES JUNIOR; BERTUOLA, 2008)

$$\delta_1 = \frac{n_1^v - n_1^r}{n_1^a - 1} \quad (15)$$

Onde para se calcular a potência dispersiva da primeira lente (δ_1), utiliza-se os índices de refração do material da lente nas cores violeta (n_1^v), vermelha (n_1^r) e amarela (n_1^a). Para o cálculo da potência dispersiva da outra lente do conjunto, aplica-se o mesmo raciocínio.

A partir da potência dispersiva, obtém-se a distância (d) que minimiza os efeitos das aberrações a partir da equação 16. Onde se multiplica a distância focal da luz amarela da primeira lente (f_1^a) pela potência dispersiva da segunda lente (δ_2), somados a multiplicação da distância focal da luz amarela da segunda lente (f_2^a) pela potência dispersiva da primeira (δ_1), tudo isso dividido pelo somatório das potências dispersivas. (PIONÓRIO; RODRIGUES JUNIOR; BERTUOLA, 2008).

$$d = \frac{f_1^a \cdot \delta_2 + f_2^a \cdot \delta_1}{\delta_1 + \delta_2} \quad (16)$$

Ainda, para lentes justapostas a equação utilizando o limite na equação acima onde $d \rightarrow 0$, temos como resultado a equação abaixo (PIONÓRIO; RODRIGUES JUNIOR; BERTUOLA, 2008):

$$\frac{f_1^a}{\delta_1} = - \frac{f_2^a}{\delta_2} \quad (17)$$

4.3 CARACTERÍSTICAS DE CONSTITUIÇÃO DAS LENTES

Há descobertas de cristais de rocha moldados com capacidade de ampliar uma imagem desde 721 a.C. Porém, as lentes, só começaram a ser utilizadas e conhecidas em meados de 1280, com o surgimento dos óculos. Com a rápida evolução da utilização deste dispositivo, logo surgiram experimentos combinando diferentes lentes para aplicação em aumento de imagens, o que resultou na criação do primeiro microscópio composto (PEREIRA; MAIA, 2022).

As lentes que constituem os aparelhos ópticos modernos, sejam eles os óculos, microscópio simples, microscópio composto ou até o telescópio, podem ser compostas de diversos materiais. Dentre os principais materiais podemos citar o cristal, a resina e o policarbonato, há diversos critérios técnicos que diferenciam esses materiais, como conforto, espessura, peso, mas fundamentalmente podemos destacar seu índice de refração e número ABBE (PIMENTA, 2016).

No estudo sobre lentes, o índice de refração define a espessura da lente de cada material. Sendo que quanto maior a vergência da lente, popularmente chamada de grau da lente, maior é a espessura da mesma. Porém, essa espessura pode mudar dependendo do material utilizado em sua fabricação, sabendo que quanto maior o valor do índice de refração do material, mais fina será a espessura da lente (PIMENTA, 2016).

Já o valor ABBE, criado pelo físico alemão Ernest ABBE, inventor do refratômetro, instrumento de medição de índices de refração, é a forma de medir, em números, a aberração cromática que a luz sofre ao atravessar um determinado material. Quanto maior o valor ABBE, menor a dispersão das cores e maior a nitidez da imagem (LEITE, 2012).

As lentes de cristal ou vidro, como também são conhecidas, são as mais antigas, sendo utilizadas pelos egípcios desde a antiguidade até os dias atuais. Isso se dá ao fato de o vidro ter o maior índice de refração dentre os materiais do mercado atual, variando entre 1,52 a 1,90, garantindo assim, lentes com pequenas espessuras mesmo sendo de alta dioptria. Apesar das boas características desse material, ele exige cuidados maiores, pois é muito frágil e pequenos impactos podem quebrá-lo, além do fato de ser mais pesado quando comparado aos outros materiais (NEIVA, 2021).

Quando se trata de materiais para lentes, quanto maior o índice de refração, mais densa é a lente. Conforme as lentes vão ficando mais densas e mais finas, devido ao alto índice de refração, maior é o desvio da luz quando a mesma passa pelas lentes dos óculos. Quanto maior é esse desvio, maior é a dispersão das cores. É por isso que quanto maior o índice de refração de uma lente, menor será o valor ABBE (LENSCOPE, 2018, [s.p.]).

Sendo assim, as lentes de cristal possuem um número ABBE que variam entre 30 a 32 (LEITE, 2012).

Uma grande inovação na fabricação das lentes, foram as lentes de resinas orgânicas, material similar a um tipo de plástico, que podem ser encontradas com diferentes índices de refração, variando de 1,49 a 1,74. Diferente das lentes de vidro, esse material é mais resistente a quebras, porém pode ser riscado facilmente, sendo necessário cuidado em seu manuseio (LEITE, 2012; NEIVA, 2021). Tendo seu valor ABBE variando entre 36 a 58. Dentre as lentes de resina comercializadas nos dias atuais, pode-se destacar a CR-39 e a Trivex.

A lente de resina de orgânica chamada de acrílico CR-39, nome dado devido ao polímero utilizado na fabricação das mesmas, são lentes com boa resistência e que possuem baixo índice de refração de 1,49 ou 1,50, o que deixa as lentes mais espessas. Seu valor ABBE é 58, tendo uma baixa dispersão cromática (LENSCOPE, 2018; LENSOCPE 2019).

Já a lente Trivex, é constituída de um material chamado Trivex, que é uma fusão de polímeros de alta resistência, com características similares ao policarbonato, mas com algumas vantagens adicionais, como maior resistência a impactos e menor distorção óptica. Possui índice de refração igual a 1,53, o que as tornam mais finas, e número ABBE é de 43, considerado um bom valor no nível da aberração cromática (LENSCOPE, 2019).

Há também lentes de resina que possuem o mesmo índice de refração e o mesmo número ABBE que a Trivex, ambas as lentes são leves e resistentes, mas as lentes de Trivex são geralmente consideradas mais resistentes a impactos e riscos do que as lentes de resina 1,53 (PIMENTA, 2016; NEIVA, 2021).

As lentes de policarbonato possuem o menor valor de ABBE permitido, por volta de 31, o que faz dele dentre todos os materiais o de mais baixa qualidade. A aberração cromática que acontece devido ao baixo valor ABBE, é encontrada com mais intensidade nas periferias da lente, sendo o centro menos afetado por esse fenômeno. Seu índice de refração é de 1,59, não sendo uma lente muito espessa para

maiores vergências quando comparada as lentes de resina. O policarbonato possui uma boa resistência a quebras, porém elementos químicos como álcool e acetona podem causar rachaduras nas lentes quando utilizados na limpeza, por exemplo (LEITE, 2012; PIMENTA, 2016).

Na Tabela 2, pode-se observar o índice de refração e o número ABBE de mais materiais utilizados na fabricação de lentes (LEITE, 2012).

Tabela 2 - Materiais para lentes: Convencionais e Alternativos.

Material da lente	Índice de refração	Gravidade Específica	Abbe Value**
Vidro coroa	1,52	2,54	58
Vidro de alto índice	1,6	2,73	42
Vidro de alto índice	1,7	2,99	32
Vidro de alto índice	1,8	3,37	25
Vidro de alto índice	1,9	4,02	30
CR 39	1,5	1,32	58
Trivex	1,53	1,11	43
Spectralite	1,54	1,21	47
Plástico de alto índice	1,55	1,28	38
Plástico de alto índice	1,56	1,42	39
Plástico de alto índice	1,57	1,17	36
Policarbonato	1,59	1,2	31
Plástico de alto índice	1,6	1,34	37
Plástico de alto índice	1,66	1,22	42
Plástico de alto índice	1,71	1,35	32
Plástico de alto índice	1,74	1,4	36

Fonte: Adaptado de Leite, 2012.

Pode-se ainda classificar as lentes pelo seu formato geométrico, que são as lentes esféricas e as asféricas. As lentes esféricas são as que possuem uma curvatura proporcional ao longo da lente, ou seja, uma curvatura esférica. Já as asféricas, que são lentes que possuem uma forma não-esférica, ou seja, sua curvatura ao longo da lente é variável, sendo significativamente mais finas nas extremidades do que na parte central. São mais adequadas para dioptrias mais altas, por conta de sua forma

geométrica, além de corrigir distorções e melhorar a qualidade da imagem. Estas lentes podem ser fabricadas em diversos materiais a depender da finalidade de seu uso (LENSCOPE, 2018).

4.4 IMPRESSORA 3D

A impressão 3D, é formalmente conhecida como manufatura aditiva, por adicionar material para a criação de uma peça, o que vai de sentido oposto a fabricação comum, que é a manufatura subtrativa, onde o material é retirado para a formação da peça (WILTGEN, 2019). “Em outras palavras, significa tornar físico, camada por camada, um objeto material a partir de um arquivo digital, projetado tridimensionalmente em um computador” (PAIVA; NOGUEIRA, 2021, p. 195).

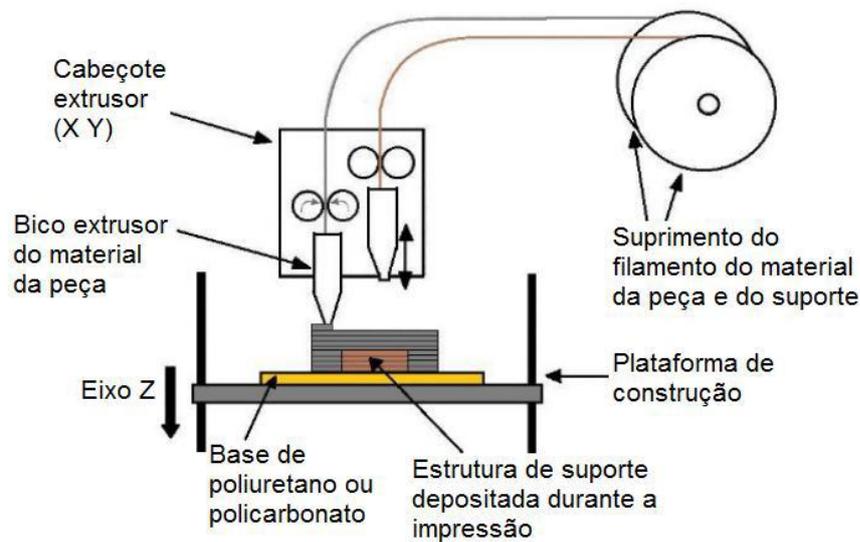
Essa técnica que está sendo cada vez mais difundida e possui grandes benefícios, como um menor desperdício de material, devido sua forma de fabricação, a não necessidade de montagens, soldas e outros aspectos construtivos utilizados em uma fabricação tradicional (NISHIMURA et al., 2016).

Além de reduzir o custo com o método de fabricação, sob o ponto de vista científico, há a facilitação da confecção de protótipos, agilizando testes e correções de forma mais simples e rápida, o que gera maior facilidade em avanços tecnológicos (WILTGEN, 2019). Um exemplo de prototipagem é a que foi feita neste trabalho, pois sem o auxílio da tecnologia da manufatura aditiva teria sido inviável a realização dos testes e projeto conforme foi feito.

As impressoras são diferenciadas principalmente pelo material que elas utilizam para a realização da impressão. As principais tecnologias existentes no mercado hoje são: FDM (*Fused Deposition Modeling*), SLA (*Stereolithography*) e a SLS (*Selective Laser Sintering*) (DEC, 2016).

Impressoras com tecnologia FDM, Modelagem de Deposição Fundida, são impressoras que utilizam como matéria-prima filamentos derivados do plástico. Trabalham com o princípio do derretimento do material e depósito deste em cima de uma mesa aquecida, onde o bico extrusor, local onde sai o filamento derretido, e a mesa se movimentam nos três eixos, x, y e z, assim, construindo a peça, como mostra a Figura 47 (PAIVA; NOGUEIRA, 2021).

Figura 47 - Exemplo de funcionamento do processo FDM.



Fonte: Dec, 2016.

Este tipo de impressora 3D, é um dos mais difundidos do mercado, isso se deve a alguns fatores, entre eles se destacam o seu baixo custo, são geralmente menos onerosas quando comparada a outras tecnologias, possuem grande variedade de materiais e dispõem de pouca complexidade para uso (PAIVA; NOGUEIRA, 2021).

Apesar de suas grandes vantagens, a depender da aplicação esse tipo de fabricação se torna inviável, por ser um processo mais demorado de fabricação ao comparado com a manufatura subtrativa, pois se limita ao tempo que o bico extrusor, gasta para depositar o material (DEC, 2016).

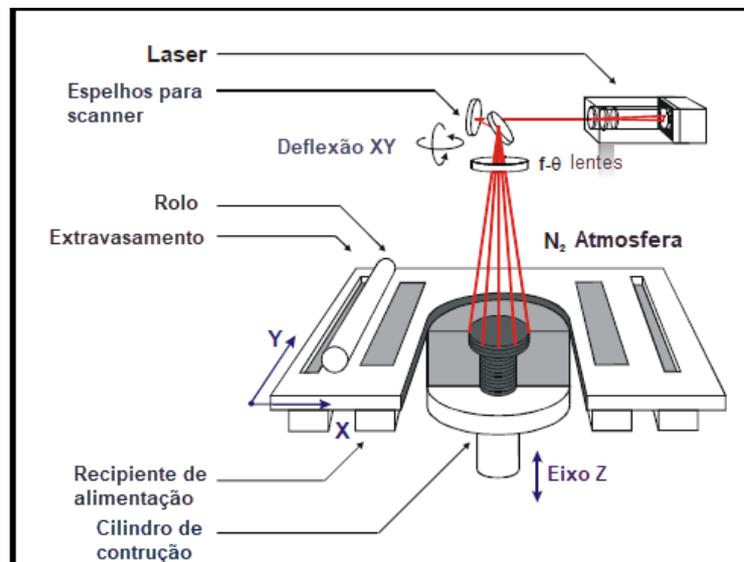
Já impressoras do tipo SLA, que utilizam a tecnologia da Estereolitografia, tem como sua matéria-prima a resina líquida. Esta resina é colocada em um reservatório, onde uma luz ultravioleta, entra em contato com a resina, em intensidade e posições programadas através de espelhos, formando camada por camada, assim agindo como um catalisador. Acima desse reservatório há uma plataforma que se movimenta no eixo y, onde a resina catalisada começa a se aderir a ela, conforme a plataforma se movimento na vertical o produto vai se formando abaixo dela (PAIVA; NOGUEIRA, 2021).

Essa técnica em geral, quando comparada aos custos da tecnologia FDM é mais onerosa, porém possui um acabamento melhor e mais preciso. Sendo assim, é utilizada predominantemente nas áreas da odontologia, joalheria, e outras que necessitam de maior precisão e acabamentos mais lisos. (PAIVA; NOGUEIRA, 2021).

A tecnologia SLS, Sinterização Seletiva a Laser, utiliza um laser para aquecer e sinterizar um material em pó que é colocado no reservatório, similar ao funcionamento da tecnologia SLA, a impressora forma o produto através da solidificação do material, mas neste caso em pó, que já é pré-aquecido pela impressora, como pode-se observar na Figura 48. Como diferencial este tipo de impressão não necessita de suportes, já que ao invés da peça subir conforme vai sendo impressa, seu reservatório desce para a impressão das próximas camadas, assim a peça fica submersa no próprio pó, possibilitando assim, a impressão de peças mais complexas (KRUTH et al., 2005).

Com alta precisão e acabamento, esta técnica passa por uma limpeza de ar comprimido e um lixamento para melhor acabamento ao término do processo, podendo esse pó sobressalente, que pode ser de diversos materiais como nylon, cerâmica e areia de fundição, ser reutilizado na próxima impressão. Esse tipo de impressão possui grande difusão na área industrial, como indústrias automobilísticas e aeronáuticas (PAIVA; NOGUEIRA, 2021).

Figura 48 – Modelo típico de impressão SLS.



Fonte: Adaptado de Kruth et al., 2012.

Alguns processos de prototipagem podem ter seus custos reduzidos em até 82% quando utilizado a prototipagem rápida. Esses dados foram retirados através de um estudo de casos reais de uma determinada indústria automotiva por Zier et al. (2019), comparando o processo de prototipagem feito por processo de manufatura

aditiva, utilizando a tecnologia FDM com a manufatura subtrativa, através de usinagem e fundição.

4.4.1 Impressora 3D com tecnologia FDM (Modelagem de Deposição Fundida)

A impressão FDM (*Fused Deposition Modeling*), explicada na seção anterior, é uma das tecnologias de impressão 3D mais comuns e acessíveis. Dentro dessa tecnologia temos diversos modelos e fabricantes (PAIVA; NOGUEIRA, 2021).

As impressoras podem se classificar devido aos materiais que utilizam para sua impressão, se tem sua estrutura aberta ou fechada e ainda pelos facilitadores de impressão que possui (acessórios), como a velocidade de impressão, suporte e garantia de fábrica, sensor de fim de filamento, nivelamento automático, ruído no momento da impressão, mesa magnética, precisão na impressão, dentre outras características que permite uma impressão mais simples e confortável. Outra característica muito importante é a área de impressão que o equipamento possui, pois ela define os limites de tamanho do projeto a ser impresso (DEC, 2016).

Cada tipo de impressora, devido as suas características, possui categorias de filamentos que podem ser utilizados, por exemplo, para filamentos ABS, que possui uma boa resistência mecânica, a impressora deve ter sua área de impressão fechada, pois a temperatura e umidade do ar podem atrapalhar as condições de impressão para esse material (DEC, 2016).

Uma outra característica da impressora que limita o tipo de filamento utilizado é a temperatura do *hotend*, parte da impressora responsável por derreter o filamento, pois há filamentos que necessitam de temperaturas relativamente altas para o derretimento do material. Um exemplo, é o filamento tritan que necessita de uma temperatura em torno de 280°C para seu derretimento, esse filamento não é comumente utilizado, sua área de uso é para produtos que precisam resistir a altas temperaturas (BOLELLI; LEBRÃO, 2019).

Dentre os materiais possíveis de utilização em impressoras FDM, pode-se destacar o PLA (Ácido Polilático), o ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno), o PET (Tereftalato de Polietileno), o PETG (Polietileno Tereftalato Glicol), Poliamida (nylon), entre outros. Sendo o PLA e o ABS os dois mais difundido para amplos usos (PAIVA; NOGUEIRA, 2021).

O material PLA é um polímero sintético, biodegradável, que se destaca pela sua facilidade de uso no momento de impressão. Esse material pode ser utilizado em impressoras abertas, ou seja, não há problemas enquanto ela está executando a tarefa ocorram pequenas variações de temperatura e umidade do ar. Não necessariamente ele precisa ser usado em mesa aquecida, pode ser usado também em impressoras mais simples utilizando cola para fazer a aderência da peça à mesa (REGADAS, 2017).

O seu valor de mercado quando comparado a outros materiais pode ser um pouco mais oneroso, e nesse mesmo sentido de comparação, sua resistência mecânica, térmica e química não é a mais alta. Ele precisa de uma temperatura em torno de 200°C para seu derretimento, temperatura essa não considerada alta para os parâmetros de impressão (REGADAS, 2017).

Já o ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno), plástico feito à base de petróleo, quando comparado ao PLA tem um custo mais baixo e é um material mais resistente mecanicamente e termicamente, porém possui baixa resistência a solventes. É o material mais comum depois do PLA (ZIER et al., 2019).

A particularidade deste material é que ele não é indicado para trabalhar em impressoras abertas, ou seja, ele não pode estar sujeito a correntes de ar enquanto estiver executando a impressão. Isso ocorre devido a este tipo de plástico ser muito volátil a temperatura, podendo sofrer dilatação ou contração com pequenas variações de temperatura e umidade no ar. Há também a preocupação do local da impressão ser ventilado, pois durante a impressão este polímero gera pequenas quantidades de gases tóxicos (PEREIRA, 2019).

Ele necessita de uma temperatura maior da impressora para seu derretimento, em torno de 230°C, e a mesa para aderência da peça deve ser aquecida. (REGADAS, 2017). As desvantagens de trabalhar com temperaturas mais altas tanto para seu derretimento, quanto para a mesa de impressão é o consumo maior de energia elétrica para realizar o trabalho e o desgaste que ocorre em maior velocidade dos componentes da impressora, como o bico injetor (PEREIRA, 2019).

5 METODOLOGIA

Este trabalho aborda uma pesquisa experimental qualitativa. Segundo Gil (2002, p. 47), “a pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto”. O cunho qualitativo ao contrário da pesquisa quantitativa, que utiliza métodos estatísticos e se baseia em dados numéricos, utiliza métodos como entrevistas, observação participante, análise de documentos e busca capturar a complexidade e a subjetividade dos fenômenos estudados, permitindo uma compreensão mais profunda das questões pesquisadas (GIL, 2002).

O objetivo é o desenvolvimento de um protótipo que seja capaz de ampliar a região do colo uterino durante o exame de colposcopia e mostrar a imagem através de um *smartphone*, tendo como objetivo o baixo custo para atender as mais amplas regiões geográficas.

A realização deste trabalho se deu através de pesquisas aprofundadas no assunto, e o suporte nas questões médicas das doutoras Rosekeila Simões Nomelini e Priscila Thais Silva Mantoani. A proposta é um aparelho de baixo custo, tendo sua estrutura fabricada em impressora 3D com materiais periféricos de fácil acesso. Foi usada uma combinação de lentes para alcançar a ampliação necessária para a visualização da região do colo do útero, sendo o resultado mostrado em um *smartphone* para o profissional que estará conduzindo o exame de colposcopia podendo assim fazer um eventual registro do exame.

5.1 MODELAGEM E IMPRESSÃO

Este projeto foi modelado e desenvolvido no software SolidWorks, programa utilizado para modelagem 3D o qual a autora já possui conhecimento prévio. É um software pago, a versão utilizada foi a 2021, a autora contou também com o auxílio do Engenheiro Renato Bruno Silva, para o desenvolvimento do projeto. O SolidWorks possibilita a criação de projetos de engenharia e desenhos de peças e componentes em duas ou três dimensões, também é capaz de fazer simulações de movimento, gerar desenhos técnicos e documentação para fabricação.

A tecnologia utilizada de impressora 3D foi a FDM (*Fused Deposition Modeling*), seu baixo custo a torna acessível para usuários domésticos e pequenas empresas, possui materiais de mais fácil acesso tanto financeiramente quanto na questão de quantidade de opções para compra e também detém grande disponibilidade no mercado, o que ajuda o usuário a encontrar informações para uso e manuseio (seção 4.3).

O modelo da impressora utilizada para impressão das peças do projeto foi a Ender 3. Este aparelho se destaca por seu tamanho e custo, sendo uma impressora muito utilizada por usuários de pequeno porte, o que facilita o acesso a impressora e materiais para resolução de possíveis dúvidas.

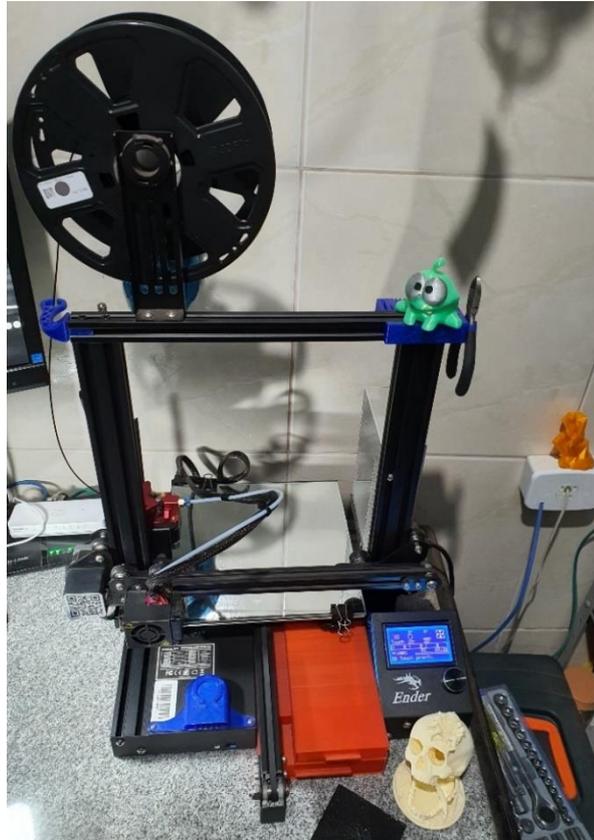
É uma impressora aberta, ou seja, não possui uma câmara fechada para impressão, porém é fácil encontrar gabinetes de diversos materiais para vender avulso para fechar a área de impressão, o que facilita o trabalho com o polímero ABS.

Sua mesa é aquecida e também pode se optar pela opção de trabalhar com cola para adesão ao invés do aquecimento. A área de impressão possui 220x220x250mm, mas através de testes conclui-se que o é melhor, para evitar que a peça se deforme, desenvolver peças que, no máximo, utilizem em torno de 70% do tamanho da mesa.

Segundo a 3Dlab Soluções em Impressões 3D (2022), empresa especializada em comércio de impressora 3D e seus acessórios, a Ender 3, conforme mostra a Figura 49, possui as seguintes características principais:

- Tecnologia de Impressão: FDM;
- Área útil de impressão: 220 x 220 x 250mm;
- Velocidade máxima de impressão: 100mm/s
- Temperatura máxima da mesa: 110 °C
- Temperatura máxima do extrusor: 255°C;
- Resolução máxima de impressão: 50 microns (0,05mm);
- Precisão de impressão: $\pm 0,1$ mm.

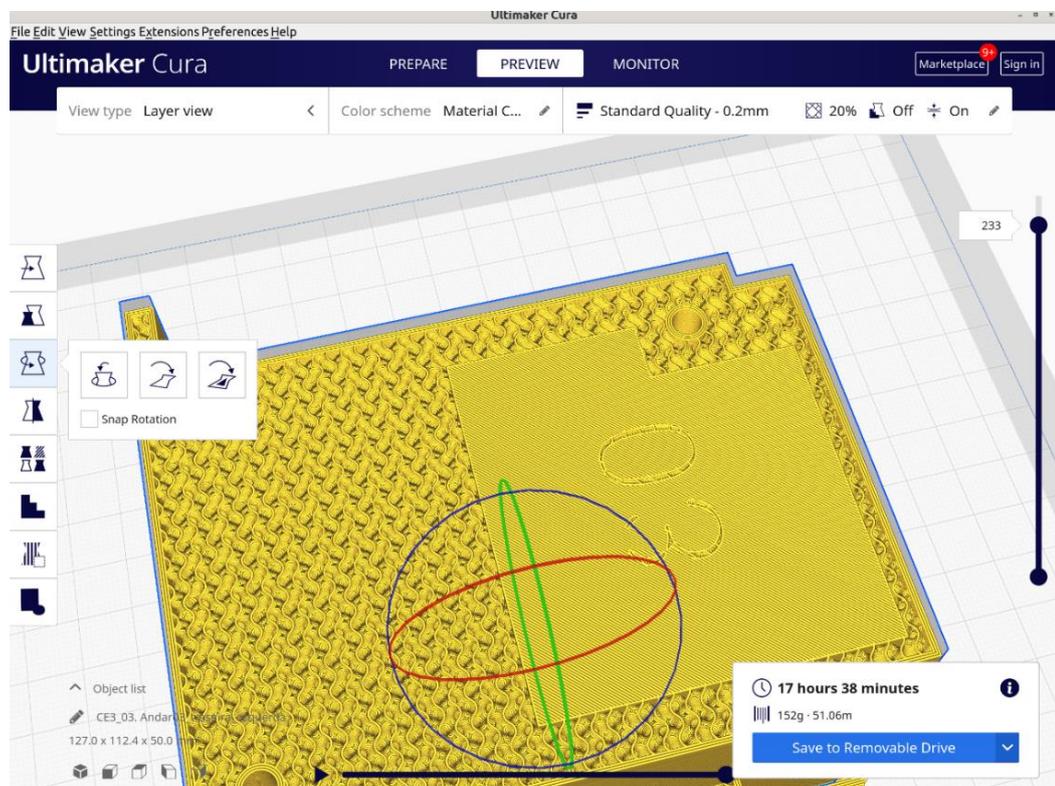
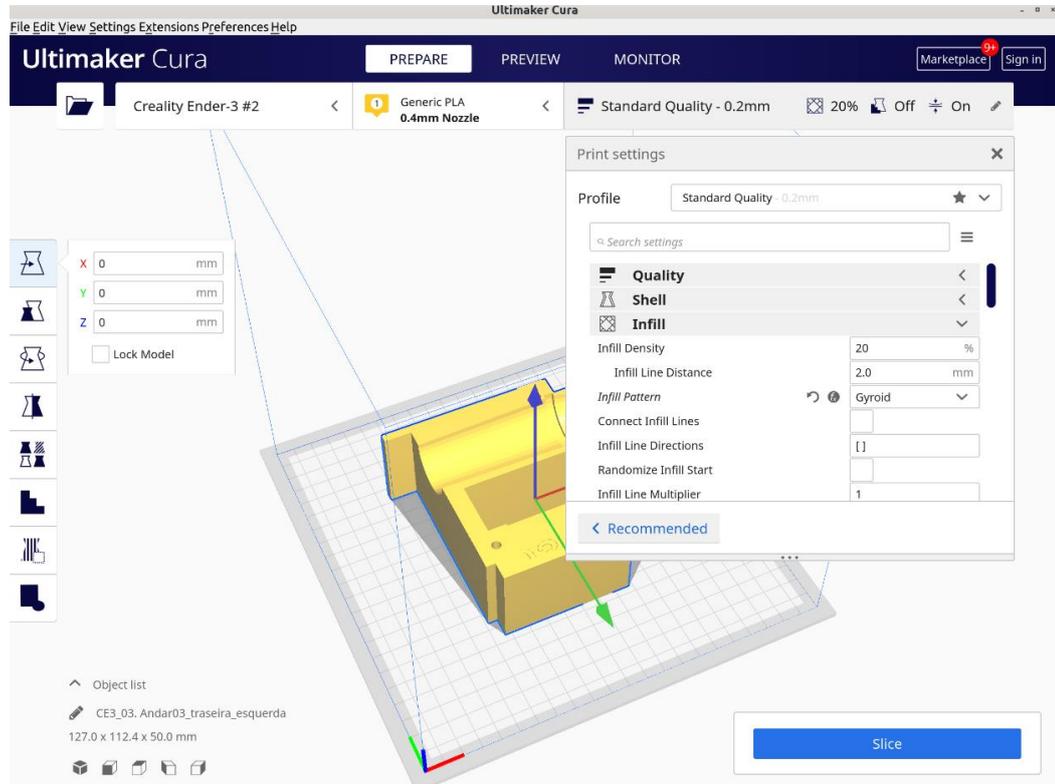
Figura 49 – Foto impressora Ender 3.



Fonte: Da Autora, 2023.

Durante o processo do projeto foram sempre observados os limites para as dimensões das peças devido a impressora escolhida. Também houve um cuidado com a geometria do desenho, para que a peça pudesse sempre que possível ser impressa com uma área de sustentação razoável e assim utilizar a menor quantidade de suportes possível. Suportes são materiais impressos somente para dar sustentação da peça com a mesa, depois do elemento impresso os suportes são retirados e descartados. A Figura 50 mostra a simulação da impressão de uma das peças utilizando o *software* Ultimaker Cura, na versão 5.1.1, programa gratuito, onde se consegue dimensionar como será o preenchimento, quantidade de camadas para paredes, visualização de suportes, tempo de impressão, peso do material, entre várias outras configurações.

Figura 50 – Simulação da impressão no Cura.



Fonte: Da Autora, 2023.

O material utilizado na impressão foi o PLA (Ácido Polilático), pois é biodegradável, tem custo acessível, possui uma maior gama de modelos de impressoras que trabalham com esse material, tendo em vista ainda que ele não necessita que a impressora tenha cabine fechada para impressão e atende as necessidades mecânicas do projeto.

5.2 PROCESSO DE PROTOTIPAGEM

O processo de prototipagem se iniciou com os cálculos para definição das lentes de baixo custo e fabricadas com material acessível, que conseguisse a ampliação necessária para que a visualização do colo uterino fosse possível.

Após a definição inicial das lentes iniciou-se o processo de ideação da estrutura para o protótipo, o material de que iria ser constituída, sua forma para atender as necessidades de distanciamento entre lentes e a distância entre o profissional que iria conduzir a sessão do exame com o paciente.

Em entrevista com um profissional da área foi levantado alguns requisitos para que o modelo fosse funcional, os principais são:

- ampliação de imagem de 10 a 16 vezes;
- o aparelho deve ter uma distância entre o local que o médico irá visualizar a imagem e a paciente razoável para que o profissional consiga fazer coleta de material para biópsia;
- a lente objetiva deve ficar a uma distância de trabalho, ou seja, a uma distância do colo do útero de 200 a 300mm;
- iluminação branca, para que possa ser possível a clara visualização da mudança de cor das células cancerígenas e células saudáveis quando há reação química entre a mucosa do colo uterino e os reagentes aplicados pelo médico;
- ajuste de foco fino, para que pequenas diferenças de distâncias entre lentes sejam corrigidas;
- ajuste de posição, para regulação da distância entre a lente objetiva e a paciente e também para que o equipamento possa se locomover pelo consultório, trazendo assim maior facilidade de posicionamento;

- ajuste de altura, pois a altura da mesa e da cadeira do profissional podem variar;
- desenvolver o protótipo com o menor custo possível para que possa se ter ampla aplicação, como o objetivo proposto.

Como a estrutura do protótipo foi impressa em impressora 3D, surge mais uma condição que o projeto teve para seguir, que é a dimensão da mesa de impressão utilizada e as limitações da impressora. Foi escolhida para uso uma das impressoras mais difundidas no mercado e com custo relativamente baixo.

Durante o processo de desenvolvimento da pesquisa, foram desenvolvidos um modelo para ideação (chamado de protótipo 0) e outros três protótipos, sendo o terceiro apresentado como o resultado final deste trabalho.

5.2.1 Estrutura e Lentes para Formação da Imagem

5.2.1.1 Ideação - Protótipo 0

Este aparelho trabalha com o princípio de funcionamento de um microscópio composto (seção 4.2.6.5), porém sua principal diferença é a distância de trabalho, ou seja, a distância entre a lente objetiva e o objeto a ser observado que deve estar entre 200 a 300mm. Um dos Desafios do projeto é a utilização de combinações de lentes fabricadas com material de fácil acesso e com um custo baixo para que seja possível a ampliação necessária a essa distância de trabalho.

A priori, no processo de ideação, para os primeiros testes das lentes dimensionadas, foram utilizados tubos de PVC com seus periféricos para testar a distância entre lentes, a nitidez da formação da imagem e sua ampliação.

Neste processo, o diâmetro da lente objetiva foi embasado em um estudo empírico do colposcópico comercial, considerada com diâmetro de 55mm. Já o diâmetro da lente ocular, assim como o diâmetro do caminho que a imagem iria percorrer, seguiu o valor estimado para a objetiva.

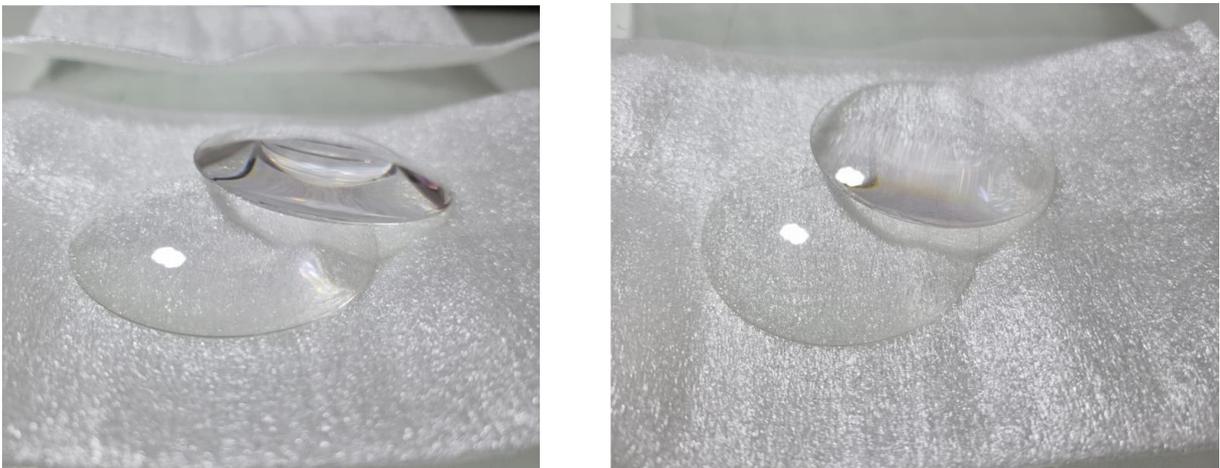
Para a escolha do material das lentes foi analisado o policarbonato e o acrílico CR-39, pois são os materiais mais difundidos com um bom custo-benefício (seção 4.3). Em um primeiro momento foi adotada as lentes feitas de policarbonato, esta

escolha se deu devido a este material conseguir ter dioptrias maiores com menores espessuras.

Para o cálculo de vergência da lente objetiva, foi considerada a distância de trabalho de 250mm e o ponto focal de 150mm, onde ponto focal é o valor que o objeto na refração da luz ficará entre o foco e o antiprincipal. Utilizando as equações de Gauss (Equação 10) e do aumento linear transversal (Equação 11), chega-se em uma lente com dioptria de +6,5di e com ampliação de 1,6 vezes.

Para a dioptria da lente ocular, utilizou-se o maior valor de vergência possível para este material que é +10di, a fim de chegar à ampliação desejada. A posição dessa lente em relação a imagem formada pela lente objetiva foi de 80mm de distância, este valor deriva de testes e cálculos para que se obtivesse a melhor ampliação possível. Assim, a ampliação dessa lente ficou de 5 vezes. A Figura 51, mostra as lentes reais que foram adquiridas para os testes.

Figura 51 – Lentes utilizadas no processo de Ideação.



Fonte: Da Autora, 2021.

Com essas características a distância total entre lentes foi de 480mm com uma ampliação total de 8 vezes. A Figura 52 mostra as peças desenvolvidas em vista explodida e a Figura 53, mostra o modelo real montado.

Figura 52 – Protótipo 0: Vista explodida.



Fonte: Da Autora, 2021.

Figura 53 – Protótipo 0: Modelo para Ideação.



Fonte: Da Autora, 2021.

Neste processo notou-se algumas inconsistências, como o comprimento total do modelo que ficou inviável, pois o profissional que irá desenvolver o exame ficaria muito longe da paciente, tornando a punção para coleta de material não acessível. Essa distância leva em consideração o valor entre paciente e lente ocular que é de

250mm, o comprimento entre lentes que é 480mm e a distância entre a lente ocular e seu ponto focal (Equação 08) que é de 100mm. Com isso tendo um comprimento total entre o colo uterino e a visualização da imagem final formada de 830mm. Além disso, a ampliação total de 8 vezes não atende as necessidades do exame.

Outro aspecto a mudar foi a cor interna do tubo, mesmo sendo escuro houve perda na reflexão de luz. Houve também a inversão do objeto observado, o que é o normal no processo de formação de imagem de um microscópio composto, sendo necessário assim desenvolver uma forma de baixo custo para desinverter a imagem formada, pois nos microscópios, lunetas e outros aparelhos onde essa condição é presente normalmente utiliza-se um prisma para a correção deste princípio.

Com relação a lente ocular, notou-se que a tubulação após a lente ficou com tamanho menor que a distância entre a lente e seu ponto focal, que é de 100mm, o que fez com que imagem não tivesse nitidez e a mesma ficou desfocada, ou “embaçada”.

Com esses dados extraídos dos testes realizados, deu-se início ao processo de concepção de um sistema de curvas, projetadas em modelos para impressora 3D, com a utilização de espelhos para a reflexão da imagem, e assim a diminuição da distância entre médico e colo uterino. As Figuras 54 e 55 mostram alguns testes feitos nesse processo.

Figura 54 – Testes feitos utilizando ângulos de reflexão.



Fonte: Da Autora, 2021.

Figura 55 – Testes feitos com os tubos em preto.



Fonte: Da Autora, 2021.

5.2.1.2 Protótipo 1

Neste protótipo, para resolver o problema da distância entre paciente e médico foi aplicado o princípio da reflexão da luz em espelhos planos (seção 4.2.2), para que assim fosse possível fazer o caminho da formação da imagem em curvas, podendo com isso aumentar a distância entre lentes sem que o médico ficasse muito longe do colo uterino.

A quantidade de espelhos e a disposição física entre eles foram desenvolvidas de forma a conseguir também a inversão da imagem gerada, para que ela voltasse a posição real do objeto. Para isso foram feitos cálculos e testes, colocando os espelhos em diferentes ângulos e posições, baseados nas leis da física (seção 4.2.3), chegando-se à conclusão de um total de quatro espelhos em ângulos de 45°, sendo três desses espelhos fazendo a reflexão da imagem na horizontal e um fazendo a reflexão na vertical.

Na primeira versão do protótipo 1, no que tange as lentes foram adotadas lentes confeccionadas em resina 1,50 também chamada de acrílico CR-39, material esse que apesar de ter um número ABBE (58) maior que as lentes de policarbonato (31), o que as torna mais espessas, possui um melhor índice de refração (1,50), o que ajuda a amenizar o fenômeno da aberração cromática (seção 4.2.7.1), observado no protótipo 0. Além disso, seu valor comercial é menor quando comparado a lente de policarbonato.

Com o intuito do aumento da ampliação, a distância entre lentes desse modelo sofreu um aumento, isso foi possível devido a geometria que o aparelho foi idealizado. Devido a isso os cálculos de vergências das lentes foram alterados. Para o cálculo de dioptria da lente objetiva, foi considerada a distância de trabalho igual ao do modelo anterior de 250mm, através de testes, mudou-se o ponto focal para 182mm, percebendo que com esse valor se conseguia melhor resultado na ampliação da lente. Com isso, chegou-se a uma lente com dioptria de +5,5di, com uma ampliação de 2,7 vezes.

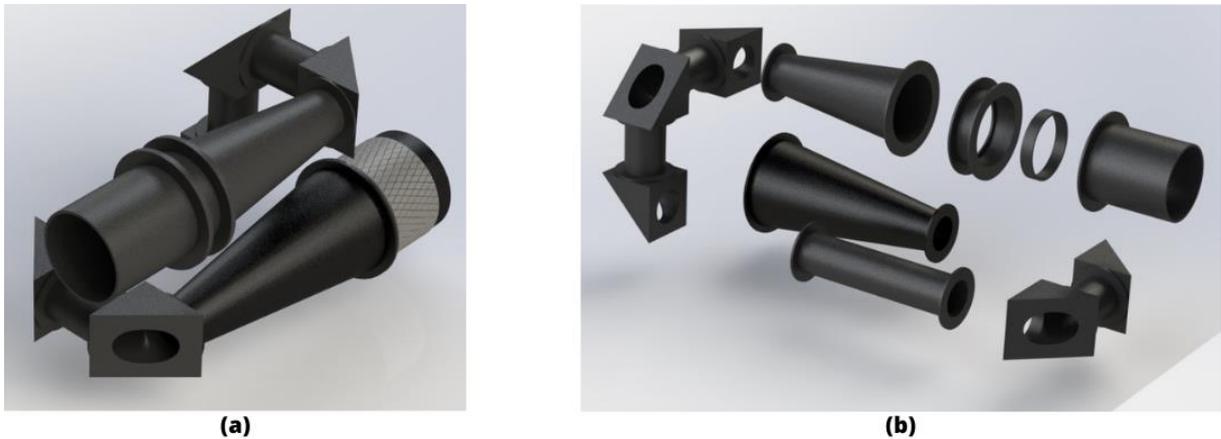
Já para a lente ocular foi mantida a vergência calculada no modelo anterior, +10di, com uma pequena alteração na sua posição em relação a imagem formada pela primeira lente, 85mm, conseguindo assim, uma ampliação de 6,7 vezes.

Com essas características a distância total entre lentes foi de 755mm com uma ampliação total de 16,7 vezes, atendendo a especificação de ampliação proposta.

Já a estrutura deste modelo foi idealizada utilizando tubos em curvas, conforme Figura 56 (a), que mostra o modelo montado e a Figura 56 (b), que mostra o modelo em vista explodida. Nota-se que a primeira peça após a lente objetiva e a última peça antes da lente ocular são em formato de cone, isso se deve já que a lente possui 55mm de diâmetro e caso os tubos ficassem com essa dimensão o espaço ocupado pelas curvas seriam bem maiores o que deixaria o tamanho do aparelho inviável. Nesta modelo houve a correção do comprimento da tubulação após a lente ocular, pois no modelo anterior este estava fora do ponto focal.

O conjunto onde a lente objetiva está localizada possui um ajuste de foco que será explicado em seção posterior, assim como a estrutura da base onde o modelo será acoplado. Também será mostrado posteriormente o suporte para celular que irá encaixado no protótipo próximo ao ponto focal da lente ocular.

Figura 56 – Projeto Protótipo 1: Primeira versão.



Fonte: Da Autora, 2021.

Através da análise do projeto e alguns testes, notou-se alguns problemas com este modelo, como o diâmetro da lente ocular, agora com a posição da tubulação localizada após a lente ajustada corretamente no ponto focal, ainda assim ocorria problemas com entrada de luz e perda de nitidez. Analisando os testes e o contexto da montagem, concluiu-se que o diâmetro da lente ocular ficou desproporcional em relação ao diâmetro da câmera do celular e também para a visualização a olho nu, contribuindo para a distorção na imagem.

Observou-se também, que devido ao novo formato do protótipo ele ficou sem sustentação nas partes superiores e na base, assim como uma dificuldade para se encaixar o espelho no modelo.

Sendo assim, na segunda versão o protótipo 1, houve uma mudança do diâmetro da lente ocular de 55mm para 25mm, mantendo-se a mesma dioptria e o mesmo material utilizado.

Fisicamente as lentes de policarbonato, utilizada no protótipo 0, e de acrílico CR-39, utilizada neste modelo, são bem similares, como mostra a Figura 57, sendo perceptível sua diferença quando se observa a sua espessura e peso.

Figura 57 – Lentes utilizadas no Protótipo 1.



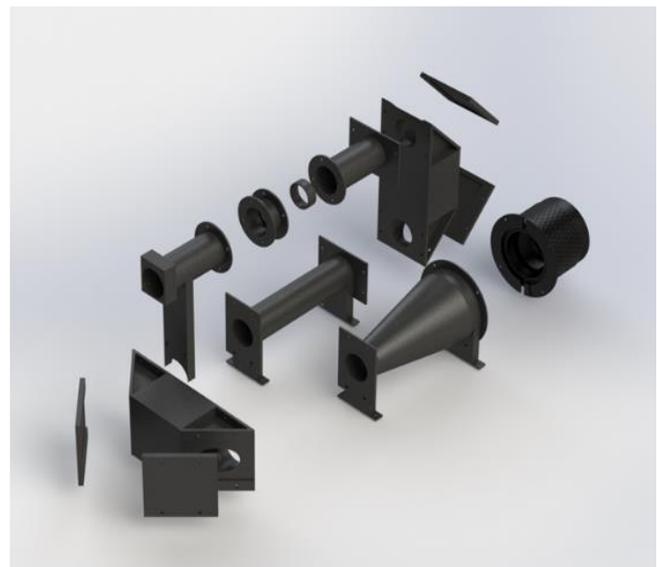
Fonte: Da Autora, 2021.

A fim de corrigir os problemas de constituição da primeira versão, a segunda versão do protótipo 1 foi idealizado como mostra a Figura 58 (a), modelo montado e a Figura 58 (b), modelo em vista explodida. Todas as peças foram impressas com filamento da cor preta para minimizar as perdas de imagem na reflexão da luz, que ocorreu no protótipo 0. Além disso foi projetada formas de sustentação para as tubulações e um melhor encaixe para os espelhos.

Figura 58 – Projeto Protótipo 1.



(a)



(b)

Fonte: Da Autora, 2021.

Neste projeto também houve alguns percalços, o primeiro deles foi a impressão do protótipo, a forma geométrica, e os detalhes das peças dificultou o processo de impressão, precisando de muitos suportes de impressão (5.1.1) e deixando as peças com baixa resistência mecânica. O design desenvolvido também não ficou agradável, deixando todos os detalhes do projeto expostos, pouco profissional. A Figura 59, mostra as peças impressas.

Figura 59 – Protótipo 1.



Fonte: Da Autora, 2021.

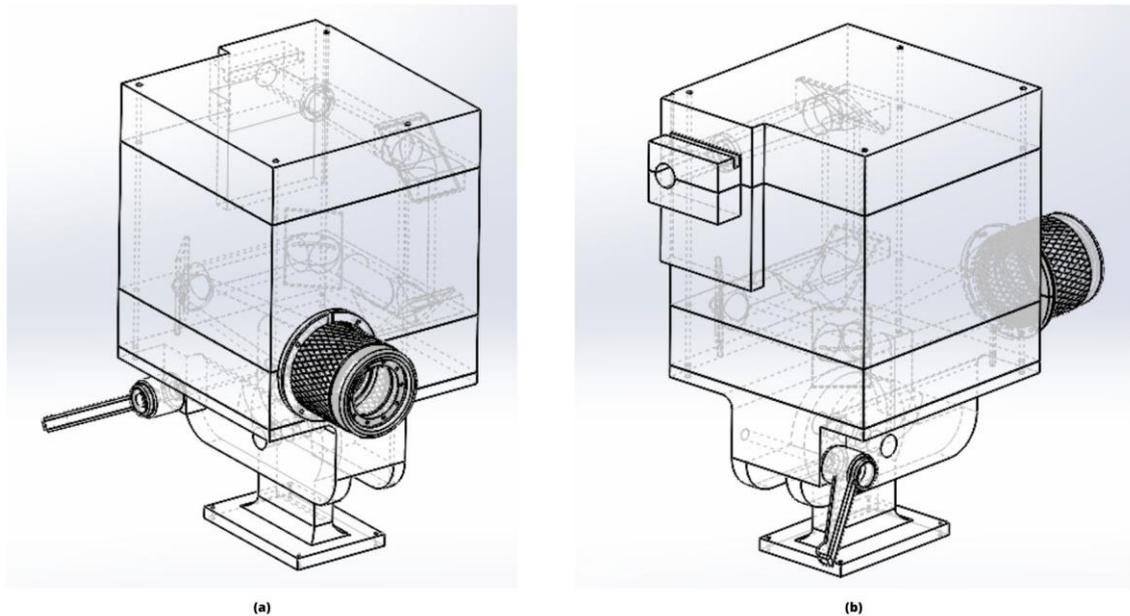
5.2.1.3 Protótipo 2

Com o intuito de sanar os problemas encontrados durante os testes do protótipo anterior, iniciou-se o desenvolvimento do protótipo 2. Para este modelo foi pensada uma estrutura mais fechada, onde a impressão fosse facilitada, aumentando também a resistência mecânica do aparelho e ao mesmo tempo não deixando o processo de formação da imagem exposto.

As lentes utilizadas para os testes deste modelo foram as mesmas do protótipo anterior, compostas em acrílico CR-39, a lente objetiva com diâmetro de 55mm e vergência de +5,5di e para lente ocular o diâmetro de 25mm e vergência de +10di. Neste novo modelo, foi mantida também a distância entre lentes (755mm), bem como a ampliação total (16,7 vezes).

Com isso, chegou-se ao projeto da Figura 60, apresentando a vista externa e interna do Protótipo 2, primeira versão.

Figura 60 – Projeto do Protótipo 2: primeira versão.

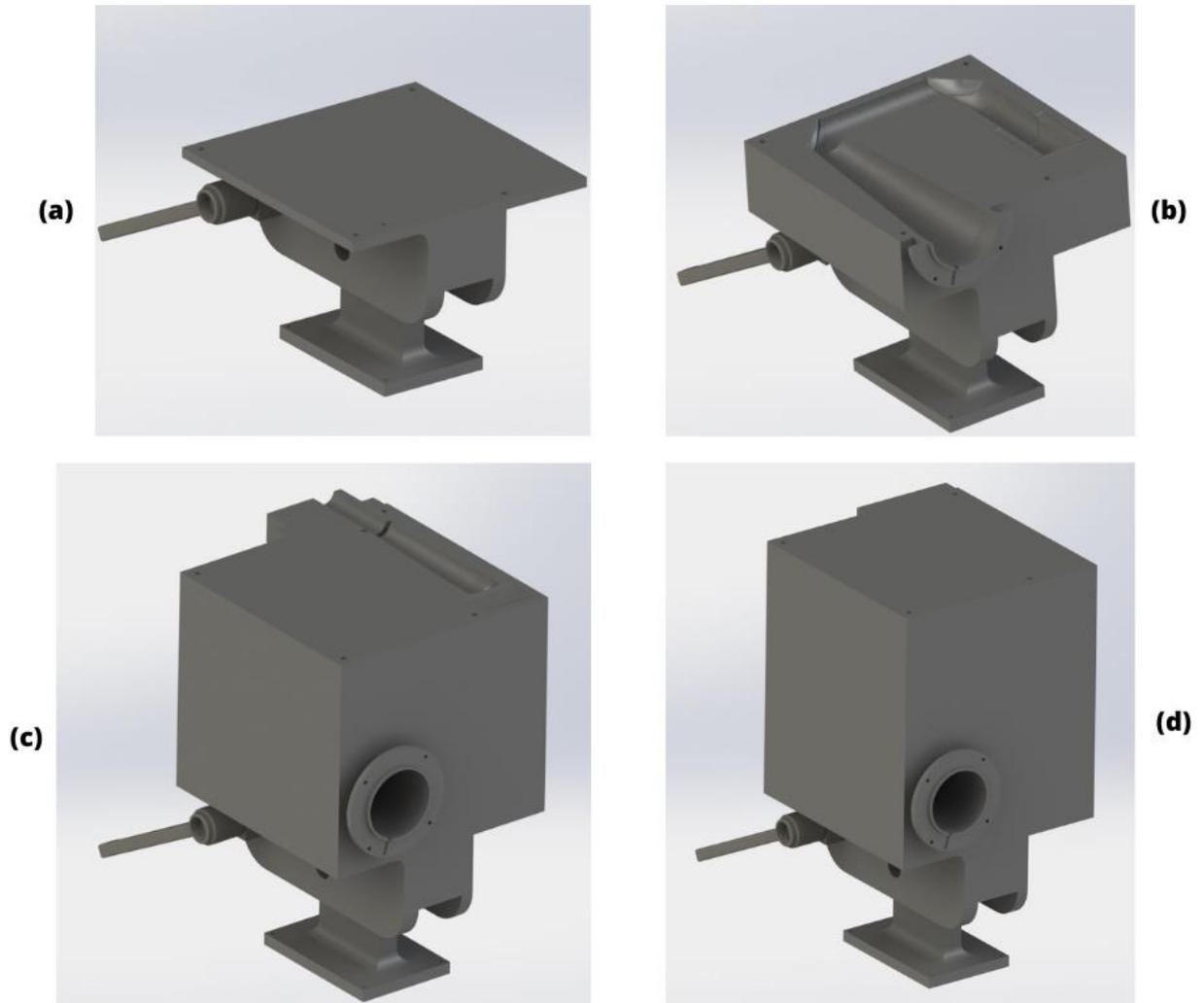


Fonte: Da Autora, 2022.

Também foi desenvolvida uma alavanca para que o responsável pelo procedimento possa movimentar o equipamento na vertical, ou posicioná-lo da melhor forma possível, assim o encaixe do corpo do protótipo com sua base ficou móvel. O modelo foi dividido em um andar para a conexão com a base e outros três andares que fazem o caminho que a luz irá percorrer com seus respectivos encaixes para os espelhos e a lente ocular, já a lente objetiva se encontra no conjunto de ajuste de foco que será explanado posteriormente.

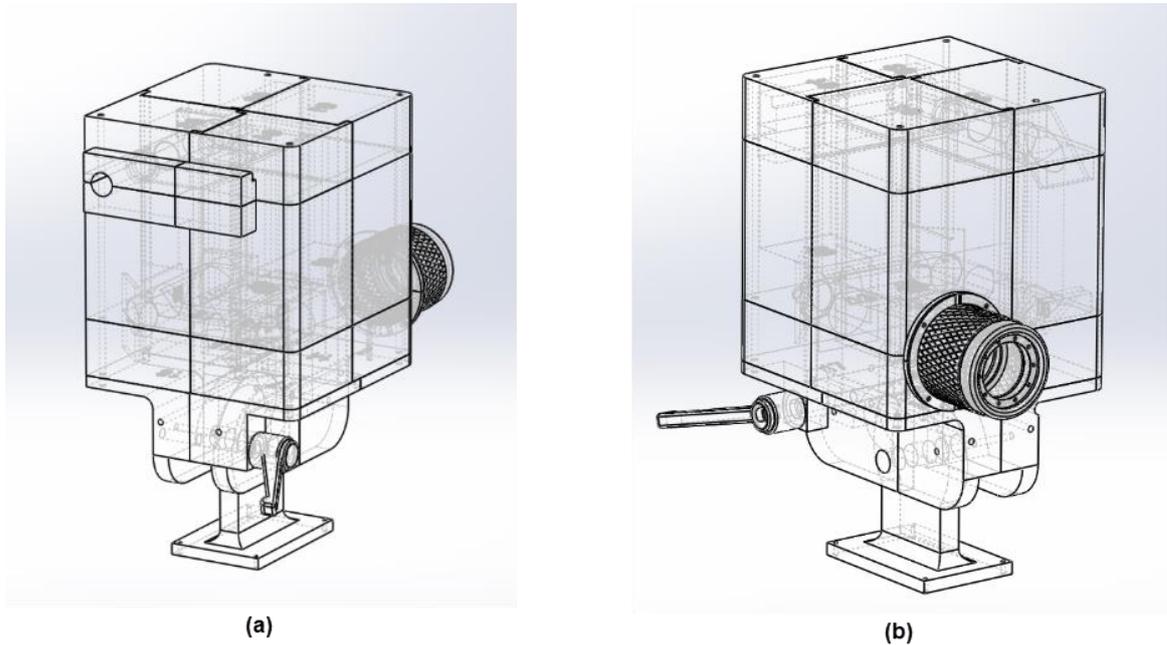
Abaixo é possível visualizar as imagens do projeto em cortes horizontais de cada nível do modelo. A Figura 61 (a) corte do andar para conexão com a base (andar 0), Figura 61 (b) corte do primeiro andar montado com o andar inferior (andar 0 e andar 1), Figura 61 (c) corte do segundo andar montado com os andares inferiores (andar 0, andar 1 e andar 2) e Figura 61 (d) corte do terceiro andar montado com os andares anteriores (andar 0, andar 1, andar 2 e andar 3).

Figura 61 – Projeto do Protótipo 2 em cortes horizontais – primeira versão.



Fonte: Da Autora, 2022.

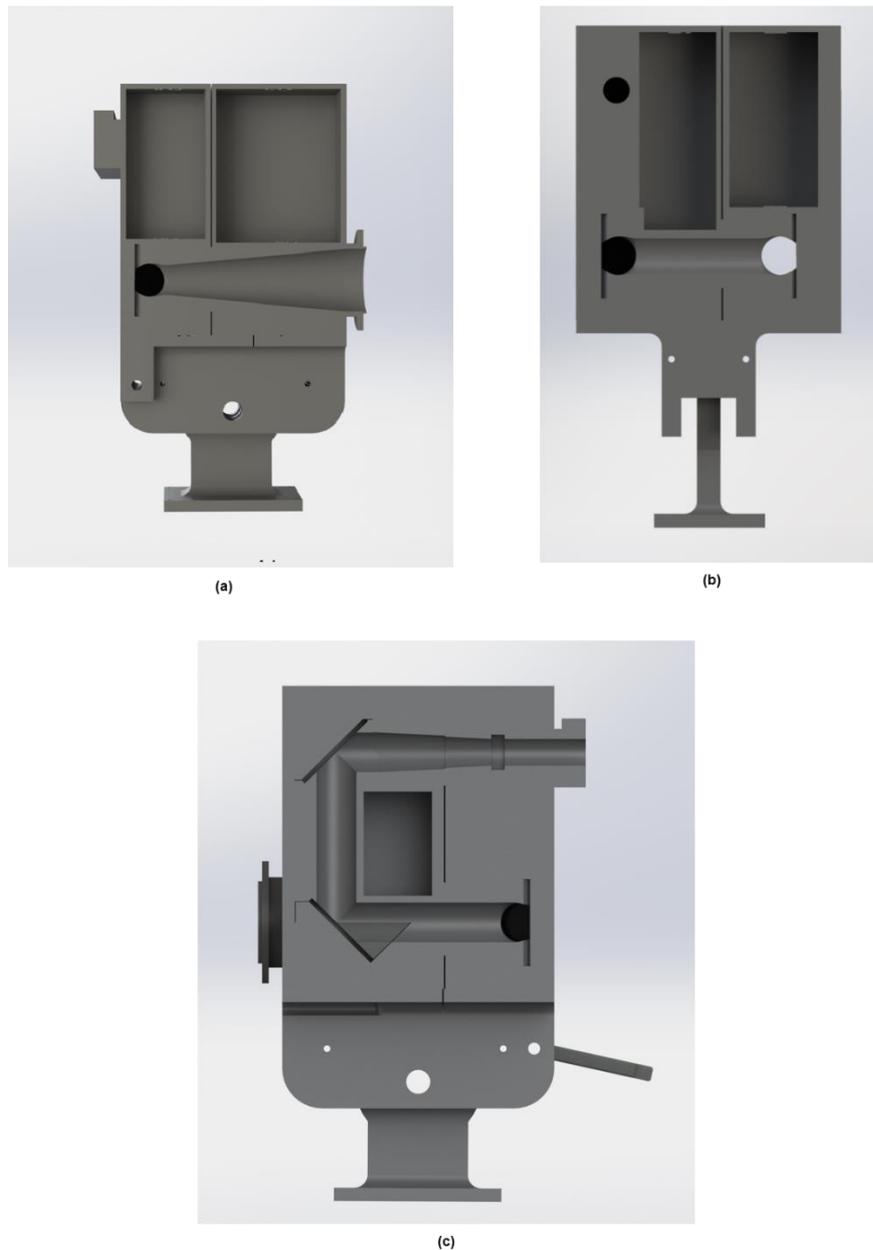
Na estrutura projetada acima surgiu inconsistências nos tamanhos das peças, pois as dimensões de cada andar passavam do limite de impressão da impressora Ender 3, utilizada neste projeto. Com isso, surgiu a necessidade de dividir cada andar em peças menores, assim cada andar foi desmembrado em quatro peças, como mostra a Figura 62.

Figura 62 – Projeto do Protótipo 2.

Fonte: Da Autora, 2022.

Esta estrutura foi dividida em dezenove peças, quatro espelhos, duas lentes e miscelâneas utilizadas para montagem (parafusos, porcas, cola, entre outros), não contando com as peças utilizadas para desenvolver o ajuste do foco que será abordado em outro tópico. As peças e os espelhos formam um caminho interno para a passagem e reflexão da luz como mostra as imagens (a), (b), e (c) da Figura 63.

Figura 63 – Projeto do Protótipo 2 em cortes verticais.



Fonte: Da Autora, 2022.

Durante o processo de montagem do protótipo 2, foram encontradas dificuldades devidas a algumas dimensões das peças e a forma com que elas foram projetadas. Também peças que ficaram com tamanho menor que o necessário, como a alavanca, alguns furos. A quantidade de furos para fixação durante o processo de montagem foi insuficiente, sendo assim também houve necessidade de aumentar as furações. O encaixe para a alavanca foi mudado de redondo para sextavado, a fim de ter mais aderência no momento de manuseio, houve também reajuste no tamanho

dos rasgos para acomodação dos espelhos, entre outras várias modificações na estrutura para melhorar a montagem e o processo de formação da imagem. Outra necessidade de mudança surgiu ao ver que as peças impressas possuem algumas deformações provinda do próprio sistema de impressão, que é muito comum neste tipo de fabricação, o que gerou a necessidade de pequenos ajustes nas dimensões para que no processo de montagem estas pequenas diferenças sejam reduzidas ou consideradas durante a montagem.

Durante os testes notou-se também a necessidade de controlar a luminosidade dos leds que foram colocados no conjunto do ajuste de foco da lente objetiva, sendo assim, também seria necessário projetar uma área, no andar 0, específica para acomodação do circuito para este controle.

A maioria das peças foram impressas em filamento preto, algumas foram fabricadas em outra cor e pintadas com tinta *spray* para teste, por exemplo, a peça da alavanca. As Figuras 64 e 65 mostram as peças impressas e início do processo de montagem do protótipo 2.

Figura 64 – Protótipo 2: Andar 0 (a) e Andar 1 (b).



(a)



(b)

Fonte: Da Autora, 2022.

Figura 65 – Protótipo 2: Vista de cima Andar 1 (a), andar 2 (b) e andar 3 (c).



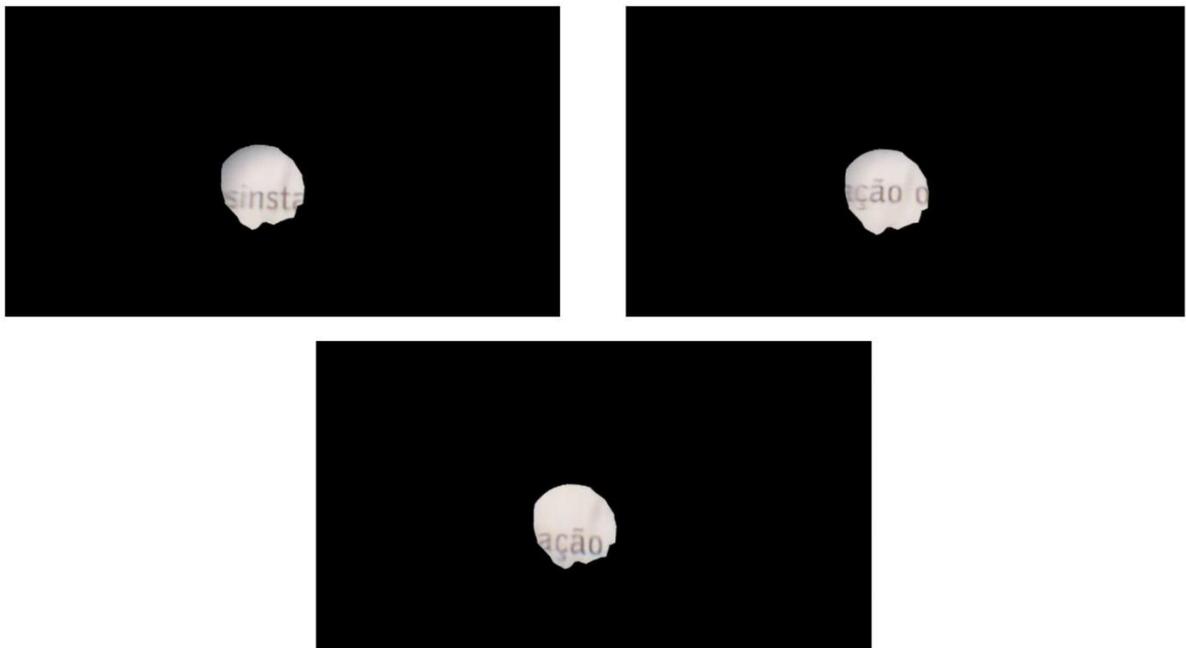
Fonte: Da Autora, 2022.

No que tange as lentes, a localização onde a lente ocular foi instalada não atendeu a necessidade pois houve uma formação de imagem muito pequena devido a longa distância entre a lente ocular e a lente do celular. Essa distância ocorre, pois o ponto focal da lente ocular é de 100mm, assim o celular teve que ficar a essa distância da lente, gerando um longo perfil de tubulação na imagem e deixando o objeto que foi ampliado ocupando somente uma pequena parte da tela. Com isso

houve a necessidade de mudar o protótipo para que essa distância fosse diminuída, para isso mudar também a dioptria da lente.

Outro problema que persistiu, com menor intensidade, foi o fenômeno da aberração cromática, essa aberração era menor do que quando foi utilizada a lente de policarbonato, mas ainda existia de forma a atrapalhar a nitidez da imagem. A Figura 66 mostra algumas das imagens formadas pelo protótipo 2.

Figura 66 – Protótipo 2: Imagens formadas.

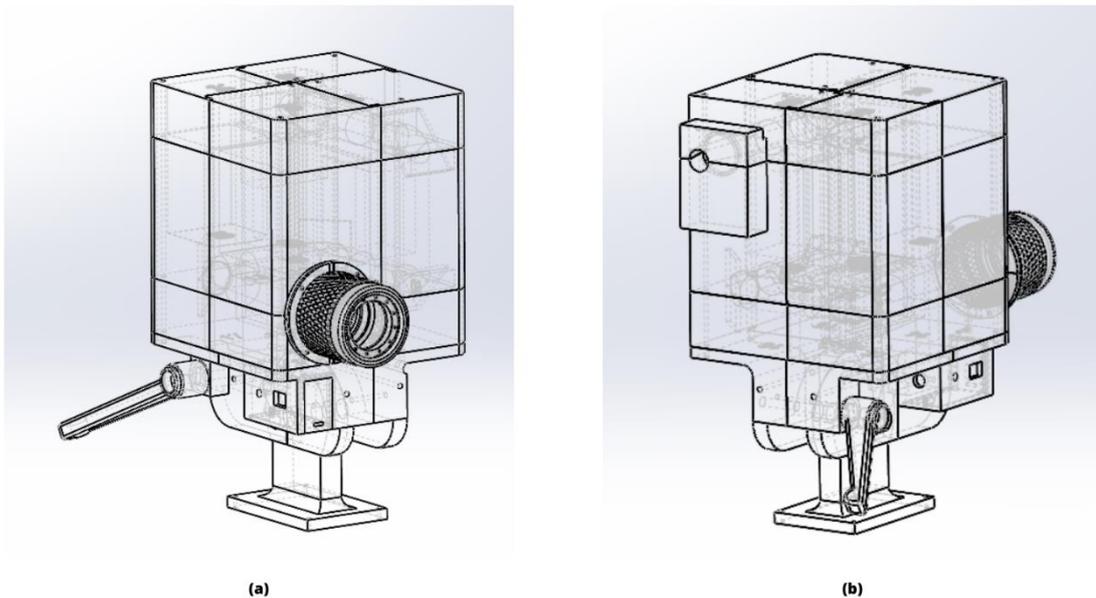


Fonte: Da Autora, 2022.

5.2.1.4 Protótipo 3

Para corrigir as inconsistências relatadas anteriormente, foi desenvolvido o protótipo 3, conforme Figura 67, modelo este que foi exposto a testes com médicos a fim de determinar seu real proveito durante os exames de colposcopia.

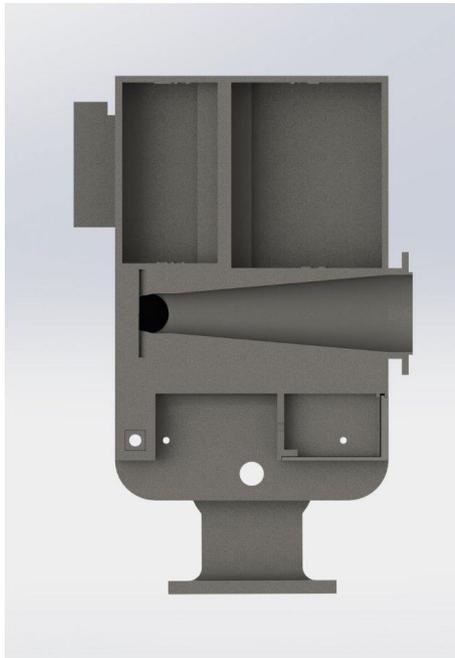
Figura 67 – Protótipo 3.



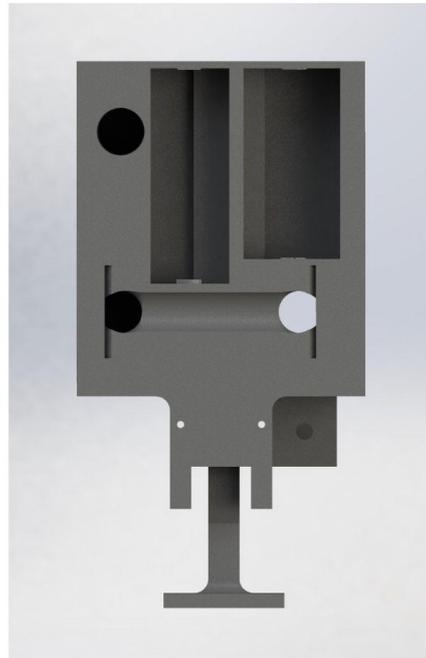
Fonte: Da Autora, 2022.

Para melhorar o processo de montagem, encaixes, dimensões, acomodação para circuito de controle de iluminação do protótipo, que foram descritas na seção anterior, foram feitas alterações no projeto, como mostra as Figuras 68 e 69.

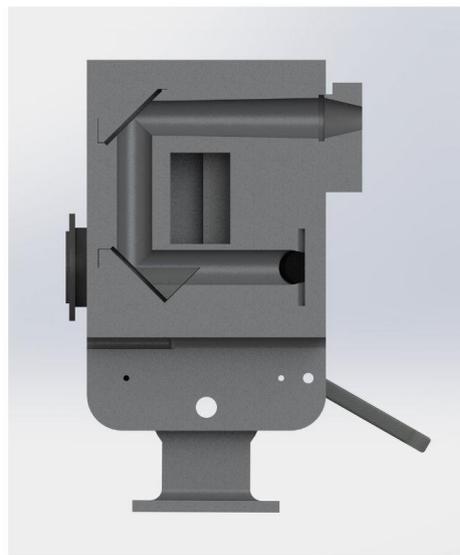
Figura 68 – Protótipo 3: Cortes verticais.



(a)



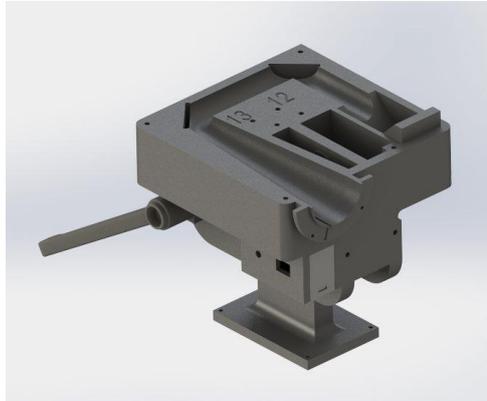
(b)



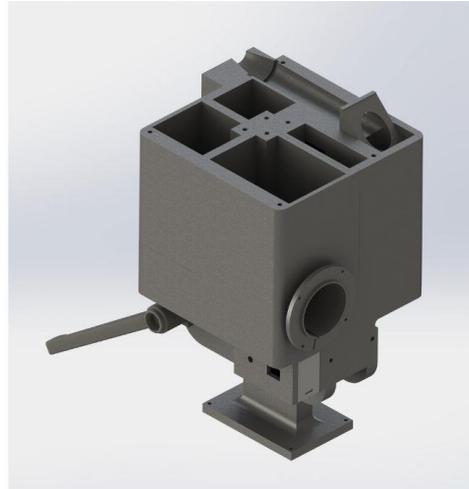
(c)

Fonte: Da Autora, 2022.

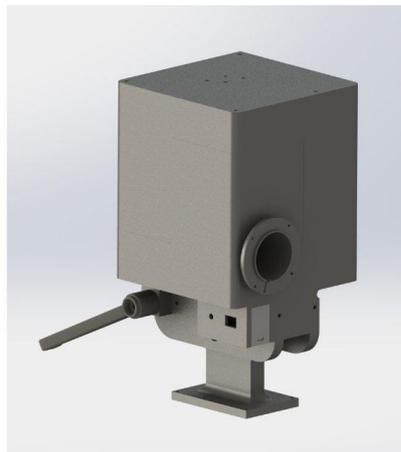
Figura 69 – Protótipo 3 - Cortes horizontais.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Da Autora, 2022.

As peças foram impressas com filamento PLA na cor preta fosco, as Figuras 70 e 71 mostram o processo de montagem do protótipo 3.

Figura 70 – Protótipo 3: Processo de montagem.



Fonte: Da Autora, 2022.

Figura 71 – Protótipo 3: Protótipo montado.



Fonte: Da Autora, 2022.

Além das revisões estruturais feitas para este protótipo, as lentes também foram alteradas a fim de aumentar a nitidez e diminuir a aberração cromática alcançando a ampliação necessária do projeto.

A lente ocular foi mudada de posição para que após a mesma houvesse o menor comprimento de tubo possível, levando em consideração seu ponto focal e sem perder a ampliação necessária do projeto.

Neste sentido, chegou-se a uma lente com de dioptria de +26,5di, o que gera um ponto focal de 38mm, ou seja, essa é a distância onde a câmera do celular foi colocada, com isso diminuindo a quantidade de tubo após a lente que antes era de 100mm. A posição dessa lente ocular em relação a imagem formada pela lente objetiva foi de 30mm de distância, esse valor veio de cálculos levando em consideração a estrutura do protótipo que já estava projetada, ou seja, que o comprimento total do caminho da luz fosse similar ao do protótipo 2 e ao mesmo tempo tivesse a ampliação atendendo a necessidade do projeto. Com isso, a distância entre lentes ficou de 780mm e a ampliação da lente ocular foi de 4,9 vezes, ampliação aproximada da lente utilizada anteriormente.

A lente ocular foi fabricada com diâmetro de 38mm, para que a imagem se acomodasse melhor na tela do celular, esse diâmetro foi encontrado através de testes com alguns modelos de celulares e diâmetros diferentes de abertura da lente. Para se alcançar uma dioptria tão alta foi necessário utilizar uma lente esférica (seção 4.3) feita de resina 1,53, nome dado pois é uma resina que possui índice de refração de 1,53, e seu número ABBE é de 43. Devido a seu índice de refração e por ser uma lente esférica, ela possui uma espessura razoável, seu formato e seu número ABBE também contribuem para que haja uma menor formação do fenômeno da aberração cromática.

Por suas características específicas, esta lente é um pouco mais onerosa que as demais, porém seu custo benefício para o projeto é justificado.

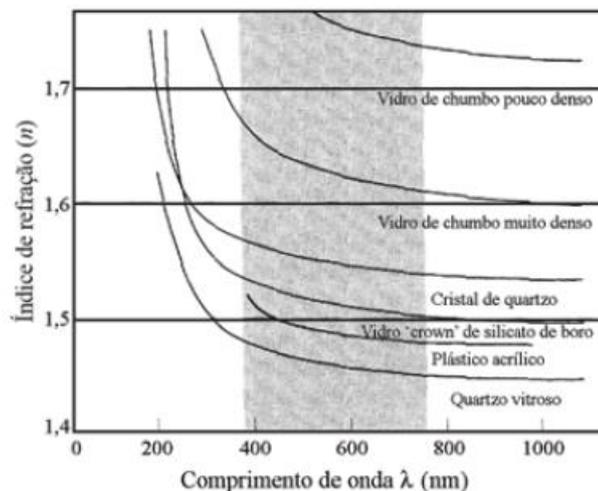
Segundo Courrol e Preto (2006), para corrigir o problema da aberração cromática, deve-se utilizar duas lentes, uma convergente e outra divergente, com materiais de índices de refração diferentes. Sendo assim, a fim de melhorar o problema da aberração cromática, ao invés de se utilizar somente uma lente objetiva, foi usado um conjunto de lentes com materiais distintos.

Utilizando o princípio das lentes justapostas (descrito na seção 4.2.8) e sabendo que a vergência final será de +5,5di, como no protótipo anterior, para chegar a esse valor deve-se fazer o somatório das vergências de cada lente do conjunto (Equação 12). Foi adotado que a lente de policarbonato teria dioptria de +7di, com

isso utilizando a equação citada acima, chega-se ao resultado que a outra lente deve ter a dioptria de $-1,5\text{di}$, porém esse valor não leva em consideração a diferença do índice de refração que materiais distintos possuem.

Assim, para se fazer a equivalência dessa vergência, utiliza-se a equação 15 para calcular a potência dispersiva de cada material. Para o policarbonato foi usado o índice de refração da cor amarela igual a 1,59, o da cor violeta igual a 1,60 e o da cor vermelha igual a 1,58. Já para o CR-39, foi utilizado o índice de refração da cor amarela igual a 1,49, da cor violeta igual a 1,50 e o da cor vermelha igual a 1,48. Estes dados foram retirados do gráfico da Figura 72.

Figura 72 – Índice de refração em função do comprimento de onda.



Fonte: Pionório, Rodrigues Junior e Bertuola 2008.

Com esses valores em mãos e aplicando a fórmula citada acima, chega-se ao valor da potência dispersiva do policarbonato igual a 0,034 e do acrílico CR-39 igual a 0,041. Agora aplicando a equação 17, para se achar a equivalência de vergência de $-1,5\text{di}$ do policarbonato para a resina CR-39, chega-se a dioptria de $-1,25\text{di}$. O estudo traz as lentes biconvexas e bicôncavas, porém não foi possível ter acesso a fabricação dessas lentes com estas exatas características, com isso foi utilizada uma lente côncavo-convexa e uma convexo-côncava, como mostrado na Figura 73. O diâmetro das lentes foi mantido conforme versão anterior, 55mm.

Figura 73 – Conjunto de lentes objetivas do Protótipo 3.



Fonte: Da Autora, 2022.

Porém os testes feitos com esse conjunto de lentes quando comparados com somente uma lente de resina com vergência de +5,5di, já usada em outros testes, não apresentou mudanças significativas a ponto de justificar o custo adicional de outra lente.

Com isso, este modelo ficou com uma lente objetiva esférica de vergência +5,5di, diâmetro de 55mm, fabricada em acrílico CR-39, com uma distância de trabalho de 242mm, ampliação de 3,02 vezes e uma lente ocular asférica de dioptria +26,5di, diâmetro 38mm, fabricada em resina 1,53, com a distância focal de 30mm, ampliação de 4,87 vezes. Assim, o sistema possui uma distância entre lentes de 780mm e uma ampliação total teórica de 14,7 vezes.

Para constatação real da ampliação do protótipo foi utilizado o software gratuito *Inkscape*, que nos permite medir o tamanho de determinada imagem em pixels, efetuando a medição e dividindo o valor dos pixels da imagem de referência pela ampliada chegamos em um aumento de aproximadamente 16 vezes. Esse valor é aproximado, pois não há precisão na medição da foto sem ampliação devido seu tamanho.

A Figura 74 (a) mostra o objeto e a posição/distância a qual o celular estava do rótulo que foi ampliado, já a Figura 74 (b) mostra a imagem com o resultado gerado pelo aparelho.

Figura 74 – Protótipo 3 – Imagens formadas.



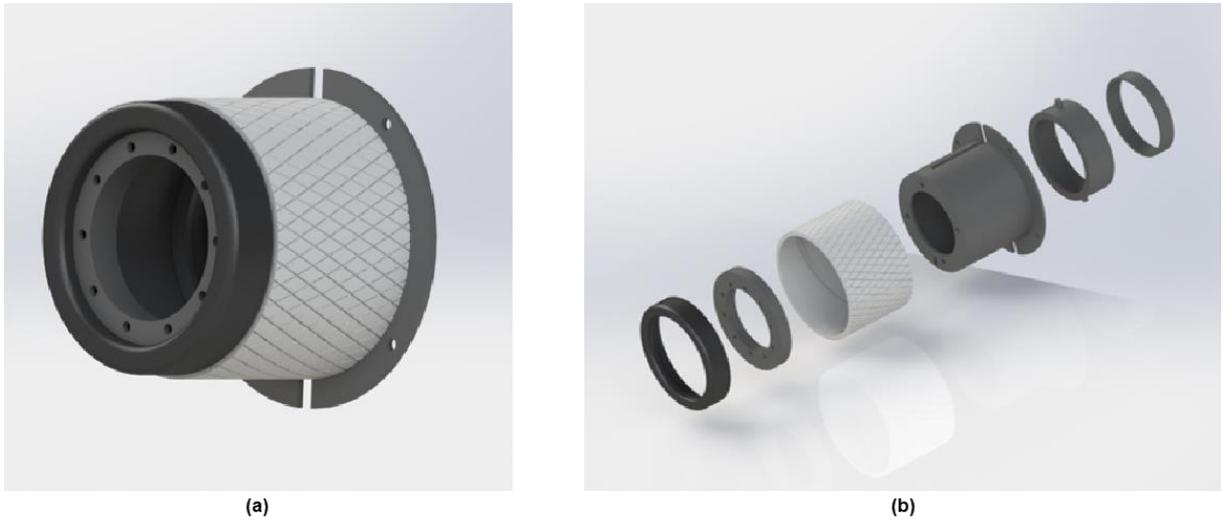
Fonte: Da Autora, 2023.

5.2.2 Sistema para Ajuste de Foco e Iluminação

No processo de criação foram utilizadas luvas de PVC para testes de como poderia funcionar o ajuste de foco da lente objetiva, que tem o intuito de ajustar a distância entre lentes em pequenas dimensões para ter uma imagem mais nítida. Isto pode ser visto na imagem 60, onde as luvas para os testes estão na cor branca.

Logo após este teste foi desenvolvido o projeto de ajuste de foco, que se embasou em uma análise empírica de equipamentos com ajuste focal que estão no mercado, como câmeras e lunetas. Um sistema onde há a movimentação da lente objetiva com um curso de 30mm para o ajuste focal. A Figura 75 (a) o mostra o sistema de ajuste de foco montado e a Figura 75 (b) mostra o sistema em vista explodida com as peças que foram desenvolvidas para o resultado final.

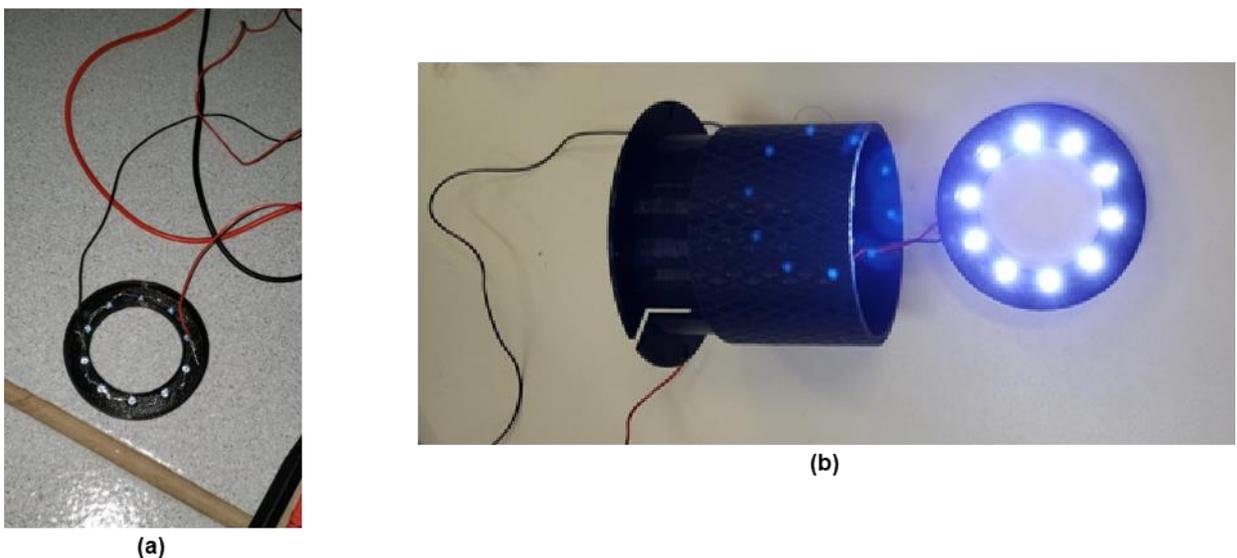
Figura 75 – Projeto do Sistema de Ajuste de Foco.



Fonte: Da Autora, 2021.

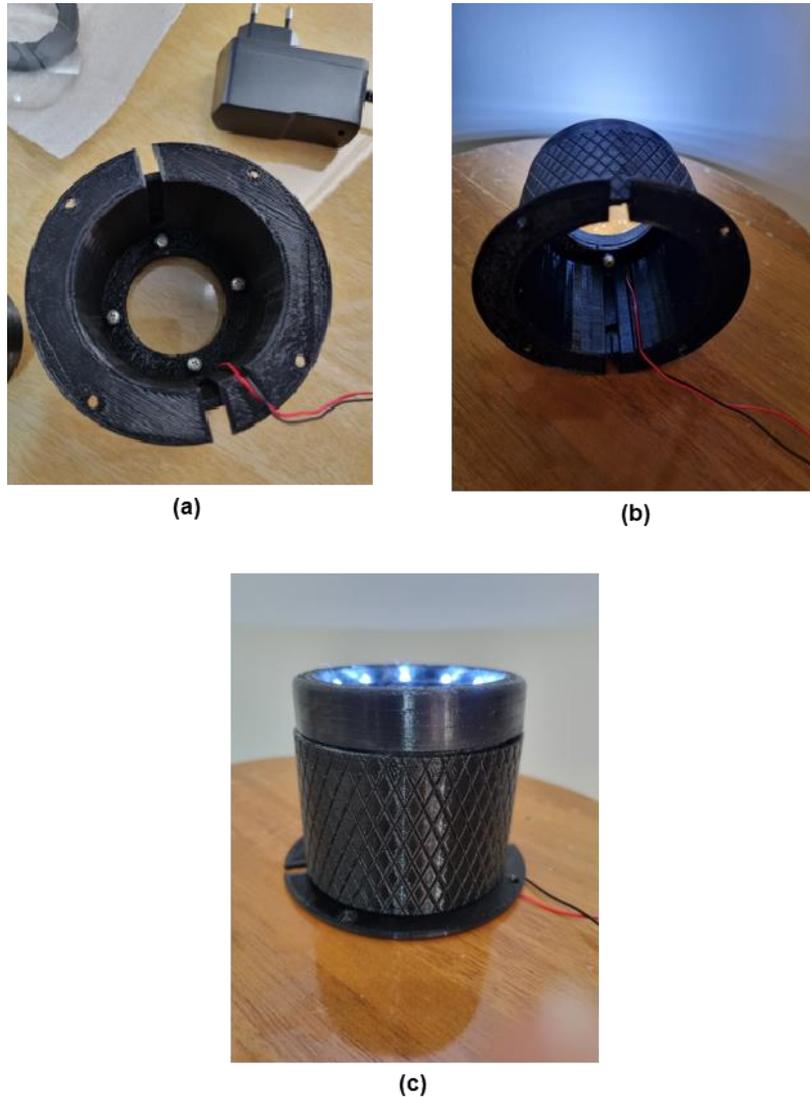
Logo na parte frontal do sistema foi montado um circuito com 10 Led's (diodo de emissão de luz) para a iluminação do exame. Para isso foi desenvolvido um circuito, onde foi utilizada uma fonte de 12V e 2A. O circuito consiste em três ramos em paralelo sendo que dois deles contém um conjunto de 4 Led's em série e outro ramo um conjunto de 2 Led's e um resistor de 200 ohms também em série, para que assim a tensão da fonte fosse satisfatória para a alimentação. Pode-se observar essa montagem nas Figuras 76 e 77.

Figura 76 – Sistema de Ajuste de Foco.



Fonte: Da Autora, 2021.

Figura 77 – Sistema de Ajuste de Foco Montado.

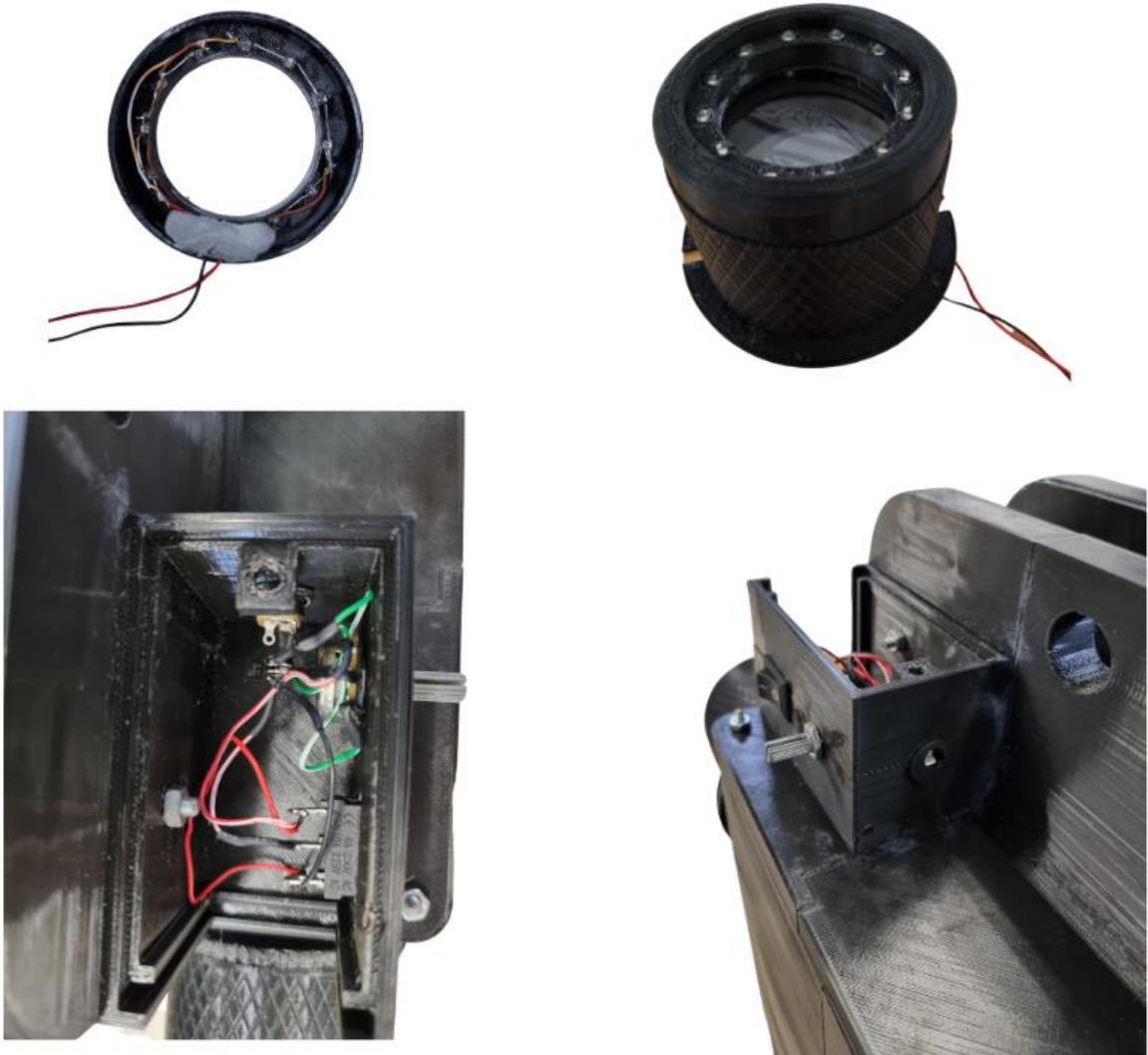


Fonte: Da Autora, 2021.

Durante os testes percebeu-se que a ramificação do circuito que possui somente 2 leds e o resistor ocorria uma intensidade de brilho diferente dos demais e também que a intensidade da luz deveria ser variável para se adequar melhor aos locais de teste.

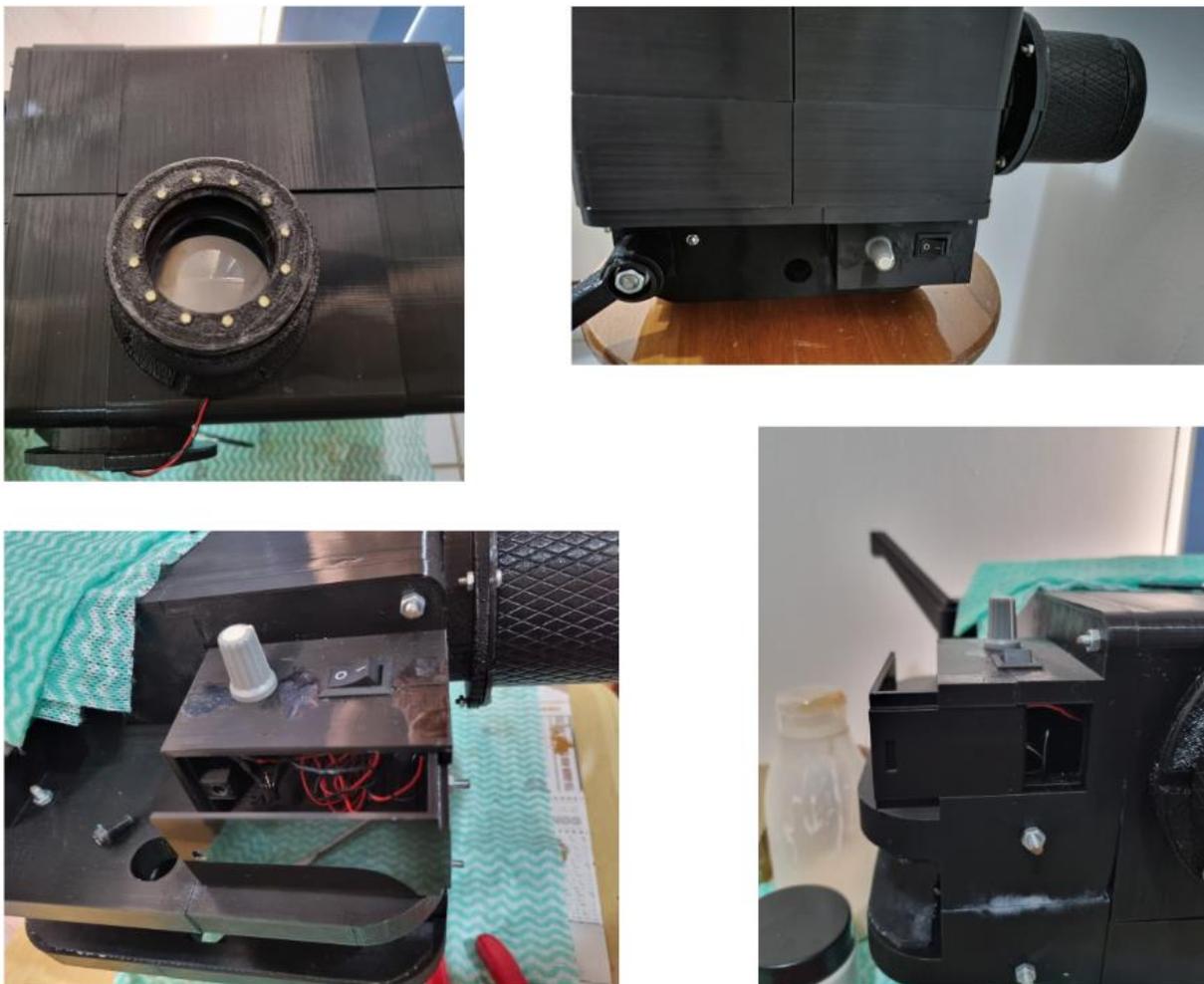
Sendo assim, o conjunto foi revisado para um total de 12 leds em sua face, assim o circuito foi dividido em três ramificações em paralelo com quatro leds em série em cada uma. Foi desenvolvido também um pequeno circuito eletrônico para a regulagem de luminosidade. As Figuras 78 e 79 mostram o a montagem do conjunto do ajuste de foco e seu circuito.

Figura 78 – Montagem do Sistema de ajuste de foco e iluminação.



Fonte: Da Autora, 2022.

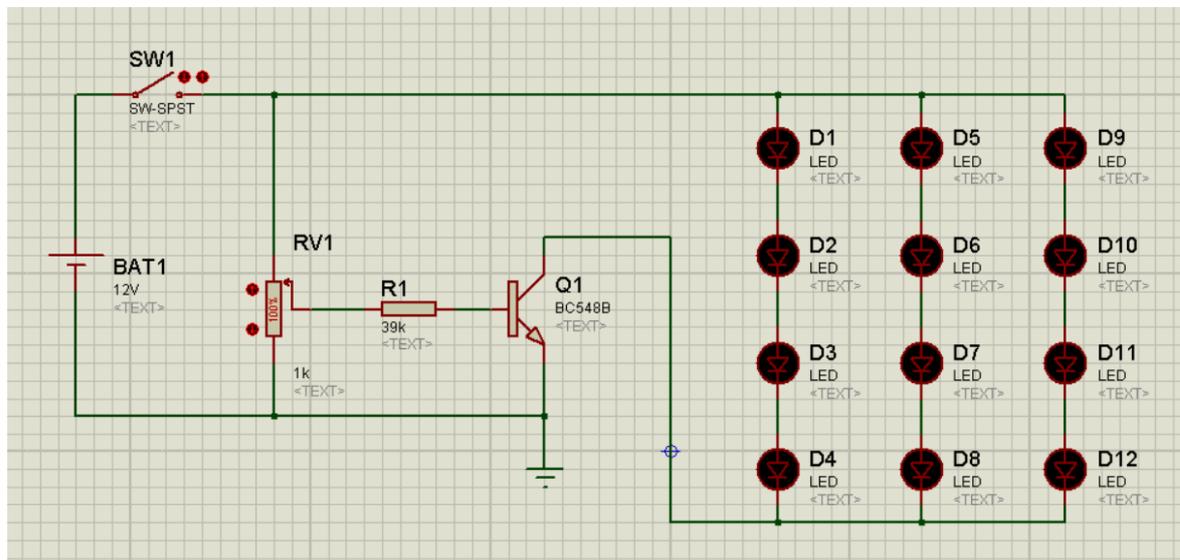
Figura 79 – Sistema de ajuste de foco e iluminação.



Fonte: Da Autora, 2022.

A Figura 80 mostra o projeto do circuito de iluminação que foi desenvolvido pelo software Protheus.

Figura 80 - Circuito para controle de iluminação.



Fonte: Da Autora, 2022.

Já a Figura 81 mostra o conjunto do ajuste foco montado no protótipo com o circuito de iluminação.

Figura 81 – Sistema de ajuste de foco e iluminação montado.



Fonte: Da Autora, 2023.

5.2.3 Base

O aparelho possui a necessidade de locomoção, sendo assim, foi projetada uma base para o mesmo utilizando um rodízio genérico de cadeira, um tubo de PVC de 60mm de diâmetro e 40mm de comprimento, um tubo de PVC de 50mm de diâmetro e 50mm comprimento, peças impressas em 3D e miscelâneas para ajustes de altura. O ajuste de altura do equipamento pode ser feito de 85cm a 110cm. A Figura 82 mostra algumas peças utilizadas no processo de montagem, faltando ali somente as tubulações, já a Figura 83 mostra a base montada e pintada.

Figura 82 – Peças para Base.



Fonte: Da Autora, 2022.

Figura 83 – Base montada.



Fonte: Da Autora, 2023.

5.2.4 Suporte para Celular

Para alcançar o objetivo de filmar e fotografar o exame com um *smatphone* para posterior análise, foi necessário desenvolver um suporte para a alocação deste dispositivo no aparelho. Neste ponto, o objetivo principal é projetar um suporte que consiga compreender a maior quantidade de celulares que possuem câmeras em posições distintas.

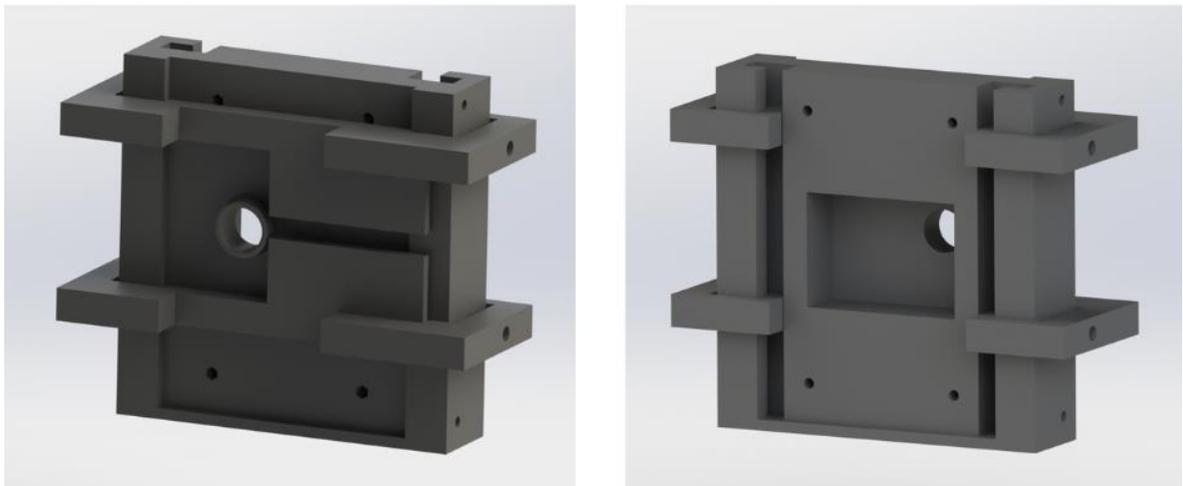
Durante as pesquisas desenvolvidas sobre o assunto, tanto de forma teórica quanto de forma empírica, notou-se que em celulares que possuem mais de uma câmera, elas têm função de ampliação específicas, sendo assim não são complementares. Com isso, durante os o uso do equipamento para o exame não há necessidade de mais de uma câmera visualizar a imagem simultaneamente.

As dimensões do suporte buscam englobar a média de tamanhos de celulares mais difundidos no mercado, como os das marcas Samsung, Iphone, Motorola e

Xaomi. Para os testes de tamanho e posições de câmera, foram utilizados os celulares da Samsung S9, que possui pequenas dimensões quando comparado aos demais, somente uma câmera e esta é centralizada no aparelho, o Samsung S10+, possui dimensões maiores e três câmeras deslocadas do centro, o Iphone XR, com também maiores dimensões e possui somente uma câmera deslocada do centro e o Samsung S21, com dimensões diferente dos demais, linha de celular maior, porém mais fino, possui três câmeras também deslocadas do centro.

A primeira ideia desenvolvida para este suporte, tinha como base a movimentação de duas peças que seriam travadas por parafusos e movimentavam livremente nos encaixes projetados para elas. A Figura 84 mostra as peças projetadas para esse modelo.

Figura 84 – Projeto do primeiro modelo do Suporte para celular.



Fonte: Da Autora, 2022.

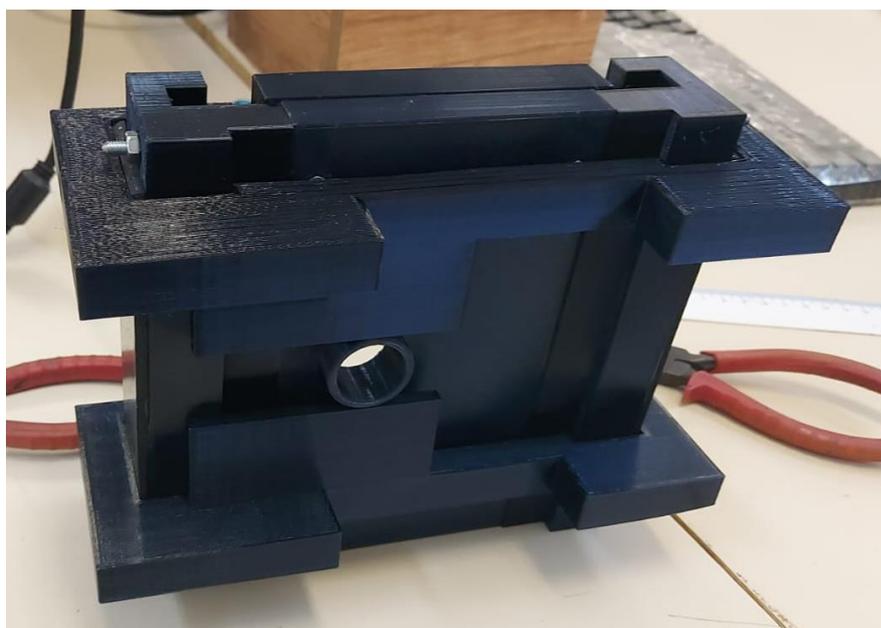
A Figura 85, mostra as peças impressas desse modelo e seu processo de montagem. Já a Figura 86 mostra o suporte montado.

Figura 85 – Peças do primeiro modelo do Suporte para celular.



Fonte: Da Autora, 2022.

Figura 86 – Primeiro modelo do Suporte para celular.



Fonte: Da Autora, 2022.

Este suporte não obteve a firmeza necessária para suportar o peso do celular. Devido suas partes móveis correrem livremente, também aconteceu de não se conseguir o alinhamento do celular, sendo que a parte mais pesada sempre cedia não suportando a pressão.

Na tentativa de simplificar e resolver o problema encontrado, foi desenvolvido um outro modelo, porém agora com velcro, conforme mostra a Figura 87.

Figura 87 – Segundo modelo do Suporte para celular.



Fonte: Da Autora, 2022.

Apesar de usar um velcro para peças pesadas, ele também não mantinha o celular na posição correta, pequenas variações de posição que o celular sofria devido a movimentação do protótipo o tirava do ponto de visualização da imagem.

Foi desenvolvido então um terceiro modelo, este um pouco mais complexo, mas no intuito de deixar o celular o mais estável possível. Utilizando rolamentos para deixar as partes móveis do aparelho mais firmes. A Figura 88 mostra o processo de montagem desse modelo e a Figura 89 ele montado.

Figura 88 – Montagem do modelo final do Suporte para celular.



Fonte: Da Autora, 2023.

Figura 89 – Modelo final do Suporte para celular.



Fonte: Da Autora, 2023.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 CUSTOS DO PROJETO

Um vídeo colposcópico ou um colposcópico com periféricos que auxiliam para que seja possível fazer a filmagem do procedimento de colposcopia pode ter seu custo variando de R\$ 10.000,00 até R\$ 20.000,00 ou aproximadamente US\$2.000,00 a US\$4.000,00 a depender do modelo e suas opções de ampliação. O intuito do projeto foi tornar o modelo desenvolvido o menos oneroso possível.

O protótipo final apresentado teve um custo total aproximado de R\$800,00 (oitocentos reais) ou US\$160,00 (cento e sessenta dólares americanos), entre filamentos para impressão, miscelâneas para montagem, estrutura não impressa, espelhos e as lentes utilizadas. Este custo pode se tornar ainda menos oneroso se optar pela fabricação em escala do protótipo, assim todos os periféricos e o processo de fabricação terão custos mais reduzidos. A Figura 90 mostra alguns testes executados.

Figura 90 – Modelo final do Protótipo.



Fonte: Da Autora, 2023.

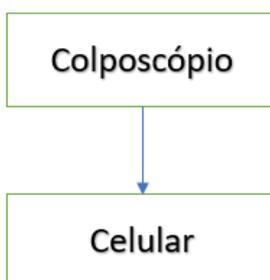
O colposcópio menos oneroso comercial, necessita de periféricos para que seja possível a gravação do exame como mostra a Figura 91. Fazendo um comparativo a Figura 92 mostra como o modelo proposto torna o procedimento mais simples.

Figura 91 - Representação esquemática da colposcopia digital.



Fonte: Adaptado Hillmann, 2010.

Figura 92 - Representação esquemática do aparelho proposto.



Fonte: Da Autora, 2023.

6.2 TESTES MÉDICOS

Para a verificação das necessidades de aprimoramento do protótipo e dos objetivos já alcançados, foi realizado testes em uma paciente no Ambulatório Maria da Glória em Uberaba-MG, o procedimento foi conduzido pela Doutora Priscila Thais Silva Mantoani, que faz parte do programa de pesquisa intitulado Manejo de lesão intraepitelial escamosa no Sistema Único de Saúde, que possui a CCAE número 37116220.0.0000.5154 (Anexo A), que tem como pesquisadora principal a Doutora Rosekeila Simões Nomelini que é coorientadora deste trabalho.

A técnica utilizada para a realização do exame de colposcopia durante os procedimentos descritos, foi a aplicação de ácido acético, logo após o iodo de Lugol, utilizado para fazer o teste de Schiller, onde são realizadas imagens do colo uterino naquele momento.

No procedimento, o profissional de saúde aplica ácido acético diluído diretamente no colo do útero e o examina em busca de sinais de acetobranqueamento, um clareamento localizado do epitélio associado a tecido anormal subjacente. Logo em seguida, o iodo de Lugol diluído é aplicado topicamente ao epitélio cervical, corando o epitélio escamoso rico em glicogênio normal de preferência, deixando lesões proliferativas cancerosas e pré-cancerosas sem coloração (GRANT et al., 2019).

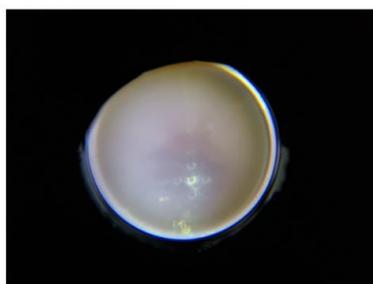
Em seguida, o bissulfito de sódio, aplicado para a realização de captura da imagem no local com a anomalia para a análise ginecológica e possível local para a biópsia.

A Doutora Priscila, expôs um parecer sobre a experiência prática da utilização do aparelho, onde trouxe como pontos positivos a facilidade para acoplar o celular, o baixo custo de construção e também a possibilidade de visualização do exame por mais de um profissional por vez, visto que todo o exame é exposto pela tela do celular.

Como pontos de aprimoramento do trabalho notou-se a necessidade de diminuir a ampliação da imagem, visto que a ampliação ficou maior que a esperada o que trouxe muita sensibilidade para ajuste do ponto focal, ocasionando assim prejuízo na imagem. Devido as dimensões do protótipo, foi necessário a utilização das duas mãos para manuseio do mesmo, isso fez com que não houvesse a possibilidade da

realização da biópsia junto ao manuseio do aparelho. Abaixo, na Figura 93, seguem as imagens dos testes feitos durante o exame.

Figura 93 – Testes feitos no Ambulatório Maria da Glória.



Fonte: Da Autora, 2023.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste projeto foi desenvolvido um protótipo de baixo custo, a priori impresso em impressora 3D, com o intuito de auxiliar o médico durante a execução do exame de colposcopia. O propósito é tornar possível a utilização de um dispositivo de custo reduzido para auxiliar no exame de colposcopia. Isso permitirá a ampliação do acesso a este exame vital em áreas onde atualmente há carência de recursos para a aquisição do colposcópio e dos equipamentos complementares necessários, como um computador, para a realização do procedimento.

O colposcópio é um produto existente, foi desenvolvido uma versão de baixo custo do aparelho utilizando combinações de lentes menos onerosas e com a estrutura impressa em impressora 3D ou pode ser também confeccionada em um processo de grande escala para que assim minimize ainda mais seu custo. Além de possuir o diferencial da utilização de um smartphone para a visualização e eventual registro do exame, assim não há necessidade de infraestrutura computadorizada para a realização do mesmo.

A técnica desenvolvida para se obter a ampliação e a inversão da imagem, foi utilizando uma combinação de lentes e espelhos de materiais comuns no mercado, com distâncias calculadas entre si, para que assim pudessem ser usados materiais de baixo custo. Estas distâncias foram dispostas de forma horizontal e vertical com o intuito de diminuir as dimensões do equipamento o tornando funcional para o auxílio do exame. Diferente dos aparelhos convencionais que utilizam materiais mais onerosos com uma distância menor entre si obtendo valor de ampliação similar à do protótipo desenvolvido.

O protótipo atual passou por várias versões a nível de projeto e é o quarto protótipo montado para teste. O processo para a quarta versão do invento demorou cerca de uma no e meio. Esta última versão passou por testes práticos no Ambulatório Maria da Glória em paciente, o exame foi conduzido pela Dra. Priscila Mantoani.

O objetivo deste estudo foi propor um aparelho de baixo custo para o auxílio na realização do exame de colposcopia em lugares que não possuem acesso ao equipamento tradicional devido ao seu alto custo. Com isso, nota-se alguns pontos, como descrito anteriormente, que há a necessidade de continuação no processo de melhoria para que o protótipo se torne funcional para o mercado. Porém, foi

desenvolvida uma ideia e um trabalho para alcançar as necessidades propostas com sucesso, visto que as melhorias sugeridas não mudam a estrutura principal do trabalho.

Este dispositivo traz também a possibilidade, que com o fácil armazenamento feito no celular das imagens e vídeos dos exames, de possíveis discussões sobre diagnósticos e procedimentos entre médicos especialistas à distância, o que amplia também as barreiras do ensino e aprendizado de novos profissionais. Como perspectiva futura de aprimoramento há a possibilidade do desenvolvimento de um software dedicado a análise dessas imagens para o auxílio das conclusões e procedimentos médicos, minimizando assim, mais ainda a possibilidade de erros ou inconclusões.

Este aparelho pode ter uma utilização mais ampla do que somente o exame de colposcopia especificamente. Pode ser utilizado em qualquer procedimento que se deseja obter a ampliação de uma imagem, onde o paciente ou objeto não consiga estar próximo do dispositivo.

REFERÊNCIAS

- 3DLAB SOLUÇÕES EM IMPRESSÕES 3D (Betim). **Qual é o preço de impressora 3D? Conheça os melhores modelos! 2022**. Disponível em: <https://3dlab.com.br/preco-de-impressora-3d/>. Acesso em: 25 jan. 2023.
- ASIEDU, Mercy Nyamewaa; SIMHAL, Anish; CHAUDHARY, Usamah; MUELLER, Jenna L.; LAM, Christopher T.; SCHMITT, John W. et al. Development of Algorithms for Automated Detection of Cervical Pre-Cancers with a Low-Cost, Point-of-Care, Pocket Colposcope. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, [S. l.], v. 66, n. 8, p. 2306–2318, 2019. DOI: 10.1109/TBME.2018.2887208.
- AVULA, Krishnaveni. The Role of Cytology, Colposcopy and Colposcopic Directed Biopsies in the Evaluation of Unhealthy Cervix. **Indian Journal of Obstetrics and Gynecology**, [S. l.], v. 6, n. 6, p. 588–607, 2018. DOI: 10.21088/ijog.2321.1636.6618.5.
- BOLELLI, Raquel Meirelles; LEBRÃO, Guilherme Wolf. Avaliação das Propriedades de Material Produzido por FDM em Impressora 3D. **19 Conic - Congresso Nacional De Iniciação Científica, Sao Paulo**, [S. l.], p. 1–10, 2019.
- CARTIER, René, CARTIER, Isabelle. **Colposcopia Prática**. 3 ed. Aracaju, SE: Roca, 1999. Tradução: Dra. Ildete Soares Caldas.
- COURROL, Lilia Coronato; PRETO, André de Oliveira. **Apostila Teórica Óptica Técnica I**. Disponível em: http://www.fatecsp.br/paginas/apostila_teorica.pdf. Acesso em: 13 fev. 2022.
- DEC, Marlus. **AVALIAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DA EXATIDÃO GEOMÉTRICA DE IMPRESSORA 3D UTILIZANDO MEDIÇÃO POR COORDENADAS**. 2016. 199 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mecatrônica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- FOCCHI, Gustavo Rubino de Azevedo. **Terminologia LAST**. 2018. Federação Brasileira das Associações de Ginecologia e Obstetrícia. Disponível em: <https://www.febrasgo.org.br/pt/noticias/item/326-terminologia-last>. Acesso em: 02 jun. 2023.
- FREIRE, Guilherme; SILVA, Gizélia; BRITO, Cyntia de; CAVALCANTI JÚNIOR, Geraldo; SILVEIRA-JÚNIOR, Lenilton. A Colposcopia no Diagnóstico do Câncer do Colo Uterino: uma revisão de literatura. **Conapesc**, [S. l.], v. IV, 2019. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/56347>.
- GASPAR, Alberto. **Compreendendo a Física 2**. 2ª ed. São Paulo: Editora Ática, 2013.
- Gil, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GLOBOCAN. Cervix uteri Source: Globocan 2020. **International Agent for Research on Cervic Uteri**, [S. l.], v. 419, p. 1–10, 2020.

GRANT, Benjamin D.; QUANG, Timothy; POSSATI-RESENDE, Júlio César; SCAPULATEMPO-NETO, Cristovam; MATSUSHITA, Graziela De Macedo; MAUAD, Edmundo Carvalho *et al.* A mobile-phone based high-resolution microendoscope to image cervical precancer. **PLoS ONE**, [S. l.], v. 14, n. 2, p. 1–12, 2019. DOI: 10.1371/journal.pone.0211045.

HILLMANN, Elise de Castro. *Fotografia Cervical Digital para Rastreamento de Câncer de Colo Uterino e suas Lesões Precursoras*. [S. l.], 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA (INCA). **Estimativa 2020: Incidência de Câncer no Brasil**. Rio de Janeiro: Coordenação de Ensino, 2019. 117 p. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/sites/ufu.sti.inca.local/files/media/document/estimativa-2020-incidencia-de-cancer-no-brasil.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Ações de Controle do Câncer do Colo do Útero - Tratamento**. Portal Boas Práticas em Saúde da Mulher, da Criança e do Adolescente, 2018. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/controle-do-cancer-do-colo-do-uterio/acoes-de-controle/tratamento>. Acesso em: 06 dez. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Diretrizes Brasileiras para o rastreamento Do Câncer Do Colo Do Útero**. Rio de Janeiro: Coordenação de Prevenção e Vigilância (Conprev). 2016, v. 2, 116 p. Disponível em: http://bvsm.s.saude.gov.br/bvs/publicacoes/inca/rastreamento_cancer_colo_uterio.pdf Acesso em: 06 dez. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Falando sobre Câncer do Colo do Útero**. Rio de Janeiro: Coordenação de Prevenção e Vigilância (Conprev), 2002. 59 p.

INTERCÂMBIO CIENTÍFICO: AS RELAÇÕES BRASIL - ALEMANHA ATRAVÉS DAS LENTES DO COLPOSCÓPIO EM MEADOS DO SÉCULO XX. Montes Claros: Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes), v. 22, n. 2, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.38049/issn.2317-0875v22n2p.4-14>. Acesso em: 12 ago. 2021.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER: WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Globocan 2020**. v. 419. [S. l.]: International Agency For Research On Cancer: World Health Organization, 2020.

KRUTH, J. P.; MERCELIS, P.; VAN VAERENBERGH, J.; FROYEN, L.; ROMBOUITS, M. Binding mechanisms in selective laser sintering and selective laser melting. **Rapid Prototyping Journal**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 26–36, 2005. DOI: 10.1108/13552540510573365.

LAM, Christopher T.; KRIEGER, Marlee S.; GALLAGHER, Jennifer E.; ASMA, Betsy; MUASHER, Lisa C.; SCHMITT, John W. *et al.* Design of a novel low cost point of care tampon (POCkeT) colposcope for use in resource limited settings. **PLoS ONE**, [S. l.], v. 10, n. 9, p. 1–22, 2015. DOI: 10.1371/journal.pone.0135869.

LANA, V. Intercâmbio Científico: as relações Brasil - Alemanha através das lentes do colposcópico em meados do século XX : Scientific Exchange: Brazil - Germany relations through the colposcope lens in the middle of the 20th century. **Revista Caminhos da História**, [S. l.], v. 22, n. 2, p. 4–14, 15 abr. 2020. Disponível em: <https://www.periodicos.unimontes.br/index.php/caminhosdahistoria/article/view/1996>. Acesso em: 12 ago. 2021.

LEITE, Márcio Vinícius. **Número ABBE: Pmroo Lentes Oftálmicas**, [S. l.], 2012.

LENSCOPE. **Lentes esféricas ou asféricas: como ter lentes mais finas?** 2018. Disponível em: <https://lenscope.com.br/blog/lentes-asfericas-ou-esfericas-como-ter-lentes-mais-finas/>. Acesso em: 23 jan. 2023.

LENSCOPE. **Lentes de Policarbonato ou Trivex?** 2019. Disponível em: <https://lenscope.com.br/blog/lentes-de-policarbonato-ou-trivex/>. Acesso em: 23 jan. 2023.

LENSCOPE. **Materiais de lentes de óculos: acrílico, policarbonato, resina e vidro (cristal)**. 2019. Disponível em: <https://lenscope.com.br/blog/materiais-de-lentes-de-oculos-acrilico-policarbonato-resina-e-vidro-cristal/>. Acesso em: 27 nov. 2021.

LENSCOPE. **O que significa valor ABBE e como ele afeta suas lentes**. 2018. Disponível em: <https://lenscope.com.br/blog/o-que-significa-valor-abbe-e-como-ele-afeta-suas-lentes/>. Acesso em: 27 nov. 2021.

LIMA, Heloisa Cristiny de; SILVA, Osanir Oliveira da; PESSOA DA SILVA, Daliana Caldas; SILVEIRA-JUNIOR, Lenilton Silva Da. Estudo Epidemiológico E De Concordância Diagnóstica Entre a Citologia, Colposcopia E Histopatologia, Em Pacientes Com Diagnóstico De Papilomavírus Humano. **Infarma - Ciências Farmacêuticas**, [S. l.], v. 29, n. 2, p. 155–163, 2017. DOI: 10.14450/2318-9312.v29.e2.a2017.pp155-163.

MARTINS, Roberto de Andrade; SILVA, Cibelle Celestino. As pesquisas de Newton sobre a luz: Uma visão histórica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S. l.], v. 37, n. 4, 2015. DOI: 10.1590/S1806-11173731817.

MURAMATSU, Mikiya; ROBILOTTA, Cecil Chow; TEIXEIRA, Jonny Nelson; SOUZA, Carlos Eduardo Rossatti de; SILVA, Flávia Matioli da; STEINICKE, Gabriel Oliveira. **Experimentos, Oficinas e Demonstrações em Óptica**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2018.

NASCIMENTO, Maria Isabel do; RABELO, Irene Machado Moraes Alvarenga; CARDOSO, Fabrício Seabra Polidoro; MUSSE, Ricardo Neif Vieira. Tempo de espera pela primeira colposcopia em mulheres com teste de Papanicolaou alterado.

Revista Brasileira de Ginecologia e Obstetrícia, [S. l.], v. 37, n. 8, p. 381–387, 2015. DOI: 10.1590/SO100-720320150005393. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-72032015000800381&lng=pt&nrm=iso&tlng=en. Acesso em: 17 mar. 2021.

NAUD, Paulo; HAMMES, Luciano Serpa; MATOS, Jean; BROWERS, Karla; MANO, Maria Claudia Moraes. História da colposcopia: do invento de Hinselmann aos ensaios clínicos atuais. **Femina**, [S. l.], n. 9, p. 597–605, 2006.

NEIVA, Anna. **5 materiais de lentes para óculos de grau e suas vantagens**. 2021. Disponível em: <https://blog.livo.com.br/materiais-lentes-oculos-grau/>. Acesso em: 06 jan. 2022.

NEIVA, Anna. **Lentes de óculos de grau mais finas: como conseguir?** 2021. Disponível em: <https://blog.livo.com.br/lentes-oculos-grau-mais-finas/>. Acesso em: 06 jan. 2022.

NISHIMURA, Paula Lumi Goulart; RODRIGUES, Osmar Vicente; BOTURA JUNIOR, Galdenoro; SILVA, Letícia Alcará da. Prototipagem Rápida: um comparativo entre uma tecnologia aditiva e uma subtrativa. **Blucher Design Proceedings**, Belo Horizonte, v. 9, n. 2, p. 4481-4491, dez. 2016. Editora Blucher. <http://dx.doi.org/10.5151/despro-ped2016-0386>.

OLIVEIRA, Carla Cristina Elias de; BARBOSA, Ana Maria Reis Bedê. Técnicas de Rastreamento e Diagnóstico Precoce do Câncer de Colo Uterino. **Atas de Ciências da Saúde** (ISSN 2448-3753), São Paulo, v. 2, n. 3, set. 2014. ISSN 2448-3753. Disponível em: <http://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/ACIS/article/view/586>. Acesso em: 15 jun. 2021.

OLIVEIRA, Carla Cristina Elias de; BARBOSA, Ana Marina Reis Bedê. Técnicas de Rastreamento e Diagnóstico Precoce do Câncer de Colo Uterino. **Núcleo de Ciências Biológicas e da Saúde Curso de Biomedicina - Centro Universitário Faculdades Metropolitanas Unidas**, [S. l.], p. 1–18, 2014.

PARASHARI, A.; SINGH, V.; SEHGAL, A.; SATYANARAYANA, L.; SODHANI, P.; GUPTA, M. M. Low-cost technology for screening uterine cervical cancer. **Bulletin of the World Health Organization**, [S. l.], v. 78, n. 8, p. 964–967, 2000. DOI: 10.1590/S0042-96862000000800005.

PEREIRA, Felipe Caixeta. **Caracterização do comportamento em fadiga do plástico ABS produzido por extrusão e manufatura aditiva**. [S. l.], p. 121, 2019.

PEREIRA, Mayara Luiza de Sousa; MAIA, Luciana Maria Silva de Seixas. **UTILIZANDO E CONHECENDO O MICROSCOPIO ÓPTICO**. Disponível em: https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/conbracis/2018/TRABALHO_EV108_MD4_SA12_ID1980_08052018182426.pdf. Acesso em: 18 jan. 2022.

PIMENTA, Zélia Maria Santos. Lentes Oftálmicas: Inovações Tecnológicas no Setor

Óptico. [S. l.], p. 1–47, 2016.

PINHO, Adriana de Araujo; MATTOS, Maria Cristina F. Iwama de. Validade da citologia cervicovaginal na detecção de lesões pré-neoplásicas e neoplásicas de colo de útero. **Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial**, [S. l.], v. 38, n. 3, p. 225–231, 2002. DOI: 10.1590/S1676-24442002000300011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1676-24442002000300011&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 17 mar. 2021.

PIONÓRIO, N.; RODRIGUES JUNIOR, J.J.; BERTUOLA, A.C.. Correções da aberração cromática no contexto da óptica geométrica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 3315.1-3315.10, set. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-11172008000300015>.

RAMALHO JÚNIOR, Francisco; FERRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Antônio de Toledo. **Os Fundamentos da Física 2**. 9. ed. [s.l.] : Moderna, 2007.

REGADAS, Joaquim José Linhares Moreira. **Otimização de uma impressora 3D Delta e desenvolvimento da impressão simultânea de 3 cores**. [S. l.], p. 93, 2017. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/105218/2/199523.pdf>.

SELLORS, J. W.; SANKARANARAYANAN, R. Colposcopy and Treatment of Cervical Intraepithelial Neoplasia. A Beginner's Manual. **International Agency for Research on Cancer**, [S. l.], 2003.

SELLORS, John W.; WINKLER, Jennifer L.; KREYSAR, Douglas F.. Illumination, optics, and clinical performance of a hand-held magnified visual inspection device (AviScope™): a comparison with colposcopy. **Jajds Journal Of Acquired Immune Deficiency Syndromes**, [S. l.], v. 37, n. 3, p. 160-166, out. 2004. Ovid Technologies (Wolters Kluwer Health). <http://dx.doi.org/10.1097/00126334-200410013-00005>.

TOMMASELLI, Antonio M. G. ÓTICA FOTOGRAFÉTRICA. *In: Fotogrametria Básica*. [s.l: s.n.]. p. 15–53.

ZIER, Abdiel Filipe; LEMOS, Adriano de Nazaré Ferreira; VOLPATO, Edilson de Melo; FATUCH, Igor de Campos; OLIVEIRA, Rafael Pedro de; SANTOS, Alexandre Maneira dos. **ESTUDO DA PROTOTIPAGEM RÁPIDA POR MEIO DA IMPRESSÃO 3D E SEU EFEITO NA REDUÇÃO DE CUSTOS E PRAZOS DOS PROJETOS DE PRODUTO**. p. 301–318, 2019. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Fae Centro Universitário, Curitiba, 2019

WILTGEN, Filipe. PROTÓTIPOS E PROTOTIPAGEM RÁPIDA ADITIVA - SUA IMPORTÂNCIA NO AUXÍLIO DO DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO. **10º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação**, São Carlos, ago. 2019. ABCM. <http://dx.doi.org/10.26678/abcm.cobef2019.cof2019-0441>.

ANEXO A – DOCUMENTO DE APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Manejo de lesão intraepitelial escamosa no Sistema Único de Saúde

Pesquisador: Rosekeila Simões Nomelini

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 37116220.0.0000.5154

Instituição Proponente: Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Patrocinador Principal: Universidade Federal do Triângulo Mineiro
Universidade Federal de Uberlândia/ UFU/ MG
CONS NAC DE DESENVOLVIMENTO CIENTIFICO E TECNOLOGICO

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 4.597.976

Apresentação do Projeto:

O projeto está sendo reapresentado com o objetivo de atender pendência(s) apontada(s) no parecer nº 4.492.157.

As informações elencadas nos campos “Apresentação do Projeto”, “Objetivo da Pesquisa” e “Avaliação dos Riscos e Benefícios” foram retiradas do arquivo Informações Básicas da Pesquisa (PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO, de 12/02/2021) e do Projeto Detalhado (Projetocep.docx, de 12/02/2021).

Segundo os pesquisadores:

INTRODUÇÃO: "Câncer de colo uterino, lesões precursoras e a citologia cervicovaginal

O câncer de colo uterino é caracterizado por uma replicação celular descontrolada do epitélio de revestimento local, podendo se estender ao estroma e se tornar invasivo a estruturas e órgãos adjacentes. O tumor maligno do tipo epidermóide corresponde a 90% dos casos afetando o epitélio escamoso, enquanto o do tipo adenocarcinoma acomete aproximadamente 10% das mulheres com alterações celulares no epitélio glandular. Sua causa principal é a infecção persistente pelos tipos oncogênicos de Papiloma Vírus Humano (HPV), sendo esperados aproximadamente 570 mil novos

Endereço: Av. Getúlio Guaritá, nº 159, Casa das Comissões

Bairro: Abadia

CEP: 38.025-440

UF: MG

Município: UBERABA

Telefone: (34)3700-6803

E-mail: cep@uftm.edu.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DO
TRIÂNGULO MINEIRO - UFTM



Continuação do Parecer: 4.597.976

casos por ano no mundo, 85% diagnosticados em países em desenvolvimento e 15% em países desenvolvidos. No Brasil, apesar de expressivas diferenças regionais, o câncer de colo uterino é o terceiro em incidência nas mulheres, superado apenas pelas neoplasias malignas de mama e colorretal, com estimativa de 16.710 novos casos, com risco estimado de 16,35 casos a cada 100.000 mulheres para o triênio 2020-2022. É a quarta causa de morte feminina por câncer, sendo esperadas 6.526 mortes para o ano de 2020, de acordo com dados do Instituto Nacional do Câncer. É um tumor maligno raro antes de 30 anos, com pico de incidência entre 45 e 50 anos, com índices de mortalidade progressivos a partir da quarta década de vida (INCA, 2020).

Inicialmente, as lesões cervicais que predisõem ao câncer cervical foram classificadas em displasias leves, moderadas e graves. Com o sistema Bethesda de classificação, as alterações citológicas foram diferenciadas das histopatológicas sendo denominadas, respectivamente, lesão intraepitelial e neoplasia intraepitelial cervical. A lesão intraepitelial de baixo grau (LSIL) é a expressão citológica da neoplasia intraepitelial grau I – NIC I, representando ação transitória do vírus HPV de forma epissomal no terço inferior do epitélio cervical próximo a membrana basal. Por conseguinte, a lesão intraepitelial de alto grau (HSIL) seria o correspondente citológico da neoplasia intraepitelial cervical graus II e III que representa a verdadeira lesão precursora do câncer cervical na qual o HPV provoca modificações citoarquiteturais mais intensas em, no mínimo, dois terços da espessura epitelial do colo uterino (Nayar & Wilbur, 2015).

As Diretrizes Brasileiras de 2011, atualizadas em 2016, recomendam a coleta de citologia cervicovaginal (Papanicolaou) como exame padrão-ouro de rastreamento do câncer de colo uterino. A conduta preconizada pelo Ministério da Saúde para as pacientes com lesão intraepitelial escamosa de baixo grau (LSIL) com menos de 25 anos é repetir a citologia em 3 anos, e pacientes com 25 anos ou mais devem repetir a citologia em 6 meses. No pós-tratamento de NIC de alto grau, a recomendação do Ministério da Saúde é que nos casos em que o exame histopatológico da peça cirúrgica mostrar margens livres de doença ou comprometidas por NIC I, a mulher deverá ser submetida à citologia seis e 12 meses após o procedimento. A colposcopia poderá ser realizada a critério do serviço. Após o primeiro ano, o seguimento deverá ser realizado com citologia anual até completar cinco anos do tratamento na unidade básica de saúde. Nos casos em que o exame histopatológico da peça cirúrgica mostrar qualquer uma das margens comprometidas por NIC II/III, o seguimento deverá ser feito com exame citopatológico e colposcopia semestrais nos primeiros dois anos. Após os dois primeiros anos, o seguimento deverá ser feito com a citologia anual até completar cinco anos do tratamento, na unidade básica de saúde. Em ambos os casos, após os primeiros cinco anos do tratamento a mulher deverá retornar para o rastreamento citopatológico

Endereço: Av. Getúlio Guaritá, nº 159, Casa das Comissões

Bairro: Abadia

CEP: 38.025-440

UF: MG

Município: UBERABA

Telefone: (34)3700-6803

E-mail: cep@uftm.edu.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DO
TRIÂNGULO MINEIRO - UFTM



Continuação do Parecer: 4.597.976

trienal. A história de doença intraepitelial tratada deverá ser informada no pedido do exame citopatológico. Um novo procedimento excisional estará indicado quando houver comprometimento das margens cirúrgicas por NIC II/III, seja ecto- ou endocervical, e não for possível o seguimento por questões técnicas ou da mulher. Na evidência de lesão residual ou recorrente, a mulher deverá ser conduzida da mesma forma quando da lesão inicial (Diretrizes Brasileiras do Rastreamento do câncer do colo do útero 2016).

Colposcopia

A colposcopia é uma técnica de observação ampliada e estereoscópica que permite o estudo da fisiologia e patologia do trato genital inferior e ânus, sendo um método de referência para o diagnóstico de lesões precursoras do câncer de colo uterino. Permite a visualização e avaliação em tempo real do colo uterino para detecção de áreas suspeitas de neoplasia intraepitelial cervical (NIC) e câncer invasivo, além de ser usada como exame complementar em outras patologias doenças do trato genital inferior e ânus. Sua associação ao exame citopatológico vem reduzindo a incidência e mortalidade do câncer cervical uterino, o que se deve em sua grande maioria aos programas de rastreamento e detecção precoce. O exame consiste no uso de um instrumento específico, o colposcópio, que é um aparelho binocular com fonte de luz transmitida por fibra ótica e um filtro (verde ou azul) para análise de rede vascular. São aplicadas, sequencialmente, soluções de: a) ácido acético a 3% ou 5% com a finalidade de desnaturar proteínas intracelulares de áreas epiteliais displásicas de grande atividade viral, tornando-as menos transparentes com efeito de acetobranqueamento, b) iodo/Lugol que determina a quantidade de glicogênio intracelular tornando iodo-claras as áreas de grande atividade displásica com consumo deste, c) bissulfito, que promove descoloração imediata do lugol tornando mais evidentes áreas anormais aceto-reagentes. Assim, são avaliadas alterações na zona de transformação (ZT) e a junção escamocolunar (JEC), auxiliando na identificação das lesões e guiando as áreas alteradas para biópsia (Pretorius et al., 2011). A principal indicação para realização de exame colposcópico consiste na avaliação de mulheres com risco aumentado para neoplasia cervical, apresentando resultados anormais ou inconclusivos nos exames de rastreamento.

HPV

Em 1976, foi mencionado o papel do HPV no condiloma e no câncer genital (Zur Hausen, 1976). Em novembro de 1991, a IARC (International Agency for Research on Cancer) e a OMS (Organização Mundial da Saúde) concluíram oficialmente, baseados em dados laboratoriais e

Endereço: Av. Getúlio Guaritá, nº 159, Casa das Comissões

Bairro: Abadia

CEP: 38.025-440

UF: MG

Município: UBERABA

Telefone: (34)3700-6803

E-mail: cep@uftm.edu.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DO
TRIÂNGULO MINEIRO - UFTM



Continuação do Parecer: 4.597.976

epidemiológicos, a associação entre HPV e câncer cervical, e que a infecção por esse vírus deveria ser considerada fator causal para o desenvolvimento do câncer cervical (Bosch et al., 1992).

A infecção persistente do trato genital feminino por subtipos oncogênicos de HPV é a principal causa de SIL (lesão intraepitelial escamosa) e carcinoma invasivo (Ho et al., 1995; Nobbenhuis et al., 1999). Contudo, a natureza da infecção por HPV limita o uso diagnóstico de testes para esse vírus porque a infecção transitória é comum entre adultos jovens (Evander et al., 1995), enquanto após os 30 anos, os tipos de HPV de alto risco tendem a persistir por mais tempo (Hildesheim et al., 1994). A presença do HPV não estabelece doença clínica e raramente persiste ou progride para doença de alto-grau.

Testes biomoleculares e infecção por Papilomavírus Humano

A captura híbrida é método largamente utilizado pela alta sensibilidade, reprodutibilidade, objetividade, facilidade e acessibilidade para a prática clínica de rotina (Cuzick et al., 1999). Essa técnica é baseada na hibridização de DNA viral de único filamento com 2 cocktails de RNA – probes que reconhecem 13 tipos de HPV de alto-risco e 5 tipos de HPV de baixo-risco. RNA/DNA-híbridos são combinados com anticorpos anti-híbridos marcados e um substrato quimioluminescente, que emite luz medida por um luminômetro. Presença ou ausência de DNA de HPV é definida de acordo com a força em unidades relativas de luz (RLU) comparada com 1pg/ml de controle positivo de DNA de HPV (Prétet et al., 2004).

A técnica de PCR permite a amplificação de sequências de ácido nucléico específico. Para amplificar a fita de DNA viral, a sequência de nucleotídeos deve ser conhecida. Com primers apropriados e condições de temperatura, a síntese de uma fita complementar procede automaticamente por ligação de nucleotídeos livres usando a enzima DNA-polimerase. Após suficiente tempo de alongação para gerar a fita complementar, a mistura pode ser quebrada a altas temperaturas (>93°C) para separar a fita sintetizada do molde, então completando o primeiro ciclo. Cada ciclo sucessivo dobrará a quantidade de DNA, produzindo 230 vezes DNA após 30 ciclos. Após poucas horas, pequenas quantidades de DNA (nanogramas) podem ser transformadas em grandes quantidades (miligramas), que podem ser facilmente manipuladas (Hubbard, 2003).

Apesar do impacto da citologia cervicovaginal em programas de rastreamento do câncer cervical, esse método possui muitas limitações: altas taxas de falsos negativos, a natureza subjetiva do teste, a necessidade de ser repetida em intervalos frequentes, a larga variação de sensibilidade e especificidade entre os laboratórios (Denny & Wright, 2005). Algumas causas podem explicar erro

Endereço: Av. Getúlio Guaritá, nº 159, Casa das Comissões

Bairro: Abadia

CEP: 38.025-440

UF: MG

Município: UBERABA

Telefone: (34)3700-6803

E-mail: cep@uftm.edu.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DO
TRIÂNGULO MINEIRO - UFTM



Continuação do Parecer: 4.597.976

no diagnóstico de neoplasia cervical e lesões precursoras à citologia, como a falta de critérios morfológicos seguros para microinvasão, ausência de amostragem da junção escamo-colunar, e a escassez de células neoplásicas na amostra (Adad et al., 2000). Com isso, tem-se tentado encontrar alternativas para a citologia como teste de screening primário, como adjunto da citologia, no manejo do ASCUS e LSIL, e no seguimento pós-tratamento.

A maioria dos estudos mostra um valor preditivo negativo dos testes biomoleculares para HPV para a detecção de lesões de alto grau que varia de 97 a 100% (Schiffman et al., 2000; Kuhn et al., 2000; Clavel et al., 2001; Franco et al., 2003; Nomelini et al. 2007; Nomelini et al., 2012).

Em relação ao manejo de pacientes com ASCUS e LSIL, o estudo ALTS (ASCUS/LSIL Triage Study) foi um grande trial randomizado designado a avaliar diferentes métodos de manejo de pacientes com citologias mostrando ASCUS ou LSIL, em relação a três estratégias: colposcopia imediata, repetir a citologia ou realização de teste biomolecular para HPV. Kirwan & Herrington (2001) concluíram que um teste de screening combinado ofereceria a possibilidade de maior proteção ou intervalos de screening mais longos, o que reduziria o custo.

A falta de consenso nas diretrizes de manejo para mulheres com lesões cervicais menores, juntamente com novas abordagens de triagem, como a genotipagem do papilomavírus humano (HPV), exigem uma revisão das políticas de prevenção. Um estudo avaliou a relação custo-eficácia de recursos de estratégias alternativas de triagem para a prevenção do câncer cervical na Noruega. O estudo concluiu que novas aplicações do teste de HPV podem melhorar o manejo de mulheres com lesões cervicais menores (Pedersen et al., 2016). Um estudo multicêntrico avaliou o risco de progressão para lesão intraepitelial escamosa de alto grau (HSIL) (NIC II - III) ou câncer invasivo em mulheres com diagnóstico histopatológico de lesão intraepitelial escamosa de baixo grau (LSIL) (NIC I) em até 5 anos. Foram incluídas 434 mulheres com LSIL. A progressão para HSIL histopatológico (NIC II-III) foi encontrada em um total de 32 (7,4%) casos durante 5 anos de seguimento. O diagnóstico histopatológico de NIC III foi encontrado em quatro pacientes (0,9%) e nenhum caso de câncer invasivo foi detectado. A citologia de alto grau e a presença de um teste de DNA do papilomavírus humano de alto risco positivo em 2 anos de seguimento mantiveram uma correlação significativa com o risco de progressão histopatológica para HSIL (CIN2-3) (Ciavantini et al., 2019). Uma revisão sistemática e meta-análise foi realizada para explorar a estratégia de tratamento ideal para mulheres com células escamosas atípicas de significado indeterminado (ASCUS) ou lesões epiteliais escamosas de baixo grau (LSIL) no rastreamento primário na ausência de teste de DNA do HPV. A colposcopia pode ser a primeira escolha quando a boa adesão ao seguimento não é garantida, mas pode aumentar a detecção de lesões pouco

Endereço: Av. Getúlio Guaritá, nº 159, Casa das Comissões

Bairro: Abadia

CEP: 38.025-440

UF: MG

Município: UBERABA

Telefone: (34)3700-6803

E-mail: cep@uftm.edu.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DO
TRIÂNGULO MINEIRO - UFTM



Continuação do Parecer: 4.597.976

significantes. Isso enfatiza a necessidade de um teste de triagem para distinguir mulheres que precisam de investigação diagnóstica daquelas que podem retornar ao rastreamento de rotina (Kyrgiou et al., 2017).

No pós-tratamento, testes biomoleculares para HPV negativos dois anos após o tratamento podem excluir lesão recorrente ou residual com alta probabilidade, o que pode ajudar a estabelecer um guidelines de quando retornar a paciente para os programas de rastreamento populacional. O teste negativo para HPV no pós-tratamento parece ter um alto valor preditivo (Hernádi et al., 2005; Bruhn et al., 2018). Pacientes com infecção persistente por HPV após conização por NIC III devem ser rigorosamente seguidas pelo alto risco de doença recorrente.

Para os países em desenvolvimento, é necessário uma avaliação do papel de novas tecnologias para prevenção do câncer cervical que sejam úteis no contexto da saúde. Porém, um teste positivo para HPV não implica que a mulher tenha NIC ou câncer, mas possui o risco de desenvolver estas lesões. Qualquer combinação de quaisquer testes de screening aumenta a sensibilidade, mas diminui a especificidade e aumenta o custo. Apesar de promissores, há estudos insuficientes demonstrando qual a melhor combinação. O método ideal de screening deveria ser barato, simples, ser aceitável pela população-alvo e pelos profissionais de saúde, ter alta sensibilidade e especificidade, prover um resultado imediato.

É de suma importância promover e incentivar uma utilização mais eficiente e racional dos recursos disponíveis, sem provocar alterações significativas na estrutura organizacional, mas tendo em vista a necessidade de novos métodos que melhorem a prevenção das doenças. No Brasil, os custos para testes biomoleculares de HPV são mais altos que para a citologia oncótica e colposcopia, mas é certo que ocorre uma redução para o uso em grande volume. Além disso, custos são balanceados ou reduzidos se um teste seguramente permitir aumentar os intervalos de screening. É importante ressaltar que, a partir do momento em que se melhoram as ações preventivas, mesmo que com um aumento dos gastos, por outro lado economiza-se um grande gasto posterior com o tratamento de lesões precursoras e do câncer de colo uterino, que inclui não só os gastos com a terapêutica, mas também dias perdidos de trabalho, o que no final representaria economia para o sistema e melhor qualidade de vida para as mulheres".

HIPÓTESE: "A realização de PCR para a pesquisa de HPV de alto risco oncogênico associada a um exame colposcópico com instrumento de baixo custo pode ser mais efetivo, barato e acessível no manejo de mulheres com diagnóstico citológico de lesão intraepitelial de baixo grau e no pós-tratamento de NIC II e III no Sistema Único de Saúde".

Endereço: Av. Getúlio Guaritá, nº 159, Casa das Comissões

Bairro: Abadia

CEP: 38.025-440

UF: MG

Município: UBERABA

Telefone: (34)3700-6803

E-mail: cep@uftm.edu.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DO
TRIÂNGULO MINEIRO - UFTM



Continuação do Parecer: 4.597.976

MÉTODO(S) A SER(EM) UTILIZADO(S): "Serão avaliadas prospectivamente 100 pacientes com diagnóstico de LSIL pela citologia, e 50 pacientes com indicação de tratamento excisional por NIC II ou III, que serão encaminhadas ao ambulatório de Colposcopia do Departamento de Ginecologia e Obstetrícia da UFTM, de 2021 a 2023. As pacientes serão recrutadas a partir do encaminhamento de pacientes com NIC (neoplasia intraepitelial cervical) diagnosticada pelo exame de Papanicolaou nos ambulatórios de Ginecologia Geral do HC/UFTM ou de Unidades de Saúde primárias que também encaminham essas pacientes para o nosso hospital. Serão anotados dados clínicos, colposcópicos, citologia oncológica, parâmetros do hemograma e biópsia em banco de dados específico para o estudo. Os dados serão obtidos dos prontuários das pacientes. Todas as pacientes com citologia mostrando LSIL e aquelas com diagnóstico histológico confirmado de NIC II/III com indicação e cirurgia excisional (alça diatérmica, conização ou histerectomia nos casos de colo aplanado) serão submetidas a colposcopia, biópsia de colo, além de coleta do soro e secreção vaginal. Será realizada a coleta de fragmentos com a pinça de biópsia Professor Medina.

Os critérios de inclusão serão mulheres com diagnóstico citológico de LSIL e HSIL (lesão intraepitelial escamosa de alto grau) de 18 a 80 anos. Os critérios de exclusão serão gestantes, doenças que levem a imunodepressão e história anterior de lesão intraepitelial cervical.

As mulheres com diagnóstico confirmado de NIC I serão submetidas a seguimento semestral, e aquelas cujo diagnóstico histopatológico seja de NIC II e NIC III serão tratadas com excisão da lesão (alça diatérmica ou conização, ou histerectomia nos casos de colo aplanado) e seguimento semestral.

Serão realizados ELISA para a dosagem de citocinas sistêmicas e na secreção vaginal (IL2, IL5, IL6, IL8, IL10, IL12, TNF-alfa, Intérferon-gama e TGF-beta), e imuno-histoquímica para verificar a imunomarcagem estromal de alfa-actina de músculo liso e proteína alfa de ativação de fibroblastos. O mesmos procedimentos serão realizados no seguimento de 6, 12, 18 e 24 meses. Os fragmentos de biópsia de colo serão armazenados em formaldeído para a realização de imuno-histoquímica e anátomo-patológico, e também em trizol para a realização de PCR para HPV.

A profissional que fará a orientação das participantes durante a coleta de amostras será a Dra. Priscila Thais Silva Mantoani.

Colposcopia, aferição da área da lesão e de outros aspectos da imagem

No momento da colposcopia, as imagens serão gravadas, direcionando os melhores locais para a adequada biópsia cervical. As imagens colposcópicas serão capturadas e arquivadas em um banco

Endereço: Av. Getúlio Guaritá, nº 159, Casa das Comissões

Bairro: Abadia

CEP: 38.025-440

UF: MG

Município: UBERABA

Telefone: (34)3700-6803

E-mail: cep@uftm.edu.br



Continuação do Parecer: 4.597.976

de dados do estudo e, posteriormente, analisadas para mensuração da área da lesão. As colposcopias serão registradas e as fotos serão salvas em programa e calculada a área da lesão. E avaliados outros aspectos, como intensidade do eotélio acetobranco e duração da acetoreatividade, dentre outros. Quando as lesões forem múltiplas, será realizado o somatório das áreas de todas as lesões, calculando-se a área total da lesão.

Todas as fotos serão registradas com o mesmo aparelho na mesma ampliação (16x). Portanto, a área da lesão calculada poderá ser comparável entre as pacientes e tem um alto nível de acurácia em relação às medidas. Haveria um erro mínimo que seria o do operador circulando a área da lesão manualmente.

Coleta de secreção vaginal, biópsia de colo e de soro para dosagem de citocinas

As pacientes selecionadas serão encaminhadas ao setor de Colposcopia/Oncologia Ginecológica do Hospital de Clínicas – Universidade Federal do Triângulo Mineiro para realização desse exame, e serão submetidas, mediante consentimento livre e esclarecido, à coleta de secreção vaginal, biópsia da lesão, para diagnóstico por critérios anátomo-patológicos, e coleta de soro para a dosagem de citocinas. As biópsias serão colocadas em formaldeído e serão encaminhadas à Disciplina de Patologia Especial, e as amostras de soro e secreção vaginal serão encaminhadas à Disciplina de Farmacologia. As amostras no Trizol serão armazenados no IPON para posterior PCR. Em 6, 12, 18 e 24 meses de seguimento, os procedimentos para coleta de secreção vaginal, biópsia de colo e coleta de soro para a dosagem de citocinas serão repetidos.

Coleta de soro

A coleta do soro será realizada no dia do exame colposcópico. Amostras de sangue venoso serão coletadas através do sistema à vácuo em tubos com gel separador (BD Vacutainer®). Após 30 minutos de coagulação, as amostras serão centrifugadas em centrífuga refrigerada a 4°C por 10 minutos à 2000 rpm, onde o soro será armazenado em alíquotas de 250µL à -70°C até sua utilização. Os níveis de IL2, IL5, IL6, IL8, IL10, IL12, TNF-alfa, Intérféron-gama e TGF-beta no plasma serão determinados por método imunoenzimático (ELISA), conforme detalhado a seguir. As concentrações serão calculadas através de comparação com curvas-padrão das mesmas.

ELISA

Os níveis das citocinas IL2, IL5, IL6, IL8, IL10, IL12, TNF-alfa, Intérféron-gama e TGF-beta, e no plasma serão determinados por método imunoenzimático (ELISA).

Endereço: Av. Getúlio Guaritá, nº 159, Casa das Comissões

Bairro: Abadia

CEP: 38.025-440

UF: MG

Município: UBERABA

Telefone: (34)3700-6803

E-mail: cep@uftm.edu.br



Continuação do Parecer: 4.597.976

Para a realização do teste, em resumo, serão adicionados aos poços da placa de ELISA, revestida com anticorpo monoclonal contra IL2, IL5, IL6, IL8, IL10, IL12, TNF-alfa, Intérféron-gama e TGF-beta, 100µL de tampão de diluição, padrões diluídos, amostras e controle positivo correspondendo, respectivamente, aos poços branco, curva, amostras e controle positivo. A placa de ELISA será coberta por selante adesivo e incubada 2h em temperatura ambiente em micro agitador de placas. Em seguida, será realizada aspiração e lavagem dos poços 3 vezes com 300µL de tampão de lavagem utilizando-se pipetas multi-canal automáticas. Será retirado totalmente o excesso de líquidos dos poços, adicionando-se, em seguida, 100µL do anticorpo de detecção biotilado contra IL2, IL5, IL6, IL8, IL10, IL12, TNF-alfa, Intérféron-gama e TGF-beta, onde uma segunda incubação será realizada por 2h em temperatura ambiente em microagitador de placas. Será repetida a aspiração e lavagem como descrito acima e após será adicionado 100µL do conjugado de estreptavidina com peroxidase (HRP) e uma terceira incubação será realizada por 1h em temperatura ambiente em microagitador de placas completamente protegida da luz. Serão realizadas as lavagens, e em seguida foi adicionado 100µL em cada poço da solução substrato de tetrametilbenzidina (TMB) incubando a placa por 5min em temperatura ambiente completamente protegida da luz. Após a incubação, serão adicionados em cada poço 100µL da solução de parada (0,5M de HCl). Finalmente, a densidade óptica de cada poço será determinada utilizando um leitor de microplacas fixado para 450nm.

O teste possui um limite de detecção de 1pg/mL, precisão inter-ensaio de 8-10% e precisão intra-ensaio de 4-6%. As concentrações serão calculadas através de comparação com curvas-padrão das mesmas. Os resultados serão expressos em pg/ml.

Imuno-histoquímica

Os espécimes obtidos por biópsia de colo uterino serão processados em parafina e revisados por patologista experiente. Os casos selecionados serão submetidos a novos cortes (4 µm) em lâminas silanizadas (ATPS - Silano, Sigma® A3648), empregando-se a técnica da estreptoavidina-biotina-peroxidase. As lâminas permanecerão em estufa (56°C, 24 h) e a seguir serão desparafinizadas (3 banhos de xilol, 5 min cada) e desidratadas (3 banhos de álcool absoluto e 1 banho de álcool a 80%, 10 seg cada). Após, as lâminas permanecerão em banho (PBS, pH 7.2, 5 min), para hidratação. O excesso de tampão será removido e a borda do corte seca com papel absorvente. Às lâminas será adicionada água oxigenada (3%, 10 min) sobre cada corte, para ocorrer o bloqueio da peroxidase endógena e após será realizada a lavagem em PBS.

Para a recuperação dos antígenos, as lâminas serão colocadas em tubos contendo solução tampão

Endereço: Av. Getúlio Guaritá, nº 159, Casa das Comissões

Bairro: Abadia

CEP: 38.025-440

UF: MG

Município: UBERABA

Telefone: (34)3700-6803

E-mail: cep@uftm.edu.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DO
TRIÂNGULO MINEIRO - UFTM



Continuação do Parecer: 4.597.976

citrato 10 mm (pH 6,0), que serão vedados com papel alumínio e colocados dentro de uma panela a vapor (30 min, 100°C). Os tubos serão retirados e colocados sobre a bancada para resfriamento. Após, as lâminas serão novamente lavadas (3 banhos) em tampão PBS e incubadas com o anticorpo primário (18 h, em câmara úmida, 4°C), diluído em BSA (2%), que permitem bloquear as ligações inespecíficas, para reduzir coloração de fundo. Após a incubação overnight a 4°C com o anticorpo primário específico (anti-SMA, anti-FAP), as lâminas serão colocadas em temperatura ambiente (15 min), lavadas (PBS) e secas. O anticorpo secundário biotilado será adicionado em cada lâmina (30 min, temperatura ambiente, câmara úmida), em seguida ocorrerão lavagens em PBS e as lâminas serão secas. O complexo estreptoavidina peroxidase será adicionado (30 min) nas mesmas condições acima.

Após lavagem em PBS, as lâminas serão reveladas através de solução cromógena (Diaminobenzidine - DAB), por 5 min. Após, as lâminas serão lavadas (água corrente) e contra-coradas em hematoxilina de Harris. Finalmente as lâminas serão imersas em 3 banhos de álcool absoluto (10 seg cada), para retirada do excesso de água, 1 banho de xilol fenicado e 3 banhos de xilol (5 min cada). As lamínulas serão adicionadas sobre as lâminas com entellan para posterior análise.

Serão utilizados controles positivo e negativo. Dois observadores avaliarão as lâminas. A intensidade de imunomarcagem no estroma será avaliada subjetivamente utilizando-se 0 a 3: 0 (nenhuma marcação), 1 (marcação fraca), 2 (marcação moderada), 3 (marcação forte).

PCR (Reação em Cadeia de Polimerase)

Para a obtenção do DNA, o material coletado será estocado em TRIZOL® -70°C e descongelado somente no momento da extração do DNA, no qual será adicionado de 200l de clorofórmio para cada 1,0 ml de TRIZOL® coletado. Após a agitação em vórtex por 15 segundos, incubação a temperatura ambiente por 3 minutos, o material será centrifugado a 12.000 x g por 15 minutos a 4°C. Após centrifugação, a mistura se separa numa fase vermelho-fenol-clorofórmio e em outra incolor aquosa. O DNA se encontra na fase vermelha (fenol-clorofórmio). À fase fenólica, será adicionado 300 l de etanol 100%, com posterior agitação em vórtex por 15 segundos, incubação a temperatura ambiente por cerca de 2 - 3 minutos e centrifugação a 2.000 x g por 5 minutos a 4°C. Após a centrifugação, será observada a separação da amostra em duas fases, sendo que o DNA é encontrado na fase sólida do tubo; o sobrenadante foi removido, e realizada a lavagem do DNA por duas vezes, adicionando 1,0ml de Citrato de Sódio 0,1M a 10% de etanol, com posterior homogeneização em vórtex por 15 segundos, incubação a temperatura ambiente por 30 minutos e

Endereço: Av. Getúlio Guaritá, nº 159, Casa das Comissões

Bairro: Abadia

CEP: 38.025-440

UF: MG

Município: UBERABA

Telefone: (34)3700-6803

E-mail: cep@uftm.edu.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DO
TRIÂNGULO MINEIRO - UFTM



Continuação do Parecer: 4.597.976

centrifugação a 2.000 x g por 5 minutos a 4°C. Após as duas lavagens, adicionar-se á 1,5 ml de etanol 75%, incubou-se por 20 minutos a temperatura ambiente e será centrifugado a 2.000 x g por 5 minutos a 4°C.

Posteriormente, será realizado o protocolo de PCR. Para as reações de PCR, o DNA foi adicionado a uma solução de amplificação, seguindo o protocolo sugerido pelo fabricante (Invitrogen®, Carlsbad, California, USA). Depois, foi realizado o ciclo de amplificação do DNA, com desnaturação, anelamento e polimerização, seguidos de 30 ciclos. A reação será amplificada utilizando um termociclador – eppendorff @com 64 orifícios.

Após a reação de PCR, os produtos da amplificação serão submetidos à eletroforese em géis de poliacrilamida a 14% e corados com prata. Será utilizado um padrão como controle positivo Trackit™ 1kb DNA ladder da Invitrogen®. Foi homogeneizado 10,0 l de amostra amplificada e 3,0 l de buffer adicionando em cada orifício do gel de poliacrilamida 14%. A corrida foi realizada com corrente de 90 volts por aproximadamente 1 hora.

Posteriormente à corrida eletroforética, o gel será colocado em solução fixadora por 15 minutos, esta solução foi desprezada e adicionada solução de Prata por 15 minutos, seguido de uma lavagem em H₂O MILLI-Q e incubação em solução reveladora por aproximadamente 15 minutos, retornando o gel para a solução fixadora por 15 minutos e observando-se as bandas presentes no gel.

Nome do oligonucleotídeo Sequência

HPV 18 F CGACAGGAACGACTCCAACGA
 HPV 18 R GCTGGTAAATGTTGATGATTA
 HPV 16 F CCCAGCTGTAATCATGCATGGAGA
 HPV 16 R GTGTGCCCATTAACAGGTCTTCCA
 HPV alto risco F TTTGTTACTGTGGTAGATACTAC
 HPV alto risco R GAAAAATAAACTGTAAATCATATTC

Este primer diagnostica os subtipos 16, 18, 31, 33 e 35 de HPV de alto risco oncogênico. Posteriormente, caso haja positividade para HPV de alto risco oncogênico, será realizado a genotipagem para verificar o tipo de HPV, bem como a carga viral.

Consentimento e aprovação pelo Comitê de Ética em Pesquisa

Será obtido consentimento de todas as pacientes incluídas no estudo.

Endereço: Av. Getúlio Guaritá, nº 159, Casa das Comissões

Bairro: Abadia

CEP: 38.025-440

UF: MG

Município: UBERABA

Telefone: (34)3700-6803

E-mail: cep@uftm.edu.br



Continuação do Parecer: 4.597.976

Análise estatística

Os resultados serão analisados estatisticamente. Serão utilizados os softwares GraphPad Prism 6, SPSS e MedCalc 19.0.4. Uma curva de característica de operação do receptor (ROC) será usada para obter a área sob a curva (AUC) e determinar os melhores valores de corte entre a área da lesão, e o resultado da biópsia e o resultado do PCR para HPV. Com esse valor de corte, será realizado o teste qui-quadrado. Na avaliação da imuno-histoquímica, também será utilizado o teste qui-quadrado. Na avaliação dos níveis séricos e da secreção vaginal das citocinas, será utilizado ANOVA ou Kruskal-Wallis, conforme o resultado do teste de normalidade da amostra. O nível de significância será menor que 0,05. Além disso, serão elaboradas tabelas com resultado do desempenho da citologia, colposcopia, PCR para HPV de alto risco oncogênico. O desempenho dos testes para NIC no seguimento será calculado tendo como padrão-ouro a citologia + colposcopia com ou sem biópsia. O desempenho dos exames incluirá o cálculo da sensibilidade, especificidade, valor preditivo positivo (VPP), valor preditivo negativo (VPN), utilizando-se IC de 95%. Os custos do uso desses métodos no SUS serão representados por organograma simulando-se o custo de cada método utilizado. Ressalta-se que os custos do PCR serão calculados através do gasto total dividido pelo número de testes realizados. Os custos dos procedimentos já padronizados serão obtidos através da tabela de custos para o SUS (<http://sigtap.datasus.gov.br/tabela-unificada/app/sec/inicio.jsp>).

Na imuno-histoquímica, a concordância interobservador será calculada seguindo a seguinte classificação: $\kappa < 0,4$: concordância leve; $0,4 \leq \kappa < 0,8$: concordância moderada; $0,8 \leq \kappa < 1$: concordância forte; $\kappa > 1$: concordância perfeita".

CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO DOS PARTICIPANTES: "Os critérios de inclusão serão mulheres com diagnóstico citológico de LSIL e HSIL (lesão intraepitelial escamosa de alto grau). Os critérios de exclusão serão gestantes, doenças que levem a imunodepressão e história anterior de lesão intraepitelial cervical".

Objetivo da Pesquisa:

Constam:

"Geral:

Propor ao Sistema Único de Saúde a utilização de PCR para detecção de HPV de alto risco associado à colposcopia com instrumento de baixo custo em pacientes com lesão intraepitelial de

Endereço: Av. Getúlio Guaritá, nº 159, Casa das Comissões	
Bairro: Abadia	CEP: 38.025-440
UF: MG	Município: UBERABA
Telefone: (34)3700-6803	E-mail: cep@uftm.edu.br



Continuação do Parecer: 4.597.976

baixo grau (LSIL) à citologia oncótica e no pós-tratamento de neoplasia intraepitelial cervical (NIC) de alto grau.

Específicos

1. Verificar a eficiência da utilização de PCR para a detecção de HPV de alto oncogênico no diagnóstico de neoplasia intraepitelial em pacientes com lesão intraepitelial de baixo grau à citologia (LSIL) e no pós-tratamento de NIC II/III, e comparar com a conduta preconizada pelo Ministério da Saúde.
2. Comparar os custos utilizando a conduta atual recomendada pelo Ministério da Saúde e a conduta proposta nesse estudo, verificando se haverá impacto econômico, com redução dos custos.
3. Desenvolver um sistema de lentes de baixo custo que pode ser integrado a qualquer telefone celular para a realização de exames colposcópicos eficientes, baratos e acessíveis em qualquer lugar do Brasil, que poderia ser utilizado no protocolo proposto nesse estudo, quando houver positividade do HPV de alto risco oncogênico.
4. Nas pacientes com HPV de alto risco oncogênico, realizar a genotipagem e verificar a relação da carga viral e do tipo de HPV com a presença de lesão de alto grau confirmada por biópsia, com a recidiva da lesão após o tratamento, com alterações do estroma do colo uterino e com os níveis séricos e na secreção vaginal de citocinas (IL2, IL5, IL6, IL8, IL10, IL12, TNF-alfa, Intérféron-gama e TGF-beta).
5. Comparar os níveis dessas citocinas dosadas no soro e secreção vaginal nos períodos de seguimento em 6, 12, 18 e 24 meses, bem como a imunomarcção dos marcadores de estroma.
6. Verificar se aspectos colposcópicos da lesão, como a intensidade do epitélio acetobranco e a duração da acetorreatividade, têm associação com a gravidade da lesão, cujo anátomo-patológico foi confirmado por biópsia de colo uterino. Além disso, aferir o tamanho das lesões, e verificar se há correlação outros fatores, como o grau de NIC confirmado pela biópsia ou com o tipo de HPV.
7. Verificar, num seguimento semestral de até 24 meses, a incidência de NIC II e III no seguimento de pacientes com LSIL, e verificar se há relação com carga viral, tipo de HPV, alterações do estroma do colo uterino e com os níveis séricos e na secreção vaginal das citocinas descritas acima.
8. Verificar, num seguimento semestral de até 24 meses, a incidência de recidiva de NIC II e III no seguimento de pacientes tratadas cirurgicamente por NIC II e III, e verificar se há relação com carga viral, tipo de HPV, alterações do estroma do colo uterino e com os níveis séricos e na secreção vaginal das citocinas descritas acima".

Endereço: Av. Getúlio Guaritá, nº 159, Casa das Comissões

Bairro: Abadia

CEP: 38.025-440

UF: MG

Município: UBERABA

Telefone: (34)3700-6803

E-mail: cep@uftm.edu.br



Continuação do Parecer: 4.597.976

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Segundo os pesquisadores:

"Os riscos são o desconforto na coleta de sangue, biópsia e secreção vaginal, e a perda de confidencialidade, que serão minimizados através da orientação da paciente de que a biópsia já é procedimento de rotina para esse caso independente da pesquisa, e a coleta dos demais materiais demandará um pequeno tempo a mais, de no máximo cinco minutos. A biópsia pode levar a um discreto sangramento de colo uterino, que será minimizado com a colocação de tampão vaginal como curativo. Não há dor para a coleta da secreção vaginal, e a dor para a coleta do sangue é de somente uma punção. A profissional que fará a orientação das participantes durante a coleta de amostras será a Dra. Priscila Thais Silva Mantoani. Em relação à perda de confidencialidade, isso será evitado através da não identificação das pacientes pelo nome, mas por números. Os benefícios serão a proposta de uma forma mais eficaz da prevenção do câncer de colo uterino e lesões precursoras. Isso é importante pela frequência ainda elevada de diagnósticos avançados de câncer de colo uterino no Brasil, que é um tipo de câncer totalmente prevenível por pelo menos 3 recursos (Papanicolaou, uso de preservativo e vacina contra HPV). Dessa forma, melhorando-se as formas de prevenção, com diagnóstico e tratamento de lesões precursoras, haverá uma diminuição da incidência de câncer de colo uterino no país".

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Os pesquisadores propõem a realização de um estudo prospectivo com 100 pacientes com diagnóstico de LSIL por citologia, e 50 pacientes com indicação de tratamento excisional por NIC II ou III, que serão encaminhadas ao ambulatório de Colposcopia do Departamento de Ginecologia e Obstetrícia da UFTM, de 2021 a 2023.

Equipe de pesquisadores vinculada na Plataforma Brasil:

Rosekeila Simões Nomelini (Responsável Principal)

Eddie Fernando Candido Murta (Professor Titular, Medicina, DGO, ICS)

Priscila Thais Silva Mantoani (Médica, Medicina, DGO, ICS)

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Todos os termos obrigatórios foram apresentados adequadamente.

Recomendações:

não há.

Endereço: Av. Getúlio Guaritá, nº 159, Casa das Comissões

Bairro: Abadia

CEP: 38.025-440

UF: MG

Município: UBERABA

Telefone: (34)3700-6803

E-mail: cep@uftm.edu.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DO
TRIÂNGULO MINEIRO - UFTM



Continuação do Parecer: 4.597.976

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

De acordo com as atribuições definidas nas Resoluções CNS 466/12, CNS 510/16 e Norma Operacional 001/2013, a Coordenação do CEP-UFTM manifesta-se pela aprovação ad-referendum do protocolo de pesquisa proposto, situação definida no dia 18/03/2021.

O CEP-UFTM informa que de acordo com as orientações da CONEP, o pesquisador deve notificar na página da Plataforma Brasil, o início do projeto. A partir desta data de aprovação, é necessário o envio de relatórios parciais (semestrais), assim como também é obrigatória a apresentação do relatório final, quando do término do estudo.

Considerações Finais a critério do CEP:

Aprovado ad-referendum pela Coordenação do CEP-UFTM em 18/03/2021.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1618436.pdf	12/02/2021 07:59:58		Aceito
Outros	Respostas.pdf	12/02/2021 07:59:44	Rosekeila Simões Nomelini	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.docx	12/02/2021 07:57:29	Rosekeila Simões Nomelini	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projetocep.docx	12/02/2021 07:57:13	Rosekeila Simões Nomelini	Aceito
Outros	DeclaracaoCOVID.pdf	27/08/2020 08:12:53	Rosekeila Simões Nomelini	Aceito
Outros	AutorizacaoGEP.pdf	27/08/2020 07:55:08	Rosekeila Simões Nomelini	Aceito
Outros	AutorizacaoUASMeDGC.pdf	27/08/2020 07:54:53	Rosekeila Simões Nomelini	Aceito
Folha de Rosto	folhaDeRostoassinada.pdf	27/08/2020 07:54:17	Rosekeila Simões Nomelini	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Endereço: Av. Getúlio Guaritá, nº 159, Casa das Comissões

Bairro: Abadia

CEP: 38.025-440

UF: MG

Município: UBERABA

Telefone: (34)3700-6803

E-mail: cep@uftm.edu.br



Continuação do Parecer: 4.597.976

Não

UBERABA, 18 de Março de 2021

Assinado por:
Alessandra Cavalcanti de Albuquerque e Souza
(Coordenador(a))

Endereço: Av. Getúlio Guaritá, nº 159, Casa das Comissões

Bairro: Abadia

CEP: 38.025-440

UF: MG

Município: UBERABA

Telefone: (34)3700-6803

E-mail: cep@uftm.edu.br

ANEXO B – DOCUMENTO DE PEDIDO DE PATENTE



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIÂNGULO MINEIRO

Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Núcleo de Inovação Tecnológica - NIT/ UFTM
Av. Doutor Randolfo Borges Júnior, 1250 – Univerdecidade – ICTE I
CEP: 38064-200 - Uberaba/MG - (34) 3331-3024 / 3025
nituftm@pesqpg.uftm.edu.br

Declaração nº 01/2023/NIT/UFTM

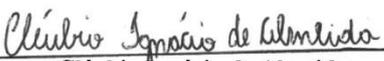
Em, 16 de maio de 2023

A/C Aline Cunha Almeida

Assunto: **Entrega de documentação de Pedido de Patente**

1. Informo para os devidos fins, que Aline Cunha Almeida, brasileira, solteira, discente do Programa de Mestrado em Inovação Tecnológica da UFTM, matrícula nº d202110012, portadora da carteira de identidade nº MG15-284.961, expedida por SSP e do CPF nº 091.776.936-80, entregou a documentação necessária para início do processo de registro de pedido de patente, intitulado **“Colposcópico confeccionado em impressora 3D”**.
2. Face ao exposto, renovo votos de elevada consideração e estima, colocando-me à disposição para demais esclarecimentos que se fizerem necessários.

Atenciosamente,


Clébio Ignácio de Almeida

Núcleo de Inovação Tecnológica – NIT
Universidade Federal do Triângulo Mineiro - UFTM