



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física
POLO DE PORTO VELHO - RO



A FÍSICA COMO BASE DA TELEFONIA MÓVEL

Carlos Arlon Moura Nunes

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Prof. Dr. Judes Gonçalves dos Santos

Porto Velho - RO
10/2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Fundação Universidade Federal de Rondônia
Gerada automaticamente mediante informações fornecidas pelo(a) autor(a)

N972f Nunes, Carlos Arlon Moura.

A física como base de telefonia móvel / Carlos Arlon Moura Nunes. -- Porto Velho, RO, 2021.

70 f. : il.

Orientador(a): Prof. Dr. Judes Gonçalves dos Santos

Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) -
Fundação Universidade Federal de Rondônia

1. Telefonia Móvel. 2. Fibra Óptica. 3. Ondas Eletromagnéticas. I. Santos,
Judes Gonçalves dos. II. Título.

CDU 53.07

Bibliotecário(a) Renata Cortinhas Bulhões

CRB 11/1010

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação em primeiro lugar a Deus e ao meu pai o Sr. Sebastião Batista Nunes, que foi meu maior motivador para a conclusão de mais essa conquista ao longo de minha carreira, ele que sempre esteve ao meu lado mostrando-me os caminhos certos a seguir. Também dedico a minha mãe, Sra. Maria Augusta de Moura Batista, uma mulher vencedora que em meus momentos de desânimo sempre soube como motivar-me com conselhos que só uma mãe sabe dar, ajudando-me a erguer a cabeça e seguir em frente superando os desafios que a vida nos traz. Também dedico à minha esposa, Andréia Doce Souza Nunes, e filhas, Maira Doce Nunes e Gabriele Doce Nunes, pessoas maravilhosas que Deus me presenteou e que são a razão de tudo que faço. Toda dedicação que empenhei nesse produto teve o intuito ajudar o maior número de mentes jovens e curiosas como a minha a entenderem o fascinante mundo da Física e como está diretamente ligado às tecnologias das telecomunicações.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus por ter me concedido vida, saúde, família e oportunidades. Também a todos meus educadores que tive ao longo de minha vida que sem dúvida alguma eu devo esse momento a todos eles.

Agradeço em especial ao meu orientador Professor Doutor Judes Gonçalves dos Santos por sua paciência e por ter acreditado em mim desde o início, sempre disponível me ajudou a retomar este mestrado em um momento agitado em minha carreira.

A todos meus colegas da turma de 2019, com os quais troquei conhecimento e tive muitos momentos de estudo e descontração, é certo que manteremos contato daqui em diante, e também podem contar comigo a qualquer momento.

À Sociedade Brasileira de Física (SBF) que tornou esse momento possível ofertando o presente mestrado por meio da Fundação Universidade Federal de Rondônia (Unir).

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por fomentar mais essa pós-graduação, desse modo contribuindo com para melhoria da educação no Brasil.

RESUMO

A FÍSICA COMO BASE DA TELEFONIA MÓVEL

A presente dissertação mostra como a Física é aplicada no campo das telecomunicações, expõe de uma forma simples e clara, como alguns fenômenos físicos tornam possível nos comunicarmos a velocidade da luz, facilitando nossa vida, economizando tempo e dinheiro. Ajudar também a aumentar a curiosidade dos jovens, mostrando que não existiria telefonia sem o conhecimento de física. Para abordar o assunto de maneira atrativa, elaborei um mapa de transmissão explicativo, o qual faz com que o aluno mantenha toda sua atenção voltada para o assunto e com isso desperte a curiosidade e facilite o aprendizado. O mapa traz os principais elementos de uma rede de telefonia móvel, revelando qual o papel de cada. Também expõe de uma maneira bem simples como determinados fenômenos da física são utilizados para que seja possível estabelecer uma ligação telefônica. O produto dispõe de ícones dos elementos de uma rede de telefonia móvel, que ao serem clicados, trazem um vídeo de ótima qualidade com explicações detalhadas sobre referido elemento, abordando os aspectos físico envolvidos, o que permite uma visualização de como o fenômeno ocorre fisicamente no interior de cada elemento da rede. Alguns dos principais assuntos abordados são: a) a propagação e refração da luz em cabos ópticos, muito usados para transmissão de dados e voz à longa distância; b) digitalização de voz humana relacionada com aparelhos celulares digitais que, antes de transmitir, precisam codificar a voz em binários; c) Espectro de frequências, relacionado com diversos equipamentos que geram ondas eletromagnéticas em diferentes frequências; d) multiplexação e demultiplexação de sinais relacionado com junção de vários sinais para serem transmitidos à outro ponto; e) força gravitacional, relacionada com satélites em órbita, os quais são utilizados para transmissão de dados e voz.

Palavras-chave: Telefonia Móvel, Fibra Óptica, Ondas Eletromagnéticas.

ABSTRACT

PHYSICS AS THE BASIS OF MOBILE TELEPHONY

This dissertation shows how physics is applied in the field of telecommunications, explaining simply and clearly, how some physical phenomena, make it possible to communicate at the speed of light, making our lives easier, saving time and money. It also helps to increase the curiosity of young people, showing that there would be no telephony without knowledge of physics. To approach the subject attractively, I created an explanatory transmission map, which makes the student keep all his attention focused on the subject, thereby arousing curiosity and facilitating learning.

The map shows the main elements of a mobile phone network, showing the role of each individual and collectively, in that network. It also explains in a very simple way, how certain physics phenomena are used so that it is possible to establish a telephone connection. The material has icons of the elements of a mobile phone network, which when clicked, bring a great quality video with detailed explanations about that element, addressing the physical aspects involved, which allows visualization of how the phenomenon occurs physically inside each element of the network. Some of the main subjects covered are a) the propagation and refraction of light in optical cables, widely used for data and voice transmission over long distances; b) digitization of human voice related to digital cellular devices that, before transmitting, need to encode the voice in binaries; c) Frequency spectrum, related to various equipment that generates electromagnetic waves at different frequencies; d) multiplexing and demultiplexing of signals related to the joining of several signals to be transmitted together to another point; e) gravitational force, related to orbiting satellites that are used for data and voice transmission.

Keywords: Mobile telephony, Optical Fiber, Electromagnetic Waves.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Períodos do Desenvolvimento Mental.....	11
Figura 2 – Evolução da telefonia móvel.....	18
Figura 3 - Arquitetura de uma rede 2G.....	19
Figura 4 - Arquitetura de uma rede 3G.....	20
Figura 5 - Arquitetura de uma rede 4G.....	21
Figura 6 - Arquitetura de uma rede 5G.....	22
Figura 7 - Evolução de uma rede 4G em rede MIMO 5G.....	23
Figura 8 – Satélite em órbita geoestacionária.....	25
Figura 9 - Um sinal contínuo (analogico) se transformando em um sinal digital.	25
Figura 10 – conversão do número 45 em binário.	26
Figura 11 - Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo.....	27
Figura 12 – Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência.....	28
Figura 13 - Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo de Frequência	28
Figura 14 - Acesso Múltiplo por Divisão de Código	28
Figura 15 - Equações de Ondas Eletromagnéticas	29
Figura 16 - As correntes através da superfície S_1 e da superfície S_2 são desiguais, apesar de terem o mesmo <i>loop</i> de fronteira C	30
Figura 17 - O espectro eletromagnético, mostrando as principais categorias de ondas eletromagnéticas. A linha divisória entre algumas categorias é distinta, enquanto outras categorias se sobrepõem.	36
Figura 18 - Como os campos E e B propagam-se no espaço	37
Figura 19 - Tipos de reflexão da Luz	42
Figura 20 – Onda incidente entre dois meios	42
Figura 21 - A luz que entra em uma fibra óptica fina pode atingir a superfície interna em ângulos grandes ou rasos que será completamente refletida se esses ângulos excederem o ângulo crítico.	45
Figura 22 - Luz em uma fibra óptica.	46
Figura 23 - A força gravitacional atua ao longo de uma linha que une os centros de massa de dois objetos.	47
Figura 24 - Uma representação tridimensional do campo gravitacional criado pela massa M	48
Figura 25 - A integral do trabalho, que determina a mudança em energia potencial, pode ser avaliada ao longo do caminho.....	49
Figura 26 Um satélite de massa m orbitando no raio r do centro da Terra. A força gravitacional fornece a aceleração centrípeta.....	51
Figura 27 - Uma órbita circular é o resultado da escolha de uma velocidade tangencial, de modo que a superfície da Terra se curva na mesma taxa com que o objeto cai em direção à Terra.	52
Figura 28 - Projeto Mapa de Uma Rede Básica de Telefonia Móvel.....	54
Figura 29 - Central de comutação e controle (CCC).....	55
Figura 30 - Estação Rádio Base.....	56
Figura 31 - Estação Móvel (EM).....	57
Figura 32 - Cabo Óptico	58
Figura 33 – Link Satélite	59
Figura 34 - Alunos interagindo como o produto em suas casas.	60

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Você tem dificuldades em entender os conteúdos de Física?	61
Gráfico 2 - Você acha que a disciplina Física é relevante para sua formação profissional no futuro?.....	62
Gráfico 3 - Você gostaria que os assuntos fossem ensinados mostrando suas aplicações no mundo real?	62
Gráfico 4 - Você já se perguntou como é possível nos comunicarmos instantaneamente por meio de dois aparelhos celulares?	63
Gráfico 5 - Você tem alguma ideia de como é realizada uma ligação entre dois celulares?	63
Gráfico 6 - Na sua opinião, a Física está relacionada com a telefonia móvel?	64
Gráfico 7 - O que achou do conteúdo abordado.	64
Gráfico 8 - O que você achou do modo de abordagem do conteúdo em questão?.....	65
Gráfico 9 - Você gostaria que mais assuntos de Física tivessem uma explicação de como é utilizado no dia a dia, ou seja, no mundo real?.....	65
Gráfico 10 - Após ter interagido com as explicações por meio do arquivo disponibilizado.	66
Gráfico 11 - Na sua opinião de que forma a Física está relacionada com a telefonia móvel?	66

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
2. MOTIVAÇÃO.....	9
3. OBJETIVO GERAL.....	10
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA CONCEITUAL.....	10
4.1. DA PSICOLOGIA DA EDUCAÇÃO.....	10
4.1.1. ESTÁGIOS DO DESENVOLVIMENTO MENTAL DE PIAGET	11
4.1.1.1. SENSÓRIO-MOTOR.....	11
4.1.1.2 PRÉ-OPERACIONAL	12
4.1.1.3. OPERATÓRIO CONCRETO	13
4.1.1.4. OPERACIONAL FORMAL	15
4.2. DA TELEFONIA MÓVEL	18
4.2.2. GERAÇÃO ZERO (0G).....	18
4.2.3. PRIMEIRA GERAÇÃO (1G)	19
4.2.4. SEGUNDA GERAÇÃO (2G)	19
4.2.5. TERCEIRA GERAÇÃO (3G).....	20
4.2.6. QUARTA GERAÇÃO (4G).....	21
4.2.7. QUINTA GERAÇÃO (5G).....	21
4.2.8. SISTEMA MIMO.....	23
4.2.9. ONDAS MILIMÉTRICAS	23
4.2.10. TRANSMISSÃO POR SATÉLITES	24
4.2.11. CONVERSÃO DE SINAL ANALÓGICO PARA DIGITAL	25
4.2.12. CÓDIGO BINÁRIO	26
4.2.13. MÉTODOS DE ACESSO.....	27
4.3. FUNDAMENTAÇÃO DA FÍSICA	29
4.3.1. EQUAÇÕES DE MAXWELL	29
4.3.2. ONDAS ELETROMAGNÉTICAS	36
4.3.3. REFLEXÃO INTERNA TOTAL.....	42
4.3.4. GRAVITAÇÃO.....	46
4.4. ÓRBITAS DE SATÉLITE E ENERGIA	51
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	53
6. PRODUTO	54
6.1. CENTRAL DE COMUTAÇÃO E CONTROLE (CCC).....	55
6.2. ESTAÇÃO RÁDIO BASE (ERB)	55
6.3. ESTAÇÃO MÓVEL (EM).....	57
6.4. TRANSMISSÃO POR CABO ÓPTICO.....	58
6.5. Link Satélite.....	58
6.6. INTERAÇÃO COM O PRODUTO	60
7. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	61
8. CONCLUSÃO.....	67
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

1. INTRODUÇÃO

A vida seria muito diferente sem o telefone, o celular e a *internet*. Tais tecnologias vêm evoluindo ao longo de um período de mais de cem anos e tende a ofuscar o papel dominante que a Física e os físicos têm desempenhado em seu desenvolvimento. As bases da tecnologia da comunicação residem nas descobertas de grandes físicos do início do século XIX como Oersted, Ampère, Faraday, Henry, dentre outros.

Assim sendo, o acoplamento mais próximo entre Física e comunicações ocorreram logo após a invenção do telefone por Alexander Graham Bell em 1876. O conceito de telefone imediatamente chamou a atenção da comunidade científica, na qual a Física do período era voltada para o eletromagnetismo e ondas de propagações. Todos esses conceitos junto à descoberta dos semicondutores em 1948, pelos físicos americanos John Bardeen, Walter Houser Brattain e William Shockley, possibilitou o avanço das telecomunicações (BRINKMAN, 2019).

Desde a sua chegada inicial no final dos anos 1970, as redes e tecnologias celulares evoluíram consideravelmente, com gerações sucessivas de 2G a 5G representando marcos significativos no desenvolvimento da conectividade móvel, melhorando ainda mais nosso modo de viver. Tal avanço tecnológico certamente não teria ocorrido tão rapidamente se não fossem as descobertas da Física ao longo de suas quatro grandes eras que impactaram as comunicações: 1) a era do eletromagnetismo (a partir de 1820); 2) a era do elétron (a partir de 1820); 3) a era da mecânica quântica (começando na década de 1920); e a era da óptica (começando em 1958) (BRINKMAN, 2019).

Em vista disso, o propósito desse trabalho é dar ênfase aos conceitos de física aplicados na tecnologia da telefonia móvel, trazendo à tona a importância da compreensão desta componente curricular. Valendo-se de conceitos da Física que estão inseridos no cotidiano de todos nós, por meio uma infraestrutura de telecomunicações envolvendo aparelhos celulares, ondas eletromagnéticas, transmissão via satélite, cabos ópticos submarinos, dentre outros.

Para atingir os objetivos esperados, confeccionou-se um mapa de uma rede de telefonia com os elementos fundamentais para o seu funcionamento. No primeiro momento, a intenção é mostrar como a Física está inserida em cada elemento de rede por

meio de explicações em vídeos que foram criteriosamente selecionados e editados, estando linkados a cada ícone dos elementos da referida rede. Tal explicação visa motivar o aluno de modo a despertar seu interesse pelos conteúdos que irão ser estudados em sua grade curricular.

2. MOTIVAÇÃO

A interação diária de jovens alunos com aparelhos celulares em qualquer horário do dia ou da noite, seja realizando chamadas de voz ou dados, trouxe a oportunidade de mostrar os fenômenos físicos que tornaram tudo isso possível, trazendo conforto a todos. Ensejando trabalhar alguns conteúdos da Física relacionando-os com suas aplicações em uma rede de telefonia móvel, bem como facilitar a assimilação de conteúdos da Física inseridos nesse contexto, motivou-nos a idealização deste trabalho.

Assim como no modelo básico de uma rede de telefonia móvel que será apresentada aqui, tal método pode ser replicado a outros contextos sempre enfatizando os fenômenos físicos envolvidos em uma visão sistêmica¹.

¹ **Visão sistêmica** significa enxergar e compreender o cenário completo de uma área ou de um negócio, por meio de análises das partes que o formam.

3. OBJETIVO GERAL

Este produto visa a divulgação científica e a conscientização dos principais fenômenos físicos utilizados em uma rede de telefonia móvel, direcionada à professores e alunos do último ano do ensino médio.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA CONCEITUAL

4.1. DA PSICOLOGIA DA EDUCAÇÃO

Para abordagem do tema deste trabalho junto aos alunos, buscou-se referências conceituais de Jean Piaget, mais precisamente focado no conceito do último estágio do desenvolvimento cognitivo, o estágio operatório formal. Ele relaciona o desenvolvimento cognitivo com a aprendizagem formal, simbólica, sistemática e lógica. Tal fase também tem relação com a idade do público alvo, ou seja, adolescentes cursando o ensino médio.

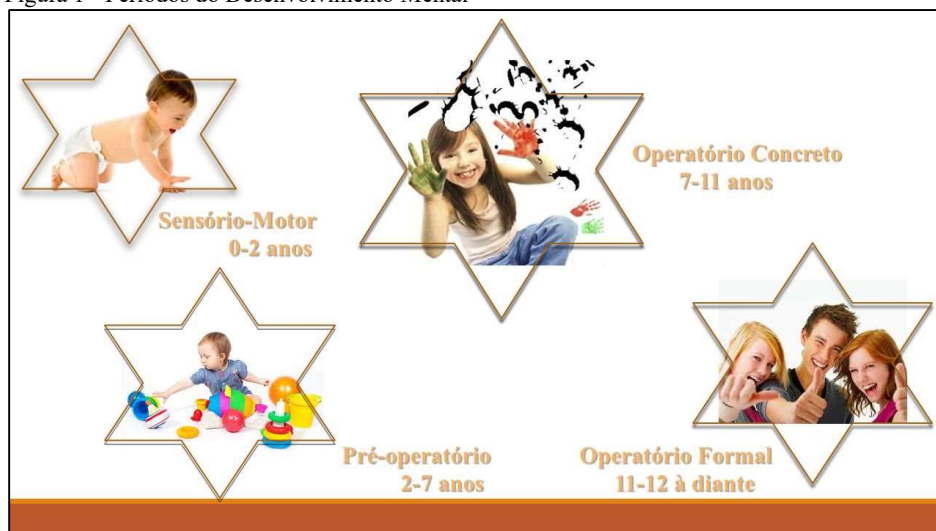
Segundo o Estágios de Desenvolvimento Cognitivo de Jean Piaget, a inteligência vai mudando ao longo do desenvolvimento. O sujeito passa por períodos de reorganização profunda, seguidos de períodos de integração durante os quais um novo estágio é alcançado e as mudanças são assimiladas. Cada estágio de desenvolvimento corresponde um sistema cognitivo específico, que determina todo o funcionamento do sujeito e cada estágio resulta do anterior e prepara o seguinte (JEISY KELI SCHIRMANN, 2020).

Na sequência são abordados os estágios do desenvolvimento cognitivo de Piaget com ênfase ao operatório formal, pois é o estágio que, segundo Piaget, começa entre 11 e 12 anos de idade e continua até a idade adulta.

4.1.1. ESTÁGIOS DO DESENVOLVIMENTO MENTAL DE PIAGET

Piaget identificou quatro estágios primários de desenvolvimento: sensório-motor, pré-operacional, operacional concreto e operacional formal.

Figura 1 - Períodos do Desenvolvimento Mental



Fonte - <https://psicologiaufersa.wordpress.com/>

4.1.1.1. SENSÓRIO-MOTOR

VISÃO GERAL

No estágio sensório-motor, os atributos mentais e cognitivos de uma criança se desenvolvem desde o nascimento até o aparecimento da linguagem. Esta fase é caracterizada pela capacidade da criança de encontrar objetos após terem sido deslocados, mesmo que os objetos tenham saído de seu campo de visão. Por exemplo, os experimentos de Piaget neste estágio incluem esconder um objeto sob um travesseiro para ver se o bebê o encontra (ALESSANDRA SILVA XAVIER, 2015).

O estágio sensório-motor é o mais antigo na teoria do desenvolvimento cognitivo de Piaget. Ele descreveu este período como um período de grande crescimento e mudança.

Durante essa fase inicial de desenvolvimento, as crianças utilizam habilidades com as quais nasceram como olhar, sugar, agarrar e ouvir. Em outras palavras, eles experimentam o mundo e adquirem conhecimento por meio de seus sentidos e movimentos motores. Utilizando a tentativa e erro, as crianças descobrem mais sobre o mundo ao seu redor. Piaget escolheu chamar esse estágio de estágio "sensório-motor"

porque é por meio dos sentidos e das habilidades motoras que os bebês adquirem uma compreensão básica do mundo ao seu redor. As habilidades com as quais um bebê nasce, ou seja, a visão, a audição, o olfato, o paladar e o tato combinadas com capacidades físicas que então se desenvolvendo incluindo tocar, agarrar e saborear, permitem que os bebês interajam e desenvolvam consciência de si mesmos e do que está ao redor deles (LEFMANN, 2013).

À medida que as crianças interagem com seus ambientes, elas passam por uma quantidade surpreendente de crescimento cognitivo em um período de tempo relativamente curto. O estágio sensório-motor vai desde o nascimento até aproximadamente 2 anos de idade.

4.1.1.2 PRÉ-OPERACIONAL

VISÃO GERAL

O estágio pré-operacional é o segundo estágio da teoria do desenvolvimento cognitivo de Piaget. As características desta fase incluem um aumento na habilidade de linguagem, pensamento simbólico, perspectiva egocêntrica e lógica limitada. Nesta segunda fase, as crianças devem se envolver com tarefas de resolução de problemas que incorporam materiais como blocos, areia e água.

Esta fase começa por volta dos 2 anos, quando as crianças começam a falar, e dura até aproximadamente 7 anos. Durante este estágio, as crianças começam a se envolver em brincadeiras simbólicas e aprendem a manipular símbolos.

Piaget observou que as crianças neste estágio ainda não entendem a lógica concreta, não podem manipular mentalmente as informações e são incapazes de assumir o ponto de vista de outras pessoas.

Segundo Piaget, durante o estágio pré-operacional, as crianças também se tornam cada vez mais hábeis no uso de símbolos, como evidenciado pelo aumento de brincar e fingir. Por exemplo, uma criança é capaz de usar um objeto para representar outra coisa, como fingir que uma vassoura é um cavalo por exemplo. A dramatização também se torna importante às crianças que frequentemente desempenham os papéis de "mamãe", "papai", "médico" e muitos outros personagens.

O EGOCENTRISMO

Piaget usou várias técnicas criativas e inteligentes para estudar as habilidades mentais das crianças. Uma das técnicas famosas para demonstrar o egocentrismo envolvia o uso de uma exibição tridimensional de uma cena de montanha. As crianças devem escolher uma imagem que mostre a cena que observaram. A maioria das crianças conseguem fazer isso com pouca dificuldade, em seguida pede-se às crianças que selecionem uma imagem que mostre o que outra pessoa teria observado ao olhar para a montanha de um ponto de vista diferente. Invariavelmente, as crianças quase sempre escolhem a cena que mostra sua própria visão da cena da montanha. De acordo com Piaget, as crianças apresentam essa dificuldade porque são incapazes de assumir a perspectiva de outra pessoa (INHELDER, 2013).

4.1.1.3. OPERATÓRIO CONCRETO

VISÃO GERAL

Neste estágio a criança desenvolve noções de tempo, espaço, velocidade, ordem e casualidade. Um importante conceito desta fase é o desenvolvimento da reversibilidade.

O estágio operacional concreto é o terceiro estágio da teoria do desenvolvimento cognitivo de Piaget. Este período abrange o período da meia infância que começa por volta dos sete anos e continua até aproximadamente aos onze anos. Ele é caracterizado pelo desenvolvimento do pensamento lógico (CARPENDALE, 2017).

O pensamento ainda tende a ser muito concreto, mas as crianças tornam-se muito mais lógicas e sofisticadas em seus pensamentos durante esse estágio de desenvolvimento.

Embora seja um estágio importante, também serve como uma transição entre os estágios iniciais de desenvolvimento e o estágio seguinte, onde as crianças aprenderão a pensar de forma mais abstrata e hipotética.

A LÓGICA

Piaget observou que as crianças no estágio operacional concreto eram bastantes boas no uso da lógica indutiva. A lógica indutiva envolve a passagem de uma experiência específica a um princípio geral (CARPENDALE, 2017).

Um exemplo de lógica indutiva seria perceber que sempre que está perto de um gato, você tem coceira nos olhos, nariz escorrendo e garganta inchada. Você pode então raciocinar, com base nessa experiência, que é alérgico a gatos. Por outro lado, as crianças dessa idade têm dificuldade em usar a lógica dedutiva, que envolve o uso de um princípio geral para determinar o resultado de um evento específico. Por exemplo, uma criança pode aprender que $A = B$ e $B = C$, mas ainda pode ter dificuldade para entender que $A = C$.

A REVERSIBILIDADE

Um desenvolvimento importante neste estágio é a compreensão da reversibilidade ou consciência de que as ações podem ser revertidas.

Um exemplo disso é ser capaz de inverter a ordem das relações entre as categorias mentais. Um exemplo de reversibilidade é que uma criança pode ser capaz de reconhecer que seu cachorro é um Labrador, que um Labrador é um cachorro e que um cachorro é um animal (SCOTT, 2021).

OUTRAS CARACTERÍSTICAS

Outro desenvolvimento importante nesta fase é a compreensão de que quando algo muda de forma ou aparência ainda é o mesmo, um conceito conhecido como conservação.

As crianças neste estágio entendem que se você quebrar uma barra de chocolate em pedaços menores, ela ainda terá a mesma quantidade de quando o doce estava inteiro. Este é um contraste com as crianças mais novas, que muitas vezes acreditam que despejar a mesma quantidade de líquido em duas xícaras significa que há mais.

Por exemplo, se você tem duas barras de chocolate do mesmo tamanho e você quebra uma em dois pedaços de tamanhos iguais, e a outra em quatro seções menores, mas do mesmo tamanho, uma criança que está no estágio operacional concreto entenderá

que as duas barras de chocolate continuam na mesma quantidade, enquanto uma criança mais nova acreditará que a barra que tem mais pedaços é maior do que aquela que tem apenas dois pedaços.

O estágio operacional concreto também é marcado por decréscimos no egocentrismo. Enquanto as crianças no estágio anterior de desenvolvimento, o estágio pré-operacional, lutam para assumir a perspectiva dos outros, as crianças no estágio concreto são capazes de pensar sobre as coisas da maneira que os outros as veem.

Na Tarefa das Três Montanhas de Piaget, por exemplo, as crianças no estágio operacional concreto podem descrever como uma cena de montanha pareceria para um observador sentado à sua frente (BADA KAR, 2017).

Em outras palavras, as crianças não só conseguem começar a pensar sobre como as outras pessoas veem e vivenciam o mundo, mas também passam a usar esse tipo de informação para tomar decisões ou resolver problemas.

4.1.1.4. OPERACIONAL FORMAL

É nesse estágio que se encontram os jovens do ensino médio, os quais fazem parte desta pesquisa, pois o estágio operatório formal se inicia a partir aos doze anos, é nesse estágio em que a estrutura cognitiva alcança seu nível mais elevado de desenvolvimento e se aplica o raciocínio lógico a todas as classes de problemas. Segundo Piaget, nesse estágio também é desenvolvido o raciocínio hipotético dedutível, ou seja, o jovem consegue levantar hipóteses sobre problemas, soluções e também pensar sobre consequências de suas ações por meio de pensamentos dedutíveis.

PESQUISA DE PIAGET

Piaget testou o pensamento operacional formal de algumas maneiras diferentes. Dois dos testes mais conhecidos exploraram a conceituação física e a abstração do pensamento.

EQUILÍBRIO CONCEITUALIZANDO

Uma das tarefas envolvia fazer com que crianças de diferentes idades equilibrassem uma balança prendendo pesos em cada extremidade. Para equilibrar a balança, as crianças precisavam entender que tanto o peso quanto a distância do centro eram relevantes.

Crianças mais novas com idades entre três e cinco anos não conseguiam completar a tarefa porque não entendiam o conceito de equilíbrio. Crianças de sete anos sabiam que podiam ajustar a balança colocando pesos em cada extremidade, mas não entendiam que o lugar onde colocavam os pesos também era importante. Aos dez anos, as crianças consideraram a localização e o peso, mas tiveram que chegar à resposta correta por tentativa e erro (BERGER, 2008).

Foi só por volta dos treze anos que as crianças puderam usar a lógica para formar uma hipótese sobre onde colocar os pesos para equilibrar a balança e, em seguida, concluir a tarefa.

ABSTRAÇÃO DE IDÉIAS

Em outro experimento sobre pensamento operacional formal, Piaget pediu às crianças que imaginassem onde gostariam de colocar um terceiro olho, se tivessem um. As crianças mais novas disseram que colocariam o terceiro olho imaginário no meio da testa. As crianças mais velhas, no entanto, foram capazes de apresentar uma variedade de ideias criativas sobre onde colocar esse olho hipotético e várias maneiras como o olho poderia ser usado.

Por exemplo, um olho no meio da mão seria útil para olhar pelos cantos. Um olho na nuca pode ser útil para ver o que está acontecendo ao fundo (DR SUE DUCHESNE, 2018).

LÓGICA DEDUTIVA

Para Piaget, o raciocínio dedutivo se torna necessário durante o estágio operacional formal. A lógica dedutiva requer a capacidade de usar um princípio geral para determinar um resultado específico. A ciência e a matemática geralmente exigem esse tipo de pensamento sobre situações e conceitos hipotéticos (JEON, 2019).

PENSAMENTO ABSTRATO

Enquanto as crianças tendem a pensar de forma muito concreta e específica nos estágios iniciais, a capacidade de pensar sobre conceitos abstratos emerge durante o estágio operacional formal. Em vez de confiar apenas em experiências anteriores, as crianças começam a considerar os possíveis resultados e consequências das ações. Esse tipo de pensamento é importante no planejamento de longo prazo (WRIGHT, 2016).

SOLUÇÃO DE PROBLEMAS

Nos estágios iniciais, as crianças usam a tentativa e erro para resolverem problemas. Durante o estágio operacional formal, surge a capacidade de resolver sistematicamente um problema de maneira lógica e metódica. As crianças no estágio operacional formal de desenvolvimento cognitivo geralmente são capazes de planejar rapidamente uma abordagem organizada para resolver um problema (SENAN, 2013).

RACIOCÍNIO HIPOTÉTICO DEDUTIVO

Piaget acreditava que o Raciocínio Hipotético Dedutivo era essencial neste estágio do desenvolvimento intelectual. Nesse ponto, os adolescentes tornam-se capazes de pensar em ideias abstratas e hipotéticas. Frequentemente ponderam sobre situações e podem pensar em várias soluções ou resultados possíveis.

Enquanto as crianças no estágio anterior (operacional concreto), são muito particulares em seus pensamentos, as crianças no estágio operacional formal tornam-se cada vez mais abstratas (SENAN, 2013).

IMPORTÂNCIA DA PRÁTICA

Piaget afirma que o ímpeto para a aprendizagem virá do aluno. Implícito nesta declaração está a noção de que o professor deve criar um meio de aprendizagem apropriado de acordo com o nível atual de desenvolvimento cognitivo do aluno.

A teoria de desenvolvimento cognitivo de Piaget é importante para decidir o que e como ensinar. Embora reconheça que existem contra-argumentos e críticas ao seu trabalho, as suas descobertas continuarão a ser relevantes e úteis aos professores (ORR, 1991).

4.2. DA TELEFONIA MÓVEL

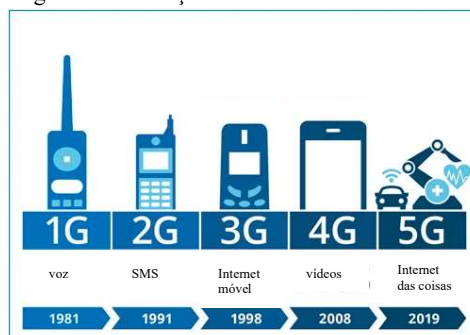
EVOLUÇÃO DA TELEFONIA MÓVEL

As redes móveis estão desenvolvendo-se cada vez mais com os avanços tecnológicos, trazendo melhorias na comunicação cotidiana, tornando comum a comunicação sem a necessidade de cabos conectados.

O início da comunicação sem fio se deu em 1896, desenvolvida pelo cientista Guglielmo Marconi, que criou o primeiro telégrafo sem fio que enviava mensagens aerotransportadas, mais conhecidas como ondas de rádio (tipo de energia que transporta sinais elétricos pelo ar, iniciando assim a comunicação pelo ar por meio dessas ondas).

Com isso, a partir dos estudos e novas formas de transmissão e criação de redes móveis, esses avanços impactaram também na sociedade e na área da saúde, afetando o modo de relacionamento do ser humano em seu cotidiano. Dado o início desta comunicação sem fio, gerações de redes móveis foram criadas (CRISTIAN FILIPE SILVA DE OLIVEIRA, 2019).

Figura 2 – Evolução da telefonia móvel



Fonte – <http://blog.perautomacao.com.br>

4.2.2. GERAÇÃO ZERO (0G)

Refere-se a tecnologia de telefonia móvel pré-celular iniciada em 1970. Esses telefones eram geralmente montados em carros ou caminhões e suas instalações realizadas nos porta-malas dos veículos, conectados ao seu interior, tendo a função de transceptor, embora também tenham sido feitos modelos em caixas.

O telefone sem fio começou com o que pode ser chamado de 0G. Naquela década, antes do celular, havia poucas operadoras móveis para fazer chamadas e poucos canais disponíveis. As tecnologias utilizadas para o funcionamento do sistema 0G foram: PTT (Push to talk), MTS (Mobile Phone System), IMTS (Enhanced Mobile Phone System), AMTS (Advanced Mobile Phone System) (CRISTIAN FILIPE SILVA DE OLIVEIRA, 2019).

4.2.3. PRIMEIRA GERAÇÃO (1G)

A primeira geração da telefonia móvel foi caracterizada pelo uso de sinal analógico em sua forma de comunicação. Foi popularizado na década de 1980, mas apenas a comunicação de voz foi empregada e apresentava uma qualidade de chamada muito ruim devido interferências em sua propagação.

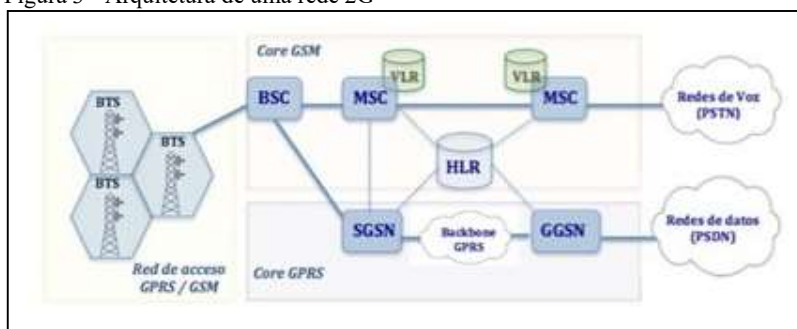
O sistema de comunicação para seu uso foi denominado AMPS (Mobile Telephone System), padrão utilizado na América do Norte e Austrália, por volta de 1983, no qual era utilizada a técnica de Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência (FDMA). Divisão de Frequência, em bandas de 284 MHz a 894 MHz e um canal de frequência de banda de 30 KHz modulado (CRISTIAN FILIPE SILVA DE OLIVEIRA, 2019).

4.2.4. SEGUNDA GERAÇÃO (2G)

Sua implantação teve início na década de 1990, com a implantação do sinal digital, convertendo o antigo sinal de voz analógico para o digital. Seu principal padrão utilizado foi o GSM (Sistema Global de Comunicação Móvel), e se consolidou como principal recurso de conversação por oferecer as operadoras todas ferramentas necessárias.

Essa mudança para a tecnologia digital influenciou o fato de oferecer suporte a um número maior de usuários com uma qualidade de comunicação muito maior na mesma área de cobertura. As principais tecnologias para o uso de 2G foram: GSM², GPRS³ e EDGE⁴.

Figura 3 - Arquitetura de uma rede 2G



Fonte: https://es.wikipedia.org/wiki/Telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil

² **GSM** Sistema Global para Comunicações Móveis. GSM é uma tecnologia móvel para telefones celulares.

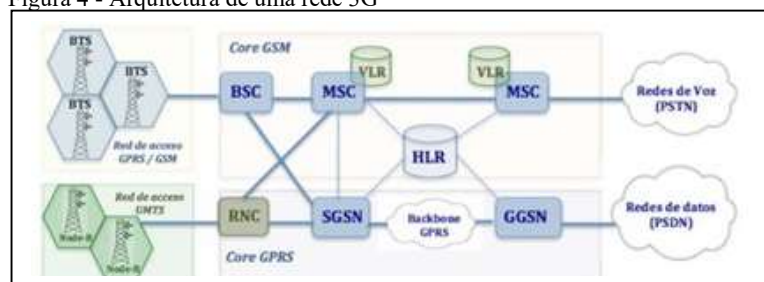
³ **GPRS** é a sigla de *General Packet Radio Services*, ou Serviços Gerais de Pacote por Rádio. GPRS é uma tecnologia que tem o objetivo de aumentar as taxas de transferência de dados entre celulares, facilitando a comunicação e o acesso a redes.

⁴ EDGE ou *Enhanced Data Rates For GSM Evolution* (Taxas de Dados Ampliadas para a Evolução do GSM).

4.2.5. TERCEIRA GERAÇÃO (3G)

A principal característica do 3G era oferecer não só serviços de voz, mas também transferência de dados por meio de imagens, vídeos e áudio. Esta geração de rede móvel ainda é utilizada pela maioria dos usuários de *internet* móvel, inclusive no Brasil, as principais tecnologias utilizadas foram WCDMA, HSPA e HSPA +⁵.

Figura 4 - Arquitetura de uma rede 3G



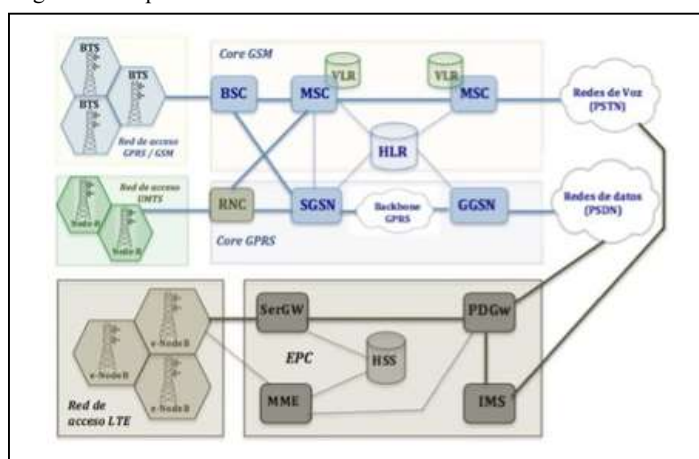
Fonte: https://es.wikipedia.org/wiki/Telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil

⁵ A rede HSPA é considerada uma evolução do 3G rumo ao 4G (algo como o "3.5G"). Sua sigla significa High Speed Packet Access (ou Pacote de Acesso de Alta Velocidade), que amplificava e melhorava o desempenho do 3G através do uso dos protocolos HSDPA e HSUPA. Lançado em 2008 e adotado mundialmente em 2010, o padrão permitia velocidades hipotéticas de até 84 Mbps de download em sua versão atualizada à época, o HSPA+.

4.2.6. QUARTA GERAÇÃO (4G)

A quarta geração de tecnologia de rede móvel avançou com muitas qualidades em relação as gerações anteriores, sendo uma de suas novidades a composição via redes IP⁶. Este protocolo permitiu que vários usuários acessassem a Internet simultaneamente para a utilização de serviços de dados, fotos, vídeos e para melhorar a qualidade das chamadas onde quer que estivessem.

Figura 5 - Arquitetura de uma rede 4G



Fonte: https://es.wikipedia.org/wiki/Telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil

4.2.7. QUINTA GERAÇÃO (5G)

Com a chegada da quinta geração (5G), toda uma infraestrutura será adaptada e ampliada para a operação da nova geração, ou seja, já acoplada às antenas existentes, pois a tecnologia 5G ainda depende do 4G.

O 5G será uma rede de telefonia móvel mais poderosa, rápida, inteligente e eficiente. Uma de suas principais características será uma cobertura mais ampla para os usuários, podendo controlar dispositivos conectados como *smartphones*, eletrodomésticos, carros, sensores de presença, iluminação, caixas de supermercados, restaurantes, entre outros.

⁶ IP (Internet Protocol) é o principal protocolo de comunicação da Internet. Ele é o responsável por endereçar e encaminhar os pacotes que trafegam pela rede mundial de computadores. Pacotes são os blocos de informações enviados na Internet e podem ser considerados como as cartas enviadas pelo serviço de correios.

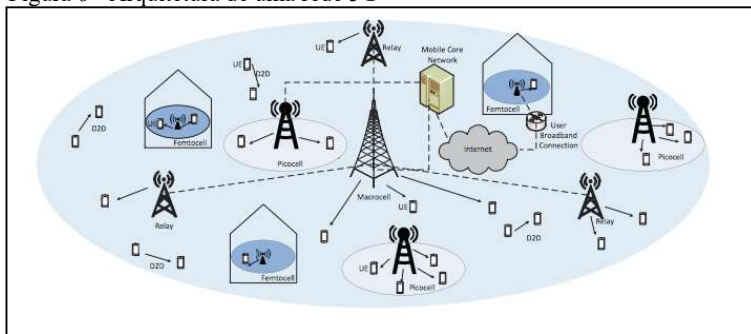
Ele também permitirá maior rendimento, alta confiabilidade, maior densidade de conectividade e maior mobilidade do que as tecnologias anteriores. Para oferecer suporte a uma ampla gama de serviços com requisitos de desempenho variados, as redes 5G exigem uma arquitetura de rede móvel adaptável e programável.

Como nas versões anteriores, o 5G será propagado por ondas eletromagnéticas, sendo diferenciado pelo aumento da frequência da banda da quarta geração (4G).

Em 4G, a largura de banda era de aproximadamente 2 - 8 GHz. Provendo serviços de informação dinâmica, transmissões em HD, acessos simultâneos, vídeo chamadas, entre outros. O 4G passou a ter seu núcleo de rede por IP, diferente do 3G, que funcionava por rede de pacotes.

Para uma adaptação da rede 5G, será necessário o uso de novas tecnologias capazes de suportar todos os requisitos necessários de acesso a grande demanda de serviços, visando a melhoria para maior velocidade, menor latência, maior frequência de transmissão, demonstrando assim melhor eficiência em relação ao uso de tecnologias anteriores (CRISTIAN FILIPE SILVA DE OLIVEIRA, 2019).

Figura 6 - Arquitetura de uma rede 5G



Fonte - <https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/>

4.2.8. SISTEMA MIMO

MIMO MASSIVE (Multiple Input, Multiple Output), também conhecido como sistema de antenas de grande escala, tende a ser a evolução para a comunicação sem fio, em comparação com a tecnologia 4G atual, que só permite a colocação de 8 antenas em sua base, que não atenderia suficientemente a capacidade de milhões de usuários conectados a tecnologia 5G, resultando em lentidão no acesso, atrasos na transmissão e recepção de informações.

Usando essa tecnologia, a rede 5G usaria dois ou mais transmissores e receptores simultâneos, permitindo a troca de dados em pelo menos um canal de rádio.

Figura 7 - Evolução de uma rede 4G em rede MIMO 5G



Fonte - <https://pt.gadget-info.com/14620-what-is-massive-mimo-and-how-it-paves-the-way-for-5gadoption>

4.2.9. ONDAS MILIMÉTRICAS

Ondas milimétricas são ondas que pertencem a uma parte do espectro eletromagnético entre as microondas e as ondas infravermelhas, com seus comprimentos de onda de 1 a 10 milímetros. Eles terão que trabalhar em frequências muito altas nas bandas de 24 e 60 GHz. Porém, sabe-se que quanto menor a frequência, maior o alcance do sinal que será transmitido e com as ondas milimétricas ocorre o inverso já que possuem frequências mais altas, o que as tornam com dificuldades de penetração através de objetos, paredes e até a mão na recepção do sinal no aparelho. Para melhorar este problema de transmissão, deverá ser feita uma análise da infraestrutura de instalação da rede móvel 5G (CRISTIAN FILIPE SILVA DE OLIVEIRA, 2019).

Algumas das alternativas projetadas para lidar com essas restrições internas seriam usar captadores de sinal na parte externa e retransmitir internamente, o que pode representar uma solução para lidar com a dificuldade de recepção em ambientes internos com barreiras de sinal.

4.2.10. TRANSMISSÃO POR SATÉLITES

Os satélites de comunicação são, na sua grande maioria, do tipo Geoestacionários. São assim denominados por serem colocadas em uma órbita sobre o equador de tal forma que o satélite tenha um período de rotação igual ao do nosso planeta Terra, ou seja, 24 horas. Com isso a velocidade angular de rotação do satélite se iguala a do planeta e tudo se passa como se o satélite estivesse parado no espaço em relação a um observador na Terra (TELECO, 2017).

Existem milhares de satélites feitos pelo homem. Alguns tiram fotos de nosso planeta. Alguns tiram fotos de outros planetas, do sol e de outros objetos. Essas fotos ajudam os cientistas a aprender sobre a Terra, o sistema solar e o universo. Outros satélites enviam sinais de TV e chamadas telefônicas ao redor do mundo (NASA, 2017).

Telefonemas para lugares distantes tinham um custo alto, pois é difícil instalar cabos telefônicos em longas distâncias ou debaixo d'água. Com os satélites, os sinais de TV e chamadas telefônicas podem ser enviados para diferentes pontos da Terra.

Do ponto de vista da transmissão, os satélites são simples estações repetidoras de sinais recebidos da Terra que são detectados, deslocados em frequências, amplificados e retransmitidos de volta à Terra. Um satélite típico é composto de uma parte comum “bus” onde se encontram as baterias, painéis solares, circuitos de telemetria e a parte de propulsão. Além do “bus” tem-se a carga útil “payload” composta essencialmente dos circuitos repetidores, denominados “transponders” (TELECO, 2017).

As aplicações em que a comunicação via satélite é mais indicada são aquelas em que:

- Deseja-se espalhar a mesma informação, no *link* de descida, por uma região geográfica muito extensa como, por exemplo, para a TV e a *Internet*.

- Deseja-se atingir localidades remotas como, por exemplo, campos de mineração, madeiras, propriedades rurais, suburbanas e postos em rodovias.
- Deseja-se que o tempo de implantação seja muito rápido ou de uso ocasional, como por exemplo para *shows*, rodeios, corridas de automóvel.

Figura 8 – Satélite em órbita geoestacionária.



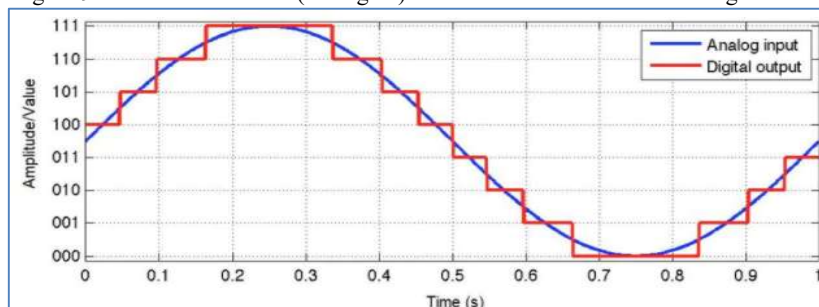
Fonte - www.teleco.com.br

4.2.11. CONVERSÃO DE SINAL ANALÓGICO PARA DIGITAL

Conversores de sinais analógicos para digitais são componentes importantes quando se trata de sistemas digitais que se comunicam em tempo real. Os sinais do mundo real precisam ser lidos para fornecer informações vitais com precisão.

Os sinais analógicos são sinais que possuem uma sequência contínua com valores contínuos. Esses tipos de sinais podem vir de som, luz, temperatura e movimento. Os sinais digitais são representados por uma sequência de valores discretos em que o sinal é dividido em sequências que dependem da série temporal ou da taxa de amostragem.

Figura 9 - Um sinal contínuo (analógico) se transformando em um sinal digital.



Fonte - Waqas Akram - Quantização em ADCs

A taxa de amostragem, também conhecida como frequência de amostragem, pode ser relacionada com a velocidade do conversor.

Logo:

$$Fs = \frac{1}{T}$$

Onde,

F_s = Taxa / frequência de amostragem.

T = período da amostra.

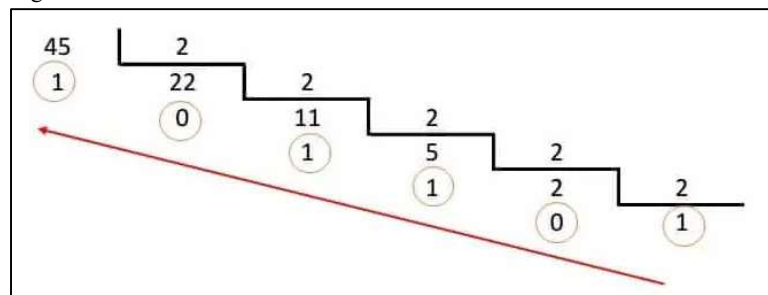
4.2.12. CÓDIGO BINÁRIO

A linguagem digital é o código binário. Ao invés do sistema de base dez utilizado na vida cotidiana, o sistema binário possui base dois. Essa linguagem digital é escrita como uma série de zeros e uns (AUSTEN, 2021).

Para realizar a conversão de decimal para binário, realiza-se a divisão sucessiva por 2 (base do sistema binário). O resultado da conversão será dado pelo último quociente e o agrupamento dos restos de divisão será o número binário.

Por exemplo, convertendo o número 45 em binário:

Figura 10 – conversão do número 45 em binário.



Fonte – Adaptada pelo próprio autor do autor.

A leitura do resultado é feita do último quociente para o primeiro resto. Sendo assim, o resultado da conversão do número 45 para binário é: 101101_2 .

Para converter um símbolo padrão de letra para o código digital (binário), deve-se utilizar o esquema de codificação ASCII⁷, a fim de encontrar a designação numérica de cada letra. Em seguida, usa-se matemática básica para converter o número designado em seu equivalente binário.

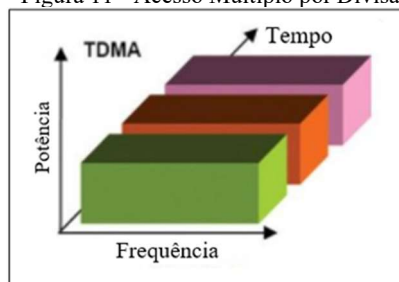
4.2.13. MÉTODOS DE ACESSO

A utilização de uma banda de frequência por vários usuários, implica o estabelecimento de regras para permitir uma partilha justa da largura de banda, de modo a evitar que o mesmo recurso seja utilizado por mais de um usuário ao mesmo tempo, garantindo a qualidade do serviço. Para isso que foram desenvolvidas técnicas de acesso múltiplo.

Os principais são mostrados a seguir:

- **TDMA** (“*Time Division Multiple Access*”) ou acesso múltiplo por divisão de tempo, no qual a cada canal está associado um intervalo de tempo que se repete periodicamente.

Figura 11 - Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo

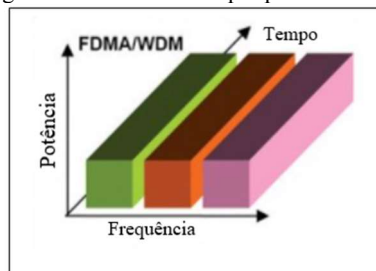


Fonte – Adaptação do Autor

⁷ O ASCII é um código numérico que representa os caracteres, usando uma escala decimal de 0 a 127. Esses números decimais são então convertidos pelo computador para binários e ele processa o comando. Sendo assim, cada uma das letras que você digitar vai corresponder a um desses códigos.

- **FDMA** (“*Frequency Division Multiple Access*”) ou acesso múltiplo por divisão de frequência, no qual a cada canal está associada uma frequência.

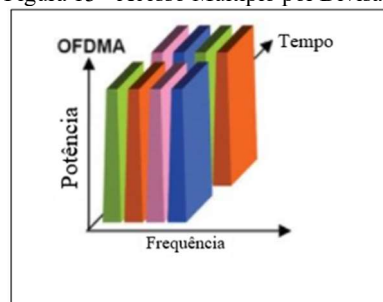
Figura 12 – Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência



Fonte – Adaptação do Autor

- **FTDMA** (“*Frequency Time Division Multiple Access*”) ou acesso múltiplo por divisão de frequência e tempo, que é uma combinação dos dois anteriores, onde cada canal está associado a um par ordenado de frequência e intervalo de tempo;

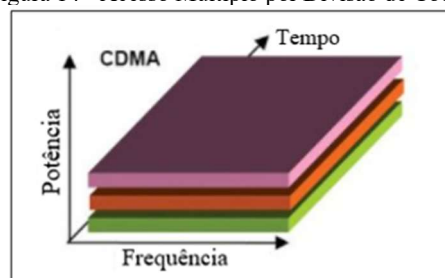
Figura 13 - Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo de Frequência



Fonte – Adaptação do Autor

- **CDMA** (“*Code Division Multiple Access*”) ou acesso múltiplo por divisão de código, que utiliza a técnica de espalhamento espectral (“*spread spectrum*”) onde a cada canal está associado um código, que é a chave de decodificação daquele canal (TELECO, 2017).

Figura 14 - Acesso Múltiplo por Divisão de Código



Fonte – Adaptação do Autor

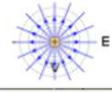
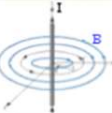
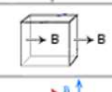
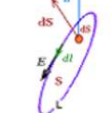
4.3. FUNDAMENTAÇÃO DA FÍSICA

4.3.1. EQUAÇÕES DE MAXWELL

As ondas eletromagnéticas fazem parte de nossas vidas, seja de forma natural, como a luz dos raios solares, ou artificiais como as redes *wi-fi*, televisão e demais ondas produzidas.

As ondas eletromagnéticas são ondas formadas a partir da combinação de campos magnéticos e elétricos que se propagam no espaço carregando energia. Esse conceito começou com o físico escocês James C. Maxwell, que se baseou em equações dos cientistas Coulomb, Ampère, Gauss e Faraday, dando-lhes uma nova visão e formando um conjunto de equações que demonstram a interação entre o campo elétrico e o campo magnético, bem com sua relação com a voltagem e a corrente elétrica (SAMUEL J. LING, 2018).

Figura 15 - Equações de Ondas Eletromagnéticas

Law	Differential Form	Integral Form	Pictorial Form
Coulomb's (1785)	$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$	$\oiint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \iiint \rho \, dV = Q$	
Ampere's (1820, 1861)	$\nabla \times \mathbf{B} - \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = \frac{\mathbf{J}}{c}$	$\oint \mathbf{B} \cdot d\boldsymbol{\ell} - \frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} \iint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \frac{1}{c} \iint \mathbf{J} \cdot d\mathbf{S} = \frac{1}{c} I$	
Gauss's (1813)	$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$	$\oiint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0$	
Faraday's (1831)	$\nabla \times \mathbf{E} + \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = 0$	$\oint \mathbf{E} \cdot d\boldsymbol{\ell} + \frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} \iint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0$	

Fonte - <https://universe-review.ca/R15-25-DiracEq04.htm>

CORREÇÃO DE MAXWELL

As quatro leis básicas da eletricidade e do magnetismo foram descobertas experimentalmente através do trabalho de físicos como Oersted, Coulomb, Gauss e Faraday. Maxwell descobriu inconsistências lógicas nesses resultados anteriores e identificou a incompletude da Lei de Ampère como sua causa.

Segundo a Lei de Ampère, a integral do campo magnético em torno de um circuito fechado C é proporcional a corrente I passando por qualquer superfície cujo limite é o próprio $loop$ C :

Equação 1

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I.$$

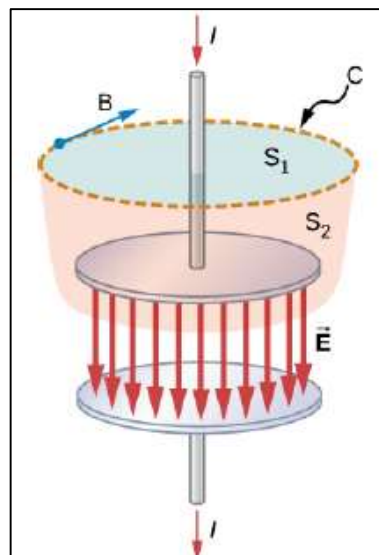
Existem infinitas superfícies que podem ser anexadas a qualquer $loop$ e a Lei de Ampère Equação 1 independe da superfície escolhida.

Considerando a Figura 16 e supondo a aplicação da Lei de Ampère ao $loop$ C mostrado em um momento antes que o capacitor seja totalmente carregado, de modo que $I \neq 0$. A superfície S_1 dá um valor diferente de zero para a corrente fechada I , enquanto a superfície S_2 dá zero para a corrente fechada porque nenhuma corrente passa por ela:

Equação 2

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{s} = \begin{cases} \mu_0 I & \text{se a superfície } S_1 \text{ é usada} \\ 0 & \text{se a superfície } S_2 \text{ é usada} \end{cases}.$$

Figura 16 - As correntes através da superfície S_1 e da superfície S_2 são desiguais, apesar de terem o mesmo $loop$ de fronteira C .



Fonte - (SAMUEL J. LING, 2018)

Faraday mostrou em sua equação que a variação de campos magnéticos no tempo gera campos elétricos e Maxwell pensou que poderia ocorrer o inverso, ou seja, que a variação de campos elétricos no tempo também poderia gerar campos magnéticos, além da corrente. Porém, ao aplicar o divergente na equação de Ampère, havia uma inconsistência física.

$$\begin{aligned}\vec{\nabla} \times \vec{B} &= \mu_0 \vec{J} \Rightarrow \vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} \\ \vec{\nabla} \cdot (\vec{\nabla} \times \vec{H}) &= \vec{\nabla} \cdot \vec{J} = 0 \quad (\text{Divergente de rotacional é nulo}). \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{J} &= 0\end{aligned}$$

Como equação de conservação de energia diz que:

$$\begin{aligned}\vec{\nabla} \cdot \vec{J} &= -\frac{\partial \rho}{\partial t} \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{J} = 0 &\neq \vec{\nabla} \cdot \vec{J} = -\frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (\text{Inconsistência física})\end{aligned}$$

Para corrigir isto, Maxwell acrescentou a corrente de deslocamento.

$$\begin{aligned}\vec{\nabla} \times \vec{H} &= \vec{J} + \vec{J}_d \\ \vec{\nabla} \cdot (\vec{\nabla} \times \vec{H}) &= \vec{\nabla} \cdot \vec{J} + \vec{\nabla} \cdot \vec{J}_d = 0 \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{J} &= -\vec{\nabla} \cdot \vec{J}_d \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{E} &= \frac{\rho}{\epsilon_0} \\ \rho &= \epsilon_0 \vec{\nabla} \cdot \vec{E} \\ \rho &= \vec{\nabla} \cdot \vec{D}\end{aligned}$$

Como:

$$\begin{aligned}\vec{\nabla} \cdot \vec{J} = -\frac{\partial \rho}{\partial t} &\Rightarrow -\vec{\nabla} \cdot \vec{J}_d = -\frac{\partial \rho}{\partial t} \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{J}_d &= \frac{\partial \rho}{\partial t}\end{aligned}$$

Logo,

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{J}_d = \frac{\partial \vec{\nabla} \cdot \vec{D}}{\partial t} \Rightarrow \vec{J}_d = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \frac{\epsilon_0 \partial \vec{E}}{\partial t}$$

Portanto, a lei de Ampère-Maxwell fica:

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{\nabla} \cdot \vec{J} + \vec{\nabla} \cdot \vec{J}_d \therefore \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \text{ (forma diferencial)}$$

$$\oint_c \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \text{ (forma integral)}$$

A corrente de deslocamento é análoga a uma corrente real na Lei de Ampère, é produzida, no entanto, por um campo elétrico variável que produz um campo magnético, assim como uma corrente real, mas a corrente de deslocamento pode produzir um campo magnético mesmo quando nenhuma corrente real está presente.

Quando este termo extra é incluído, a equação da Lei de Ampère modificada torna-se:

Equações 3

$$\oint_c \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I + \epsilon_0 \mu_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$$

Onde a corrente de deslocamento é definida como:

Equações 4

$$I_d = \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$$

Aqui ϵ_0 é a permissividade do espaço livre e Φ_E é o fluxo elétrico, definido como:

Equação 5

$$\Phi_E = \iint_{S_1} \vec{E} \cdot d\vec{A}$$

Analisando agora esta versão modificada da Lei de Ampère para confirmar que ela se mantém independente seja a superfície S_1 ou a superfície S_2 . O campo elétrico \vec{E} correspondente ao fluxo Φ_E na Equações 4 está entre as placas do capacitor. Portanto, o campo \vec{E} e a corrente de deslocamento através da superfície S_1 são ambos zeros, e a Equações 3 torna-se:

Equação 6

$$\oint_c \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I$$

Se na superfície S_2 nenhuma corrente real flui a equação torna-se:

Equação 7

$$\oint_c \vec{E} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \frac{d}{dt} [\epsilon_0 \iint_{S_2} \vec{E} \cdot d\vec{A}]$$

A Lei de Gauss para carga elétrica requer uma superfície fechada e normalmente não pode ser aplicada a uma superfície como S_1 ou S_2 individualmente. Mas as duas superfícies S_1 e S_2 formam uma superfície fechada na Figura 16 e podem ser usadas na Lei de Gauss. Porque o campo elétrico é zero em S_1 , a contribuição de fluxo através de S_1 é zero. Isso nos dá:

$$\begin{aligned} \oiint_{S_1+S_2} \vec{E} \cdot d\vec{s} &= \iint_{S_1} \vec{E} \cdot d\vec{s} + \iint_{Superf S_2} \vec{E} \cdot ds \\ &= 0 + \iint_{S_2} \vec{E} \cdot d\vec{s} \\ &= \iint_{S_2} \vec{E} \cdot d\vec{s} \end{aligned}$$

Portanto, podemos substituir a integral sobre S_2 na Equação 6 com a superfície Gaussiana fechada $S_1 + S_2$ e aplicar Lei de Gauss para obter:

Equação 8

$$\oint_{S_1} \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \frac{dQ_{in}}{dt} = \mu_0 I.$$

Assim, a equação da Lei de Ampère corrigida é a mesma usando a superfície S_2 , onde a contribuição vem do fluxo real de carga elétrica.

Com a correção de Maxwell à lei de Ampère, a corrente de deslocamento, as equações de Maxwell assumem a forma:

Equação 9: Lei de Gauss

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{in}}{\epsilon_0}$$

Equação 10: Lei de Gauss para o Magnetismo

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

Equação 11: Lei de Faraday

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{d\Phi_m}{dt}$$

Equação 12: Lei de Ampère/Maxwell

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I + \epsilon_0 \mu_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$$

Uma vez que os campos foram calculados usando essas quatro equações, a equação de força de Lorentz dá a força que os campos exercem sobre uma partícula com carga q movendo-se com velocidade \vec{v} . A equação de força de Lorentz combina a força do campo elétrico com a do campo magnético na carga em movimento.

Equação 13

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$$

Essas quatro equações de Maxwell são, respectivamente,

1. Lei de Gauss

O fluxo elétrico através de qualquer superfície fechada é igual a carga elétrica Q_{in} envolvida pela superfície gaussiana. Isto significa que existe um monopolo elétrico. A Lei de Gauss Equação 8 descreve a relação entre uma carga elétrica e o campo elétrico que ela produz. Isso é frequentemente retratado em termos de linhas de campo elétrico originadas de cargas positivas e terminando em cargas negativas, indicando a direção do campo elétrico em cada ponto no espaço.

2. Lei de Gauss para o Magnetismo

O fluxo do campo magnético através de qualquer superfície fechada é zero Equação 99. Isso é equivalente à afirmação de que as linhas do campo magnético são contínuas, sem começo ou fim. Qualquer linha de campo magnético entrando na região fechada pela superfície também deve deixá-la.

3. Lei de Faraday

Um campo magnético variável no tempo induz uma força eletromotriz (fem) e, conseqüentemente, um campo elétrico e a direção da fem se opõe à mudança. Ela é chamada lei da indução de Faraday e inclui a Lei de Lenz, que diz que surgirá um campo tentando se opor ao fluxo de campo gerado por uma superfície fechada e isto explica o sinal negativo na equação. O campo elétrico de um campo magnético variável tem linhas de campo que formam circuitos fechados, sem qualquer começo ou fim.

4. Lei de Ampère-Maxwell

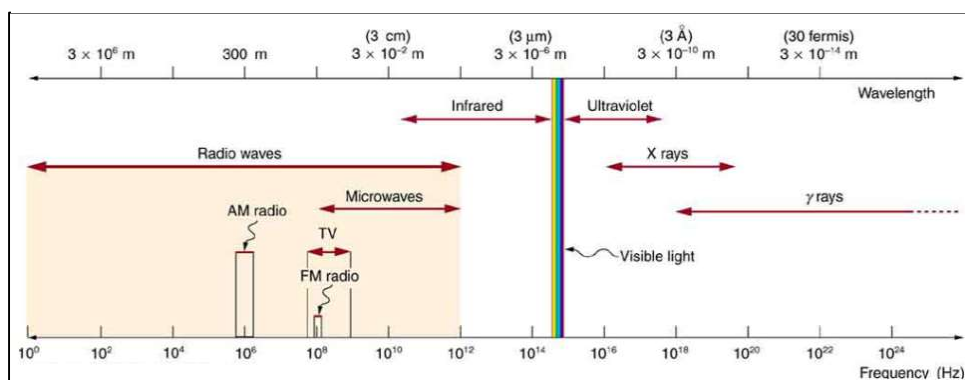
Os campos magnéticos são gerados pelo movimento de cargas ou pela alteração dos campos elétricos. Esta é quarta equação de Maxwell Equação 111 abrange a Lei de Ampère e adiciona outra fonte de campos magnéticos.

As equações de Maxwell e a Lei da força de Lorentz juntas abrangem todas as leis da eletricidade e do magnetismo.

4.3.2. ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

Existem sete tipos de ondas eletromagnéticas, as quais são: ondas de rádio, microondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, raios X e raios gama, classificadas de acordo com suas frequências. Quanto mais alta for a frequência, menor será o comprimento de uma onda dela. Essas ondas são distribuídas pelo chamado espectro eletromagnético Figura 17.

Figura 17 - O espectro eletromagnético, mostrando as principais categorias de ondas eletromagnéticas. A linha divisória entre algumas categorias é distinta, enquanto outras categorias se sobrepõem.



Fonte - <https://courses.lumenlearning.com/boundless-physics/chapter/the-electromagnetic-spectrum/>

O MECANISMO DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

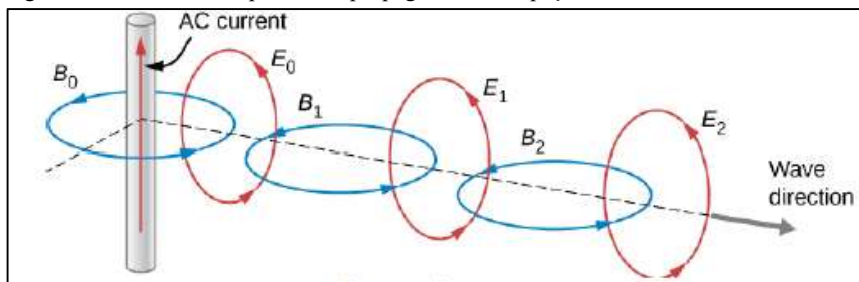
Para ver como a simetria introduzida por Maxwell explica a existência de ondas elétricas e magnéticas combinadas que se propagam através do espaço, imagine um campo magnético variável no tempo $\vec{B}_0(t)$ produzido, como mostrado na Figura 18.

$\vec{B}_0(t)$ foi representado no diagrama por uma de suas linhas de campo. Da lei de Faraday, a mudança do campo magnético através de uma superfície induz um campo elétrico variável no tempo $\vec{E}_0(t)$ no limite daquela superfície.

A fonte de corrente de deslocamento para o campo elétrico, produz apenas *loops* fechados de linhas de campo, por causa da simetria matemática envolvida nas equações

para a eletricidade induzida e campos magnéticos induzidos. Uma representação de linha de campo de $\vec{E}_0(t)$ é mostrado. Por sua vez, a mudança do campo elétrico $\vec{E}_0(t)$ cria um campo magnético $\vec{B}_1(t)$ de acordo com a Lei de Ampère corrigida. Este campo de mudança induz $\vec{E}_1(t)$, que induz $\vec{B}_2(t)$, e assim por diante. Temos, então, um processo contínuo que leva a criação de sistemas elétricos que variam com o tempo (SAMUEL J. LING, 2018).

Figura 18 - Como os campos \vec{E} e \vec{B} propagam-se no espaço



Fonte -SAMUEL J. LING, 2018

As equações de Maxwell constituem uma completa descrição do comportamento clássico dos campos elétrico e magnético. As equações de Maxwell são representadas respectivamente pela lei de Gauss, vinda de Coulomb; a ausência de monopólos magnéticos; a Lei de Faraday da indução eletromagnética e a extensão da Lei de Ampère.

- $\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho$ (Ausência de Monopólos Magnéticos)
- $\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$ (Ausência de Monopólos Magnéticos)
- $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ (Lei de Faraday)
- $\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ (Lei de Ampère-Maxwell)

Onde,

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \text{ e } \vec{B} = \mu \vec{H}$$

Para os meios lineares \vec{D} é o vetor deslocamento, \vec{E} é o campo elétrico, \vec{B} campo magnético induzido, \vec{H} é o campo magnético, \vec{J} é a densidade de corrente e ρ a densidade de carga.

As equações de Maxwell Juntamente com a Força de Lorentz e a segunda Lei de Newton, constituem a base de todas as interações na eletrodinâmica clássica.

Considerando as equações de Maxwell no vácuo, em que $\rho = 0$ e $\vec{j} = 0$, tem-se:

Equação 14

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0$$

Equação 15

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

Equação 16

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \epsilon_0 + \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

Equação 17

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\left. \begin{aligned} \vec{B} &= \mu \vec{H} \\ \mu &= \mu_0(1 + \chi_m) \\ \vec{D} &= \epsilon \vec{E} \\ \epsilon &= \epsilon_0(1 + \chi_e) \end{aligned} \right\}$$

Tomando o rotacional da Equação 14 tem-se:

$$\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{E}) = -\frac{\partial}{\partial t} (\vec{\nabla} \times \vec{B})$$

Mas;

$$\vec{\nabla}_x (\vec{\nabla}_x \vec{a}) = \vec{\nabla} (\vec{\nabla}_x \vec{a}) - \nabla^2 \vec{a}$$

Sendo assim;

Equação 18

$$\vec{\nabla} (\vec{\nabla} \cdot \vec{E}) - \nabla^2 \vec{E} = -\frac{\partial}{\partial t} (\vec{\nabla} \times \vec{B})$$

Substituindo Equação 14 e Equação 16 na Equação 18, chegamos a:

$$\nabla^2 \vec{E} = \frac{\partial}{\partial t} \left(\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right)$$

$$\nabla^2 \vec{E} - \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0$$

Comparando com a forma da equação de onda $\nabla^2 f - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 f}{\partial t^2} = 0$.

Verificou-se que era uma onda se propagando com velocidade $v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon}}$. Maxwell então notou que este valor é igual ao da velocidade da luz e concluiu que a luz é uma onda eletromagnética portanto:

Equação 19

$$\nabla^2 \vec{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0$$

Seguindo de maneira analógica, porém tomando o rotacional da Equação 17, tem-se:

$$\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{B}) = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} (\vec{\nabla} \times \vec{E})$$

$$\vec{\nabla} (\vec{\nabla} \cdot \vec{B}) - \nabla^2 \vec{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} \left(-\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right) \Rightarrow \nabla^2 \vec{B} - \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} = 0$$

Como,

$$\mu_0 \epsilon_0 = \frac{1}{c^2}$$

Logo,

Equação 20

$$\nabla^2 \vec{B} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} = 0$$

As ondas monocromáticas são descritas por uma frequência angular ω e por um vetor de onda \vec{k} que indica a direção e o sentido de propagação da onda:

$$\omega = vk, \text{ no vácuo } \Rightarrow \omega = ck$$

As possíveis soluções das Equação 19 e Equação 20, podem ser descritas por uma função exponencial. Para o campo elétrico fica:

Equação 21

$$\vec{E}_{(\vec{r},t)} = \vec{E}_0 e^{i(\vec{k}\cdot\vec{r}-\omega t)}$$

\vec{E}_0 : *vetor real constante*
 \vec{k} : *vetor de onda*

\vec{E} é o campo elétrico complexo, cuja parte real resulta no campo elétrico real, isto é, $\vec{E}_{(\vec{r},t)} = \mathbb{R}[\vec{E}_{(\vec{r},t)}]$.

Analogamente para o campo magnético, tem-se:

Equação 22

$$\vec{B}_{(\vec{r},t)} = \vec{B}_0 e^{i(\vec{k}\cdot\vec{r}-\omega t)}$$

Sendo que,

$$\vec{B}_{(\vec{r},t)} = \mathbb{R}[\vec{B}_{(\vec{r},t)}]$$

Considerando a Lei de Gauss no vácuo:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0$$

Em coordenadas polares $\Rightarrow \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = i\vec{k} \cdot \vec{E} = 0 \Rightarrow \vec{k} \cdot \vec{E} = 0 \Rightarrow \vec{k} \perp \vec{E}$

O campo elétrico oscila num plano perpendicular à direção de propagação da onda. Fazendo a mesma análise para o campo magnético, usando a equação da ausência de monopólos magnéticos temos:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \Rightarrow \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = i\vec{k} \cdot \vec{B} = 0 \Rightarrow i\vec{k} \cdot \vec{B} = 0 \Rightarrow \vec{k} \perp \vec{B}$$

Portanto, o campo magnético \vec{B} também oscila perpendicularmente à direção de propagação da onda.

Aplicando a Lei de Faraday para as Equação 21 e Equação 22, temos:

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = \left(\frac{\partial}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial}{\partial y} \hat{j} + \frac{\partial}{\partial z} \hat{k} \right) \times (E_{0x} \hat{i} + E_{0y} \hat{j} + E_{0z} \hat{k}) e^{i[(k_x x + k_y y + k_z z) - \omega t]}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ E_{0x} & E_{0y} & E_{0z} \end{vmatrix} e^{i[(k_x x + k_y y + k_z z) - \omega t]}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = \left(-E_{0x} \frac{\partial}{\partial y} \hat{k} - E_{0y} \frac{\partial}{\partial z} \hat{i} - E_{0z} \frac{\partial}{\partial x} \hat{j} + E_{0x} \frac{\partial}{\partial z} \hat{j} + E_{0y} \frac{\partial}{\partial x} \hat{k} + E_{0z} \frac{\partial}{\partial y} \hat{i} \right) e^{i[(k_x x + k_y y + k_z z) - \omega t]}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = \left[\left(E_{0z} \frac{\partial}{\partial y} - E_{0y} \frac{\partial}{\partial z} \right) \hat{i} + \left(E_{0x} \frac{\partial}{\partial z} - E_{0z} \frac{\partial}{\partial x} \right) \hat{j} + \left(E_{0y} \frac{\partial}{\partial x} - E_{0x} \frac{\partial}{\partial y} \right) \hat{k} \right] e^{i[(k_x x + k_y y + k_z z) - \omega t]}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = i(\vec{k} \times \vec{E})$$

Portanto, temos:

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = i \vec{k} \times \vec{E}$$

Como,

$$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -i\omega \vec{B} \quad \text{e} \quad \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \Rightarrow \quad i \vec{k} \times \vec{E} = i\omega \vec{B}$$

Logo,

$$\vec{k} \times \vec{E} = \omega \vec{B}$$

Sendo $\vec{k} = k \hat{n} \Rightarrow \frac{k}{\omega} \hat{n} \times \vec{E} = \vec{B}$

Equação 23

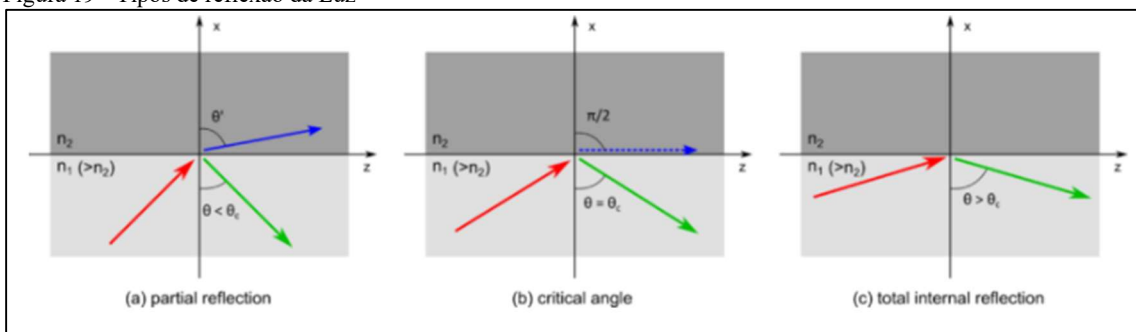
$$\boxed{\vec{B} = \frac{1}{c} \hat{n} \times \vec{E}}$$

Assim, da relação Equação 23 tem-se $\vec{B} \perp \vec{E}$, e os campos oscilam perpendicularmente entre si também com relação à direção de propagação. Tendo \vec{E} e \vec{B} ainda a mesma fase na propagação.

4.3.3. REFLEXÃO INTERNA TOTAL

Podemos produzir reflexão total usando a refração, que é fenômeno em óptica, pelo qual a luz sofre uma reflexão completa em uma interface entre dois meios.

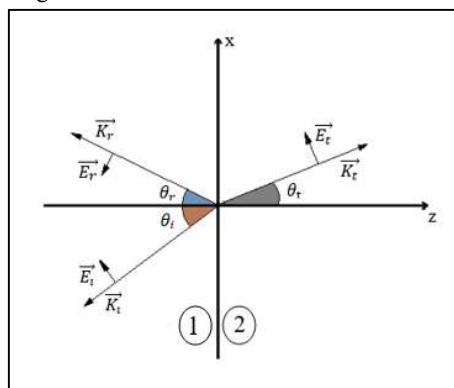
Figura 19 - Tipos de reflexão da Luz



Fonte - <https://www.fiberlabs.com/glossary/total-internal-reflection/>

Considerando uma onda que incide obliquamente entre dois meios, conforme Figura 20, em que os meios 1 e 2 são caracterizados pelos parâmetros ϵ_1, μ_1 e ϵ_2, μ_2 , respectivamente.

Figura 20 – Onda incidente entre dois meios



Fonte – adaptação do autor

Onde:

$\epsilon \rightarrow$ permissibilidade do material

$$\epsilon = \epsilon_0(1 + x_1)$$

$\mu \rightarrow$ permeabilidade do material

$$\mu = \mu_0(1 + x_m)$$

A frequência ω e o módulo do vetor \vec{k} estão relacionados por:

$$\omega = vk \Rightarrow k = \frac{\omega}{v} \quad e \quad v = \frac{c}{\sqrt{\mu\epsilon}}$$

Logo,

$$k = \sqrt{\mu\epsilon} \frac{\omega}{c}$$

Os índices de refração são definidos por $\begin{cases} n_1 = \sqrt{\mu_1\epsilon_1} \\ n_2 = \sqrt{\mu_2\epsilon_2} \end{cases}$

Como a frequência da onda não muda ao sofrer reflexão ou transmissão através da interface, isto é:

$$\omega_i = \omega_t = \omega_r = \omega \Rightarrow k_i v_1 = k_r v_1 = k_t v_2 = \omega$$

$$k_i = k_r = \frac{v_i}{v_1}$$

$$k_i = k_r = \frac{c/n_2}{c/n_1} k_t \Rightarrow \boxed{k_i = k_r = \frac{n_1}{n_2}}$$

A existência de condição de contorno em $z = 0$, obriga a variação espacial e temporal de todos os campos ser iguais na interface ($z = 0$) conseqüentemente, deve-se ter todos os fatores de fase iguais a zero em $z = 0$. Para ser igual com relação às coordenadas espaciais, devemos ter:

$$\vec{k}_i \vec{r} = \vec{k}_r \vec{r} = \vec{k}_t \vec{r}$$

$$k_{ix}x + k_{iy}y = k_{rx}x + k_{ry}y = k_{tx}x + k_{ty}y$$

$$\begin{cases} \text{Para } x = 0 \Rightarrow k_{iy}y = k_{iy}y = k_{ty}y \Rightarrow k_{iy} = k_{ry} = k_{ty} \\ \text{Para } y = 0 \Rightarrow k_{ix}x = k_{rx}x = k_{tx}x \Rightarrow k_{ix} = k_{rx} = k_{tx} \end{cases}$$

As condições acima implicam que $\vec{k}_i, \vec{k}_r, \vec{k}_t$ são coplanares, definindo o plano de incidência que contém também o versor normal a interface. Admitindo como sendo o ângulo entre \vec{k} e o vetor normal, podemos reescrever a equação anterior como:

$$k_{in} = k_{rn} = k_{tn} \Rightarrow k_i \text{sen}\theta_i = k_r \text{sen}\theta_r = k_t \text{sen}\theta_t$$

Logo,

$$k_i = k_r \Rightarrow k_i \text{sen}\theta_i = \left(\frac{n_1}{n_2} k_t\right) \text{sen}\theta_i = k_t \text{sen}\theta_t$$

Portanto, o ângulo de refração na interface de dois materiais é dado pela lei de Snell:

Equação 24 – Lei de Snell

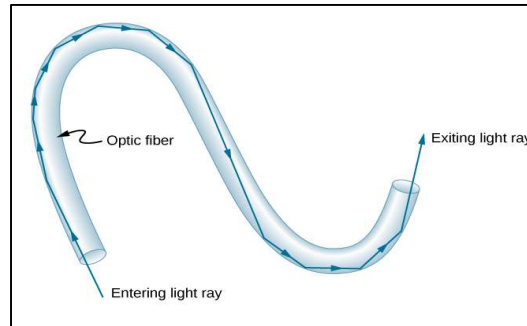
$$n_i \text{sen}\theta_i = n_2 \text{sen}\theta_t$$

Se $n_2 > n_1$, $\theta_t < \theta_i$ e o vetor de onda da onda transmitida se aproxima da normal.

A maioria das fibras ópticas usam a reflexão interna total como meio de confinamento da luz em seu interior.

O fenômeno da reflexão interna total que ocorre no interior das fibras ópticas atua na transmissão da luz com uma alta velocidade que ultrapassa a de todos os outros meios de transmissão. A fibra óptica é um meio de transmissão de dados entre dois pontos através da luz, por isso difere de outros meios de transmissão. O cabo de fibra ótica carrega os dados após transformá-los de sinal elétrico para óptico (SAMUEL J. LING, 2018).

Figura 21 - A luz que entra em uma fibra óptica fina pode atingir a superfície interna em ângulos grandes ou rasos que será completamente refletida se esses ângulos excederem o ângulo crítico.



Fonte -SAMUEL J. LING, 2018

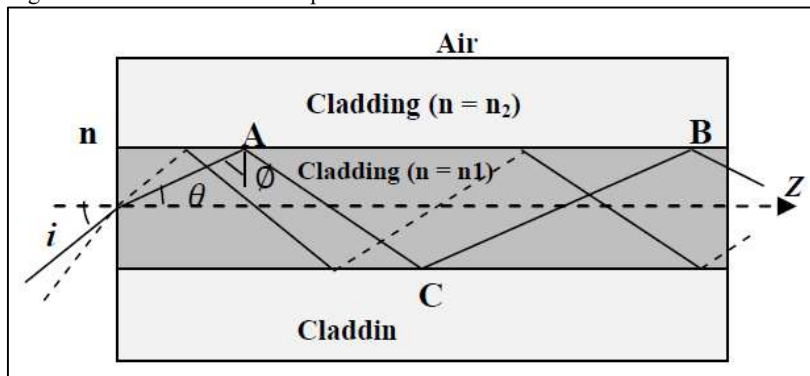
As fibras ópticas são fios de vidro que consistem em um núcleo envolto por um escudo, que é o revestimento, de modo que o índice de refração do núcleo seja maior do que o índice de refração dele. Existem dois tipos de fibras ópticas: monomodo e multimodo. As fibras monomodo têm núcleos de diâmetro pequeno e apenas uma via ou modo, enquanto as fibras multimodo têm núcleo de diâmetro maior. As opções para os ângulos em que a luz pode entrar no cabo são maiores e, portanto, vários caminhos são possíveis.

As fibras multimodo são consideradas as mais utilizadas na área de redes por utilizar a luz com múltiplos caminhos através do núcleo, ela transmite a luz em uma ou mais frequências ao mesmo tempo, seu núcleo é feito de vidro com 62,5 microns até 100 microns e cada modo tem seu campo de transmissão longitudinal. Cada modo tem uma velocidade de transmissão com diferentes períodos de tempo ao passar pelo núcleo da fibra (SAMUEL J. LING, 2018).

Os modos passam com distâncias limitadas na fibra devido a interferência entre os diferentes modos, são conhecidos como ruído modal. A diferença de tempo no envio de sinais, conhecido como comprimento de onda, é chamado de dispersão multipercurso. Podemos calcular a quantidade de dispersão de tempo por unidade de comprimento de fibra.

$$\text{Dispersão/comprimento} = \frac{n_1 \Delta n}{n_2 c}$$

Figura 22 - Luz em uma fibra óptica.



Fonte - (CRISTIAN FILIPE SILVA DE OLIVEIRA, 2019).

4.3.4. GRAVITAÇÃO

Os primeiros filósofos se perguntaram por que os objetos tendem naturalmente a cair em direção ao solo. Aristóteles (384-322 AC) acreditava que era da natureza das rochas buscar a Terra e da natureza do fogo buscar os Céus. Brahmagupta postulou que a Terra era uma esfera e que os objetos possuíam uma afinidade natural com ela, caindo em direção ao centro de qualquer lugar que estivessem localizados, mas foi Isaac Newton conectou a aceleração de objetos próximos a superfície da Terra com a aceleração centrípeta da Lua em sua órbita sobre Terra (TELECO, 2017).

A teoria da relatividade geral proposta por Albert Einstein em 1915 vem com uma perspectiva muito diferente, na qual a gravidade é uma manifestação da deformação da massa no espaço e tempo. As consequências de sua teoria deram origem a muitas previsões notáveis, essencialmente todas as quais foram confirmadas ao longo de as muitas décadas após a publicação da Teoria da Gravidade (SAMUEL J. LING, 2018).

LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL DE NEWTON

Newton observou que os objetos na superfície da Terra a uma distância R do centro da Terra tinham uma aceleração g, e a Lua, a uma distância de cerca de 60 R, tinha

uma aceleração centrípeta cerca de $(60)^2$ vezes menor que g . Ele poderia explicar isso postulando que existe uma força entre quaisquer dois objetos, cuja magnitude é dada pelo produto das duas massas divididas pelo quadrado da distância entre elas. Agora e conhecido que esta lei do inverso do quadrado é onipresente na natureza. A força de qualquer fonte a uma distância r é distribuída sobre a superfície de uma esfera centrada na massa. A área da superfície dessa esfera é proporcional a r^2 (SAMUEL J. LING, 2018).

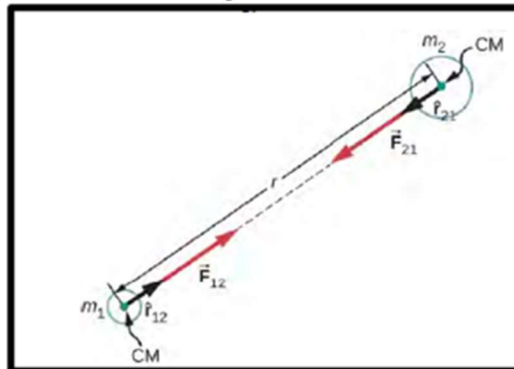
Equação 25- Lei da Gravitação de Newton

$$\vec{F}_{12} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{r}_{12}$$

onde \vec{F}_{12} é a força no objeto 1 exercida pelo objeto 2 e \hat{r}_{12} é um vetor unitário que aponta do objeto 1 em direção ao objeto 2.

Conforme mostrado na Figura 23, o vetor \vec{F}_{12} , do objeto 1 em direção ao objeto 2, representa uma força atrativa entre os objetos, força igual em módulo e de sentido oposto à força \vec{F}_{21} exercida pelo objeto 2 no objeto 1.

Figura 23 - A força gravitacional atua ao longo de uma linha que une os centros de massa de dois objetos.

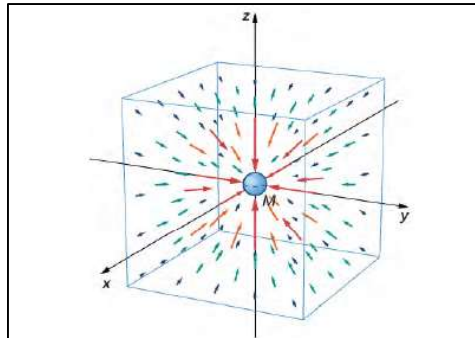


Fonte -SAMUEL J. LING, 2018

O CAMPO GRAVITACIONAL

O campo vetorial representado por \vec{g} é o campo gravitacional causado pela massa M . Podendo imaginar o campo como mostrado na Figura 22. As linhas são direcionadas radialmente para dentro e são distribuídas simetricamente em torno da massa.

Figura 24 - Uma representação tridimensional do campo gravitacional criado pela massa M .



Fonte -SAMUEL J. LING, 2018

Escrevendo a aceleração de uma forma vetorial tem-se:

Equação 26 – Campo Gravitacional.

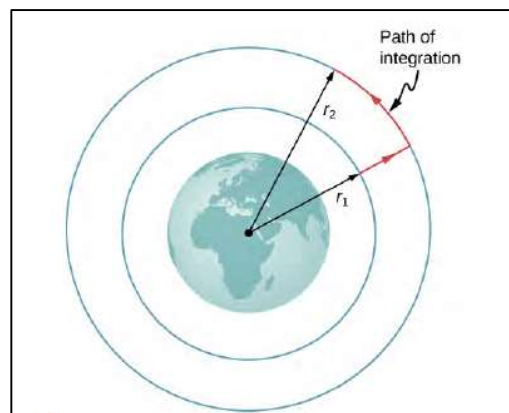
$$\vec{g} = G \frac{M}{r^2} \hat{r}$$

Como acontece com qualquer campo vetorial, a direção de \vec{g} é paralela às linhas do campo em qualquer ponto. A força de \vec{g} em qualquer ponto é inversamente proporcional ao espaçamento entre linhas. Outra forma de afirmar isso é que a magnitude do campo em qualquer região é proporcional ao número de linhas que passam por uma área de superfície unitária, efetivamente uma densidade de linhas. Desde que as linhas estejam igualmente espaçadas em todas as direções, o número de linhas por unidade de área de superfície a uma distância r da massa é o total número de linhas dividido pela área da superfície de uma esfera de raio r , que é proporcional a r^2 . Portanto, esta imagem representa perfeitamente a lei do inverso do quadrado, além de indicar a direção do campo.

ENERGIA POTENCIAL GRAVITACIONAL

Considerando a Figura 25, na qual leva-se o corpo de massa m de uma distância r_1 do centro da Terra para uma distância r_2 . A gravidade é uma força conservadora (sua magnitude e direção são funções apenas da localização), então podemos tomar qualquer caminho que desejarmos que o resultado para o cálculo do trabalho será o mesmo. O caminho mostrado simplifica muito a integração.

Figura 25 - A integral do trabalho, que determina a mudança em energia potencial, pode ser avaliada ao longo do caminho.



Fonte -SAMUEL J. LING, 2018

Primeiro move-se radialmente até r_1 , em seguida para r_2 e, por fim move-se ao longo do arco de um círculo até chegar ao final da posição. Durante a porção radial, \vec{F} é oposta a direção em que se viaja ao longo de $d\vec{r}$, então $E = K_1 + U_1 = K_2 + U_2$. Ao longo do arco \vec{F} é perpendicular a $d\vec{r}$, então $\vec{F} \cdot d\vec{r} = 0$. Nenhum trabalho é realizado conforme move-se ao longo do arco. Usando a expressão para a força gravitacional e observando os valores de $\vec{F} \cdot d\vec{r}$ ao longo dos dois segmentos do nosso caminho, temos:

a) Ao longo do raio;

$$\Delta U = - \int_{r_1}^{r_2} \vec{F} \cdot d\vec{r} = -GM_E m \int_{r_1}^{r_2} \frac{d\vec{r}}{r^2} = -GM_E m \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right).$$

Como $\Delta U = U_2 - U_1$, pode-se adotar uma expressão simples para U:

Equações 27 – Energia Potencial Gravitacional

$$U = - \frac{GM_E m}{r}$$

b) Ao longo do arco;

A expressão para energia potencial na equação de conservação de energia, tem-se que:

$$E = K_1 + U_1 = K_2 + U_2.$$

Equações 28 – conservação de energia.

$$\frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{GM_E m}{r_1} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{GM_E m}{r_2}$$

VELOCIDADE DE ESCAPE

A velocidade de escape é muitas vezes definida como a velocidade inicial mínima de um objeto necessária para escapar da superfície de um planeta (ou qualquer grande corpo como uma lua) e nunca mais voltar. Como de costume, presumimos que não há perda de energia para a atmosfera.

Considerando o caso em que um objeto é lançado da superfície de um planeta com uma velocidade inicial direcionado para longe do planeta. Com a velocidade mínima necessária para escapar, o objeto acabaria por parar infinitamente longe, ou seja, o objeto cede o que resta de sua energia cinética assim que atinge o infinito, onde a força da gravidade torna-se zero. Uma vez que $U \rightarrow 0$ como $r \rightarrow \infty$, isso significa que a energia total é zero. Assim, encontramos a velocidade de escape da superfície de um corpo de massa M e raio R definindo a energia total igual a zero. Na superfície do corpo, o objeto está localizado em $r_1 = R$ e tem velocidade de escape $v_1 = v_{esc}$. Atinge $r_2 = \infty$ com velocidade $v_2 = 0$. Substituindo na Equações 28, temos:

$$\frac{1}{2}mv_{esc}^2 - \frac{GMm}{R} = \frac{1}{2}m0^2 - \frac{GMm}{\infty} = 0$$

Resolvendo, obtém-se a velocidade de escape:

Equações 29 – Velocidade de escape.

$$v_{esc} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

A velocidade de escape é a mesma para todos os objetos, independentemente da massa. Também não se restringe à superfície do planeta, R pode ser qualquer ponto de partida além da superfície do planeta (TELECO, 2017).

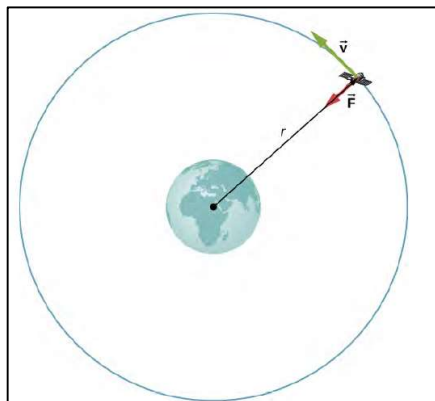
4.4. ÓRBITAS DE SATÉLITE E ENERGIA

Nicolaus Copernicus sugeriu pela primeira vez que a Terra e todos os outros planetas orbitam o Sol em círculos. Ele observou ainda que os períodos orbitais aumentavam com a distância do sol. Posteriormente Kepler mostrou que essas órbitas são na verdade elipses. A distância orbital da Terra ao Sol varia apenas 2%. A exceção é a órbita excêntrica de Mercúrio, cuja distância orbital varia quase 40%.

Determinar a velocidade orbital e o período orbital de um satélite é muito mais fácil para órbitas circulares. Considerando um satélite de massa m em uma órbita circular em torno da Terra a uma distância r do centro da Terra **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, a aceleração centrípeta direcionada para o centro da Terra, tem-se que a gravidade da Terra é a única força agindo, utilizando a segunda Lei de Newton, tem-se:

$$\frac{G_m M_E}{r^2} = m a_c = \frac{m v_{orbt}^2}{r} \therefore a_c = \frac{v_{orbt}^2}{r}$$

Figura 26 Um satélite de massa m orbitando no raio r do centro da Terra. A força gravitacional fornece a aceleração centrípeta.



Fonte -SAMUEL J. LING, 2018

Simplificando m tem-se:

Equações 30 – Velocidade Orbital

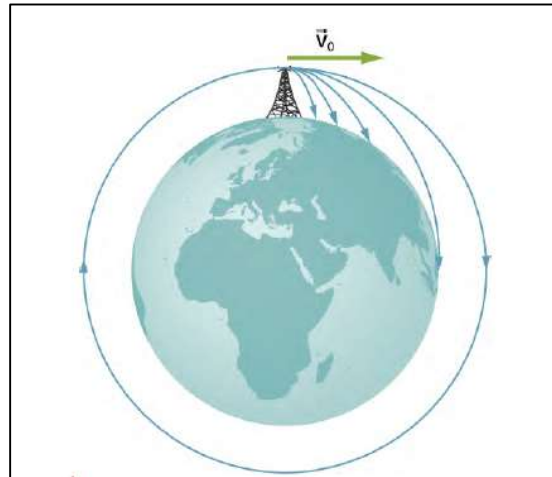
$$v_{orbt} = \sqrt{\frac{GM_E}{r}}$$

A velocidade de escape e a velocidade orbital dependem apenas da distância do centro do planeta e não da massa do objeto que está sofrendo a ação. Observando a semelhança nas equações para v_{orb} e v_{esc} . A velocidade de escape é exatamente $\sqrt{2}$ vezes maior, cerca de 40% do que a velocidade orbital. Para encontrar o período de uma órbita circular, nota-se que o satélite percorre a circunferência da órbita $2\pi r$ em um período T . Usando a definição de velocidade, temos $v_{orb} = 2\pi r / T$. Substituído na Equações 30 e reorganizando obtém-se:

Equações 31

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM_E}}$$

Figura 27 - Uma órbita circular é o resultado da escolha de uma velocidade tangencial, de modo que a superfície da Terra se curva na mesma taxa com que o objeto cai em direção à Terra.



Fonte 1 - (SAMUEL J. LING, 2018).

Para que um satélite entre em órbita é necessário que atinja uma velocidade de pelo menos 28.800 Km/h. Com essa velocidade, se posicionarmos o satélite a 36.000 Km de altitude, acima do equador, ele ficará numa órbita geostacionária (TELECO, 2017).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia do presente projeto foi desenvolvida em uma Escola Estadual da zona norte de Manaus, e contou com a participação de onze (11) alunos de uma turma do terceiro ano do Ensino Médio.

Devido restrições impostas pela pandemia de Covid-19, houve a necessidade de fazer algumas adaptações no produto original de modo a viabilizar sua aplicação, migrando de um projeto físico para um que pudesse ser aplicado remotamente sem prejuízos ao objetivo almejado.

Sendo assim, foram utilizadas ferramentas que possibilitaram a aplicação e avaliação do produto de forma remota. Nesse contexto, foram utilizadas algumas ferramentas, tais como: um canal na plataforma YouTube, Aplicativo WhatsApp, *software* de edição de vídeo e o aplicativo de gerenciamento de pesquisa Google Form.

Para a confecção do produto foi realizada uma compilação de figuras (ícones), relacionadas com os principais elementos de uma rede de telefonia móvel, de modo a exibí-los em uma imagem única mostrando-os inseridos de forma sistêmica. Em seguida alguns vídeos foram cuidadosamente selecionados e editados para melhor compreensão. Por fim foi criado um canal no Youtube para hospedagem dos vídeos mencionados, bem como acesso facilitado por meio de um dispositivo móvel, no qual cada figura foi associada a um *link* específico para possibilidade de acesso com um click direto na imagem.

No primeiro momento, foram ministradas aulas como o objetivo de esclarecimento sobre produto e o método de aplicação, incluindo um resumo dos fenômenos físicos abordados no projeto. Em seguida foi dada liberdade a quem quisesse participar e interagir, com o intuito de agregar conhecimento e estimular a curiosidade dos alunos interessados pela Física.

Por meio de um grupo formado no WhatsApp, foi solicitado que todos respondessem um questionário prévio montado no Google Formulário, no qual haviam algumas perguntas relacionadas a dificuldades de compreensão de física, relevância desta disciplina na formação profissional, aplicação dos conceitos de física no mundo real,

aplicação da física nos fenômenos de comunicação, conhecimento sobre funcionamento de aparelhos celulares e como a física se relaciona com a telefonia móvel.

Logo após a aplicação do questionário preliminar foi disponibilizado o arquivo do produto educacional para que os alunos interagissem o máximo possível com o prazo de uma semana, durante a qual as dúvidas foram esclarecidas por meio de um grupo criado no aplicativo WhatsApp.

Ao final foram aplicadas as perguntas pós aplicação, que se relacionaram especificamente com o entendimento do assunto discutido previamente, bem como o nível de satisfação com o produto.

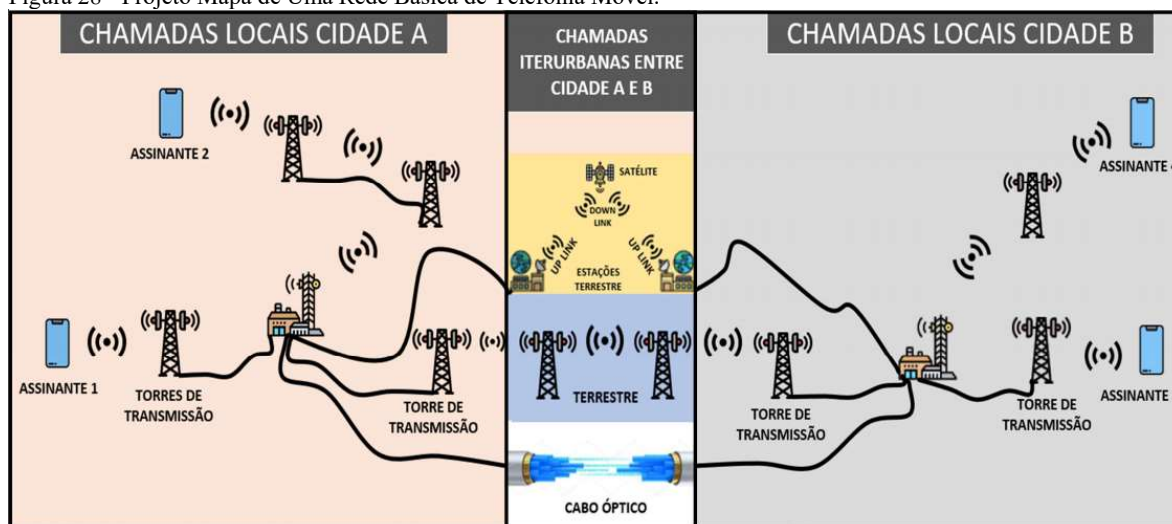
6. PRODUTO

O produto desenvolvido trata-se de um arquivo no formato pdf, onde é mostrada uma rede básica de telefonia móvel, por meio de ícones associados a *links*, que ao serem acessados, trazem exemplificações da aplicação de fenômenos físicos na referida rede.

Uma rede de telefonia móvel é formada basicamente de uma Central de Comutação e Controle (CCC), Estações Rádio Bases (ERB's), Estações Móveis (EM's) e Meios de Transmissão (*Link's*).

Os elementos de rede são fundamentais para que se estabeleça uma comunicação entre dois pontos distantes, mas havendo a interrupção em qualquer um deles toda a rede ficará inoperante (TELECO, 2017).

Figura 28 - Projeto Mapa de Uma Rede Básica de Telefonia Móvel.



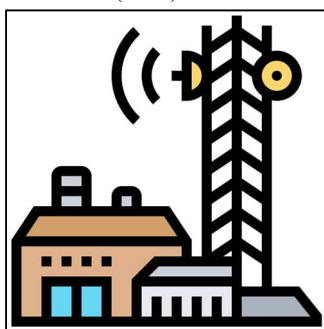
Fonte – Compilação do Autor

6.1. CENTRAL DE COMUTAÇÃO E CONTROLE (CCC)

VIDEO 1

O vídeo 1 (<https://youtu.be/sZqFI1oxl6k>), mostra como são realizados os direcionamentos das ligações realizada, tal vídeo oportuniza a explicação de como os meios de transmissão se conectam, de modo físico em uma análise sistêmica, ensinado que a voz ou dados gerados por um usuário terá que percorrer um logo caminho até alcançar seu destino.

Figura 29 - Central de comutação e controle (CCC)



Fonte - <https://www.iconfinder.com/>

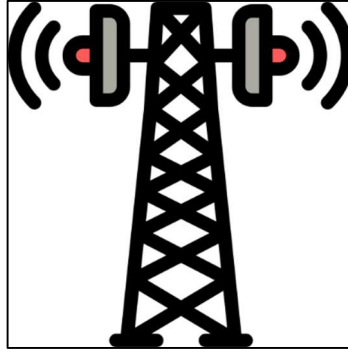
A central de comutação e controle é o “cerebro” de uma rede de telefonia e é para lá onde migram todas as informações das ligações dos assinantes, as quais são encaminhadas por meio de Estações Rádio Base (ERB’s), fibras ou outro meio de transmissão para estabelecer o encaminhamento dessas chamadas pra seu destino. A CCC também é responsável por outras importantes funções, como: Comutação e controle das ERB’s (Estações Rádio Base); processamento de chamadas e *handoff* (troca de célula); sistema de bilhetagem (tarifação); prover a interface entre a rede telefônica e o sistema celular; comunicar-se com outros sistemas celulares; monitorar e controlar as chamadas; interligar as várias Estações Rádio Base (ERB’s); supervisionar o estado do sistema; administrar o sistema (TELECO, 2017).

6.2. ESTAÇÃO RÁDIO BASE (ERB)

VIDEO 2

O vídeo 2 (<https://youtu.be/A6v1e7Mk0ag>), explora como a voz é transmitida utilizando-se de dois meios de transmissão, ondas eletromagnéticas e cabo óptico, possibilitando se mostrar a utilidade do eletromagnetismo e dos fenômenos ópticos na telefonia móvel.

Figura 30 - Estação Rádio Base.



Fonte - <https://www.iconfinder.com/>

As Estações Rádio Base são equipamentos que fazem a conexão entre os telefones celulares e a companhia telefônica.

Uma ERB típica é composta dos seguintes elementos:

- Uma infraestrutura adequada de instalação dos equipamentos de telecomunicação incluindo a parte civil, elétrica, climatização e fontes retificadoras dotadas de baterias com boa autonomia para o caso de falta de energia comercial os equipamentos não fiquem inoperantes.
- Torre para instalação de um sistema irradiante para comunicação com os terminais móveis e enlaces de rádio para transmissão de dados e voz.

SISTEMA DE RÁDIO CONTENDO:

- Receptores (Rx);
- Transmissores (Tx);
- Combinadores;
- Divisores;
- Filtros e antenas.

SISTEMA DE PROCESSAMENTO E CONTROLE CONTENDO:

- Processador de controle;
- Multiplexadores;
- Cabos coaxiais;
- Painéis de controle;
- Interface com a CCC por MUX a 2Mbps ou mais.

6.3. ESTAÇÃO MÓVEL (EM)

VIDEO 3

O vídeo 3 (<https://youtu.be/9JJ6EsWJnWQ>), que apresenta o papel que uma estação móvel (aparelho celular) desempenha na rede de telefonia. Nele são expostos alguns aspectos físicos como codificação binária, digitalização da voz humana, utilização e otimização do espectro de frequência pelas operadoras por meio de técnicas de acesso múltiplo. Também mostra o avanço da tecnologia da telefonia móvel de um ponto de vista físico.

Figura 31 - Estação Móvel (EM)



Fonte - <https://www.iconfinder.com/>

As Estações Móveis comunicam-se diretamente com as Estações Rádio Base e trocam informações por meio de “uplink” e “downlink” e indiretamente com a Central de Comutação e Controle (CCC), utilizando meios de transmissão de voz e dados dedicados. Uma ERB só troca dados com uma única CCC, enquanto que uma CCC comunica-se com várias ERBs. Além disso, é a CCC que faz a conexão com a rede pública e outras CCC’s (TELECO, 2017).

As principais funções de uma Estação Móvel são:

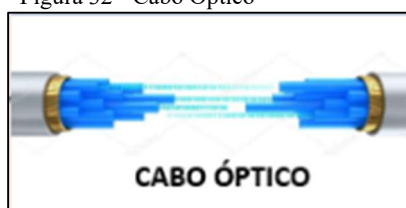
- Prover a interface entre usuário e o sistema;
- Converter sinais de áudio em sinais de Rádio Frequência (RF), e vice-versa;
- Responder a comandos enviados pelo sistema;
- Alertar usuário sobre chamadas recebidas;
- Alertar o sistema sobre tentativas de originar chamadas.

6.4. TRANSMISSÃO POR CABO ÓPTICO

VIDEO 4

O vídeo 4 (<https://youtu.be/EyWx8qx95QQ>), explica como a refração da luz é utilizada no interior das fibras ópticas, possibilitando a transmissão de voz e dados a longa distância. Mostra também seu processo físico de construção e os procedimentos necessários para o funcionamento desse meio de transmissão.

Figura 32 - Cabo Óptico



Fonte - <https://www.iconfinder.com/>

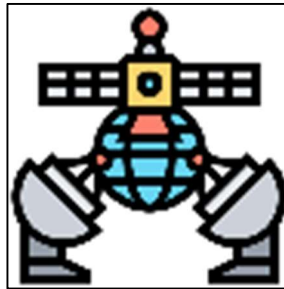
A **fibra óptica** é uma tecnologia que utiliza um filamento de vidro transparente e com alto grau de pureza. Ele é utilizado como meio de transmissão que conecta fisicamente pontos distintos. Seu diâmetro é tão fino quanto um fio de cabelo humano e permite carregar milhares de informações digitais sem perdas significativas ao longo de grandes distâncias. Ao redor do filamento existem outras substâncias de menor índice de refração, que fazem com que os raios sejam refletidos internamente, minimizando as perdas de transmissão.

6.5. Link Satélite

VIDEO 5

O vídeo 5 (<https://youtu.be/ku14YRLnqNw>), apresenta uma visão básica de uma transmissão via satélite, mostrando aspectos físicos como a propagação de um sinal em um processo de subida “Uplink” e descida “downlink” até um satélite situado em uma órbita geoestacionária.

Figura 33 – Link Satélite



Fonte - <https://www.iconfinder.com>

Um satélite de comunicações retransmite e amplifica os sinais de telecomunicações de rádio por meio de um transponder. Basicamente, ele cria um canal de comunicação entre um transmissor e um receptor em diferentes locais da Terra. Os satélites de comunicação são usados para televisão, telefone, rádio, *internet* e aplicações militares.

Há três etapas envolvidas em uma transmissão via satélite. No primeiro há o uplink, onde os dados são transmitidos ao satélite a partir de uma estação terrestre. Em seguida, o satélite processa os dados usando vários transponders integrados (receptores de rádio, amplificadores e transmissores). Eles aumentam os sinais de entrada e mudam sua frequência, para que os sinais de entrada não sejam confundidos com os de saída. Finalmente, há o downlink, onde os dados são enviados de volta para outra estação terrestre (LABRADOR, 2005).

Os satélites podem ser classificados de acordo com suas órbitas. Muitos são satélites geoestacionários (GEO), pois possuem uma órbita geoestacionária que fica a 35.785 km da superfície da Terra. O satélite parece estar na mesma posição no céu quando visto por observadores na Terra. Portanto, as antenas terrestres não precisam rastrear o satélite no céu.

Os satélites em Órbita Terrestre Média (MEO) são os que estão mais próximos da Terra, suas altitudes orbitais variam de 2.000 a 36.000 Km acima da superfície da Terra. A região abaixo das órbitas médias está em torno de 160 a 2.000 Km acima da superfície da Terra e é chamada de Órbita Terrestre Baixa (LEO).

Com os satélites MEO e LEO orbitando a terra mais rapidamente, eles não são continuamente visíveis no céu em um ponto fixo na terra. Em vez disso, eles parecem

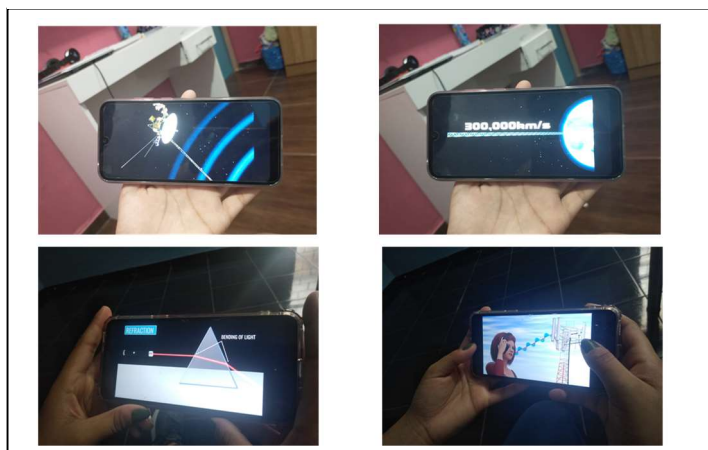
cruzar o céu. Isso significa que para oferecer serviços de comunicação contínua com esses satélites de menor órbita, seria necessário um maior número deles, garantindo assim que, pelo menos, um deles estivesse sempre no céu para facilitar a transmissão dos sinais de comunicação. Também é importante notar que, devido à distância relativamente menor da Terra, seus sinais são muito mais fortes.

O acesso a *Internet* via satélite refere-se ao acesso possibilitado por meio de satélites de comunicação. Hoje, o serviço de *Internet* via satélite é normalmente oferecido às pessoas por meio de satélites geostacionários que podem fornecer velocidades de dados relativamente altas, especialmente graças aos satélites mais recentes que usam banda Ku para atingir velocidades de dados de até 506 Mbps (TELECO, 2017). Após a década de 1990, a tecnologia de comunicação por satélite foi usada como um meio de conexão à *Internet* usando conexões de dados de banda larga. Isso é particularmente útil para pessoas em áreas remotas que não podem ter acesso a uma conexão de banda larga, tenham a possibilidade de usufruírem também deste benefício.

6.6. INTERAÇÃO COM O PRODUTO

A interação dos alunos com o produto ocorreu em suas respectivas casas ou qualquer outro lugar onde tinham acesso à *Internet*.

Figura 34 - Alunos interagindo como o produto em suas casas.



Fonte - Compilação do autor.

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados foram coletados em uma pesquisa qualitativa inferencial por meio de perguntas que tinham o intuito de identificar itens como níveis de dificuldade no entendimento dos conteúdos de física, satisfação com métodos tradicionais de ensino e conhecimento de fenômenos físicos relacionados com a telefonia móvel.

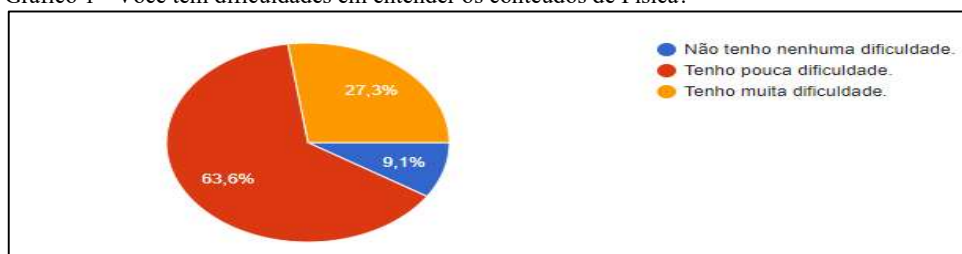
RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO PRELIINAR

As perguntas realizadas inicialmente foram:

- 1 - Você tem dificuldades em entender os conteúdos de Física?
- 2 - Você acha que a disciplina Física é relevante para sua formação profissional no futuro?
- 3 - Você gostaria que os assuntos fossem ensinados mostrando suas aplicações no mundo real?
- 4- Você já se perguntou como é possível nos comunicarmos instantaneamente por meio de dois aparelhos celulares?
- 5 - Você tem alguma ideia de como é realizada uma ligação entre dois celulares?
- 6 - Na sua opinião, a Física está relacionada com a telefonia móvel?

Após analisar o Gráfico 1, concluiu-se que mais de 60% dos alunos que participaram efetivamente do projeto, apresentavam uma certa dificuldade no entendimento de conceitos relacionados com a Física, mostrando que há um espaço para melhoria, ao se levar em conta que mais de 27% responderam que tinham muita dificuldade.

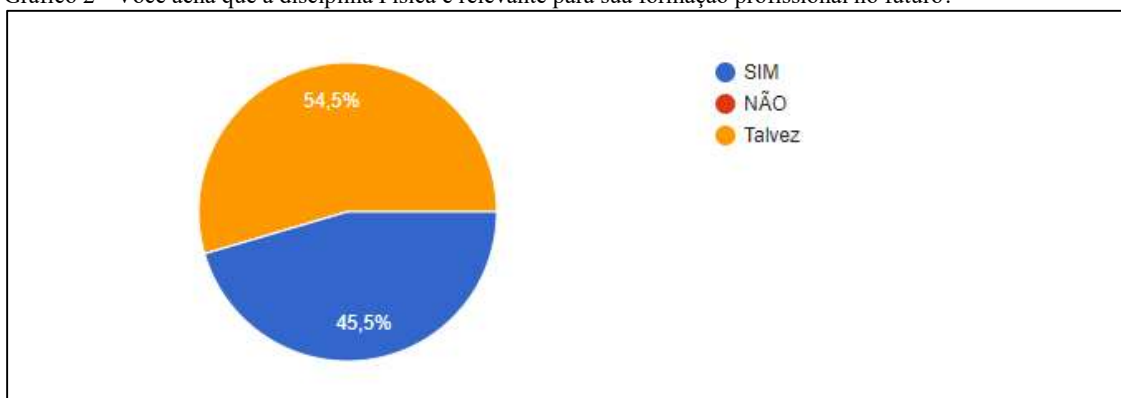
Gráfico 1 - Você tem dificuldades em entender os conteúdos de Física?



No Gráfico 2, tem-se a resposta sobre a relevância da Física para a formação profissional no futuro. Questionamento que visa avaliar a relação entre interesse no aprendizado de Física e a noção de importância desse conhecimento para o futuro profissional dos jovens, que muitas vezes não percebem que uma profissão almejada

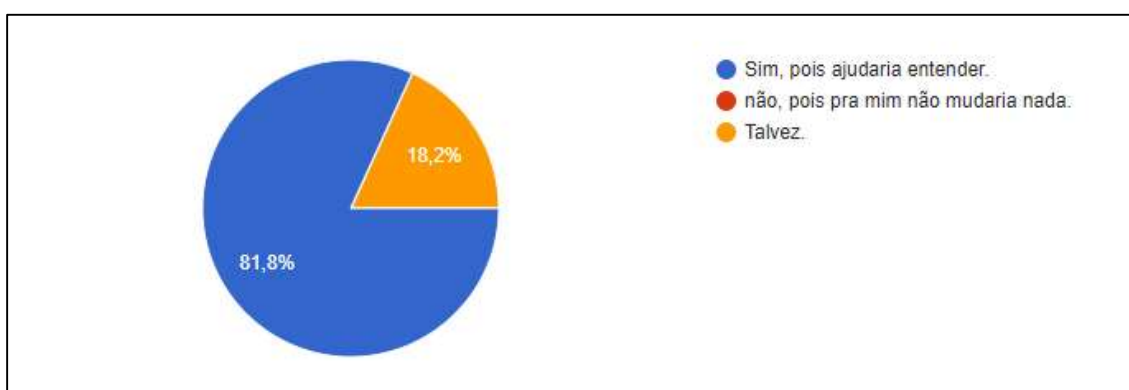
depende de uma base forte na Física. Analisando o Gráfico 2 das respostas obtidas nota-se que existe uma grande dúvida sobre esse quesito pois mais de 50% responderam talvez, ou seja, não têm certeza se vale a pena se dedicar mais ao aprendizado da disciplina em questão.

Gráfico 2 - Você acha que a disciplina Física é relevante para sua formação profissional no futuro?



No Gráfico 3 observa-se as respostas relacionadas a aplicação dos conceitos físicos no mundo real. Tal questão tem o objetivo de avaliar a vontade de experimentar outros métodos, que possivelmente ajudaria no entendimento significativo dos conteúdos de física ministrados. Mais de 80% das respostas mostram que os alunos teriam uma boa aceitação em novos métodos, mais especificamente voltados para a aplicação dos fenômenos de Física.

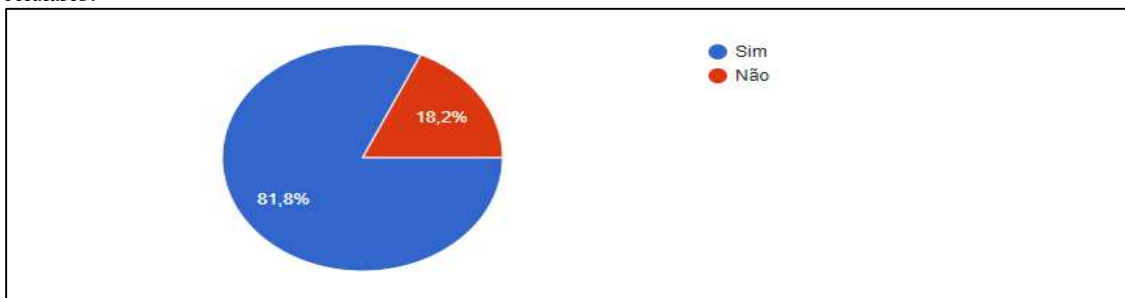
Gráfico 3 - Você gostaria que os assuntos fossem ensinados mostrando suas aplicações no mundo real?



No gráfico 4, o intuito foi avaliar a curiosidade a respeito das novas tecnologias que fazem parte do dia a dia de todos que de forma alguma estão dissociadas da Física de modo a utilizá-las como ferramentas para potencializar o aprendizado dos conteúdos de física. As respostas mostraram uma boa quantidade de alunos com interesse tecnológico,

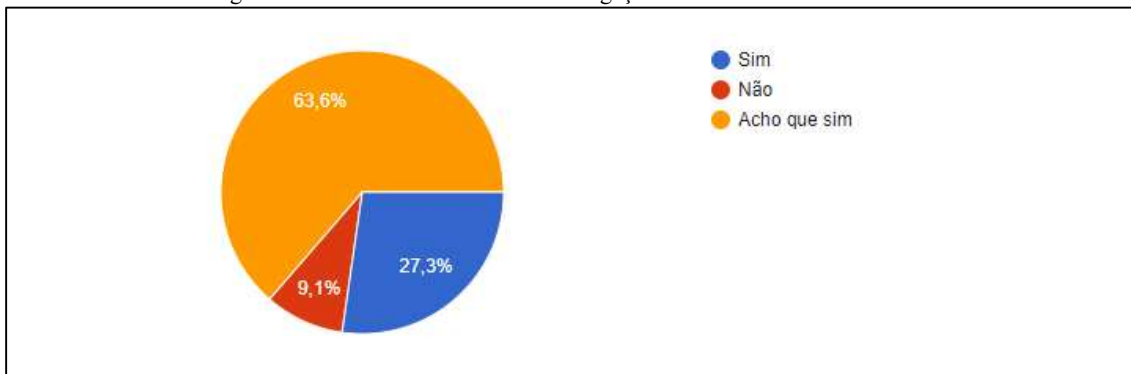
tendo mais de 80% de respostas positivas. O que é ótima oportunidade de uma exploração didática por meio de respostas demonstrativas de como fenômenos físicos tornam possível o avanço tecnológico.

Gráfico 4 - Você já se perguntou como é possível nos comunicarmos instantaneamente por meio de dois aparelhos celulares?



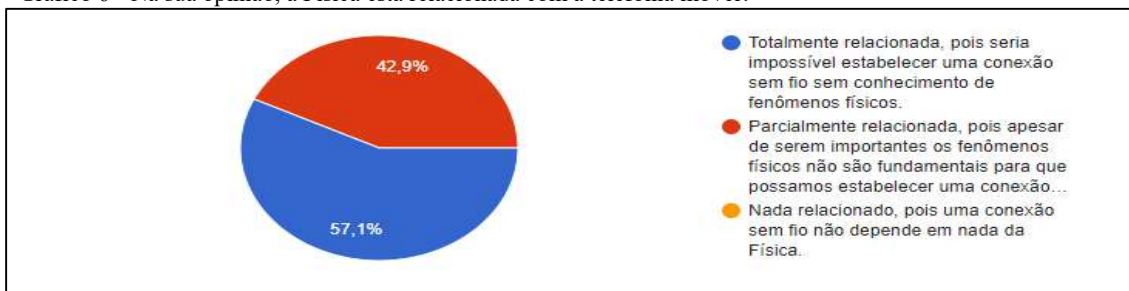
Analisando o Gráfico 5, percebe-se que mais de 63% dos alunos entrevistados acham que sabem como são realizadas as ligações entre celulares, somando esse percentual aos que não sabem tem-se mais de 70% que não sabem ou tem dúvidas. Esse contexto traz uma boa oportunidade de abordagem do conteúdo tratado nesse trabalho.

Gráfico 5 - Você tem alguma ideia de como é realizada uma ligação entre dois celulares?



No gráfico 6, mais de 50% dos alunos mostraram entender que há uma dependência entre a telefonia móvel e a Física, o que é bom para a apreciação do produto aplicado porque mostra como os fenômenos físicos são utilizados em telefonia.

Gráfico 6 - Na sua opinião, a Física está relacionada com a telefonia móvel?

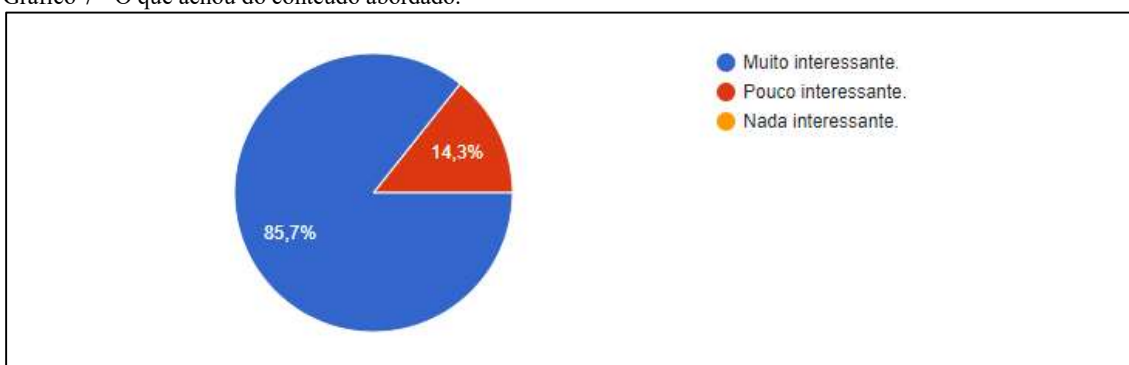


RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO PÓS APLICAÇÃO DO PRODUTO

Após a aplicação do produto educacional foi realizado um novo questionário visando avaliar o nível de satisfação dos alunos participantes, os resultados obtidos são apresentados a seguir.

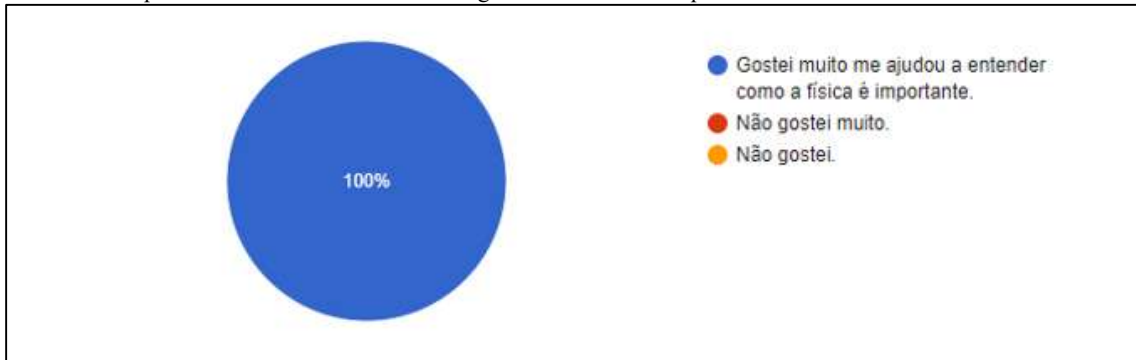
Sobre a satisfação, mais de 85% dos alunos entrevistados acharam muito interessante o assunto abordado e 14,3% acharam de média relevância. As respostas aqui levam a um resultado satisfatório para esse quesito, abrindo espaço para abordagem de novos assuntos, com devidas melhorias.

Gráfico 7 - O que achou do conteúdo abordado.



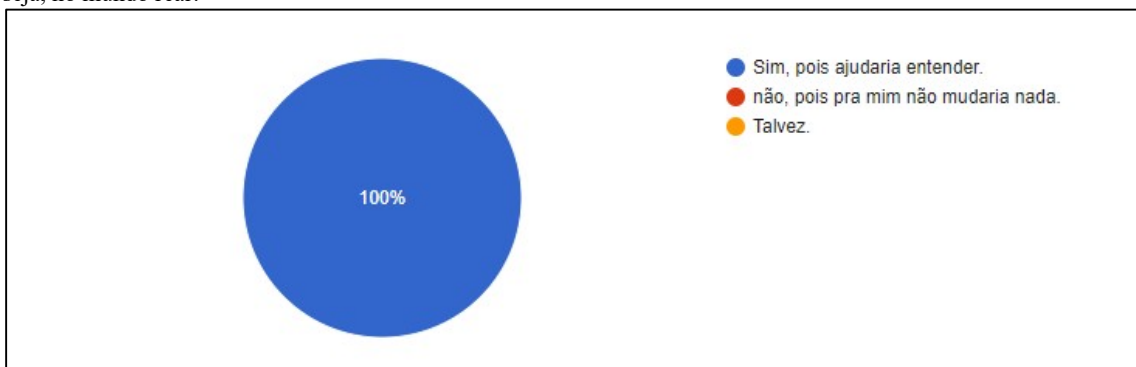
O Gráfico 8 mostra que houve 100% de aceitação por parte dos alunos e que o modo de abordagem é eficiente chegando ao objetivo almejado.

Gráfico 8 - O que você achou do modo de abordagem do conteúdo em questão?



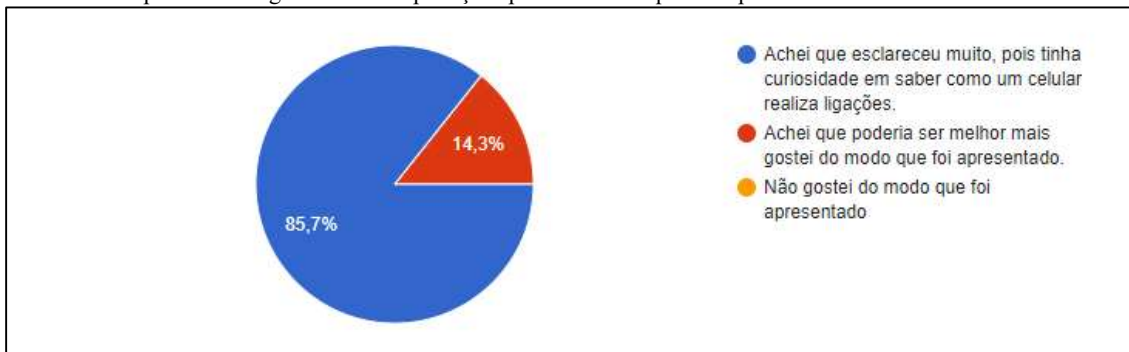
Sobre os assuntos de Física e o mundo real, o Gráfico 9 corrobora com a questão anteriormente discutida, mostrando uma ótima aceitação do produto, abrindo um leque para tratativa de inúmeros outros fenômenos a serem tratados em outros contextos utilizando o mesmo método de abordagem.

Gráfico 9 - Você gostaria que mais assuntos de Física tivessem uma explicação de como é utilizado no dia a dia, ou seja, no mundo real?



No Gráfico 10 nota-se que houve êxito neste trabalho, mas que poderia melhorar. De acordo com o Gráfico 7 e 10 há um modesto descontentamento com o conteúdo e metodologia aplicada.

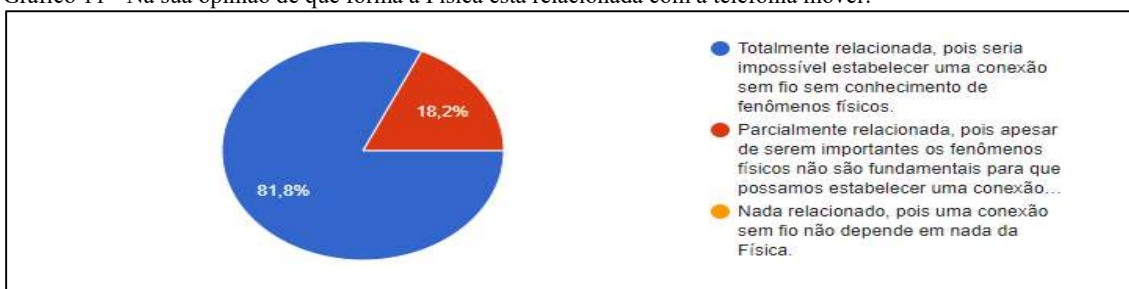
Gráfico 10 - Após ter interagido com as explicações por meio do arquivo disponibilizado.



As questões foram realizadas na fase pré e pós aplicação do produto educacional, com o objetivo de avaliar a percepção por parte dos alunos e a relevância da física para a telefonia móvel.

Comparando o gráfico 6 com o 11, conclui-se que houve um aumento considerado de alunos que responderam que há uma total relação entre a física e a telefonia móvel, pois agora são mais de 80% enquanto antes eram 57%, mostrando que houve uma mudança na opinião de alguns que antes não percebiam tal ligação.

Gráfico 11 - Na sua opinião de que forma a Física está relacionada com a telefonia móvel?



8. CONCLUSÃO

Após a análise dos gráficos com as respostas dos alunos, percebeu-se que o objetivo deste projeto foi alcançado e que trouxe uma forma diferente de mostrar a importância da abordagem dos conceitos de Física. Em primeiro momento, sem envolver cálculos matemáticos e sim priorizado um entendimento prévio dos fenômenos físicos, com suas aplicações diretas ou indiretas. Desse modo ajudando na compreensão dos conteúdos contidos nessa componente curricular.

Apesar da aplicação do produto ter acontecido ainda durante o período de restrições devido a pandemia da Covid-19, os resultados mostraram que houve uma boa aprovação por parte dos alunos participantes. No entanto, há ainda espaço para melhorias, pois sem dúvidas se todas as fases preliminares da aplicação do produto fossem realizadas em um período sem pandemia, haveria um cenário mais consistente.

Por fim, fica aberto um leque de oportunidades para a confecção e aplicação da ideia apresentada neste produto educacional em outros contextos, de modo a abordar fenômenos relacionados com outros conteúdos da Física.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- P&R Automação.** Disponível em: <<http://blog.perautomacao.com.br/evolucao-da-internet/>>.
- wikipedia.** Disponível em: <https://es.wikipedia.org/wiki/Telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil>.
- gadget-inf.com.** Disponível em: <<https://pt.gadget-info.com/14620-what-is-massive-mimo-and-how-it-paves-the-way-for-5g-adoption>>. Acesso em: 15 out. 2021.
- universe.** Disponível em: <<https://universe-review.ca/R15-25-DiracEq04.htm>>. Acesso em: 2021 set. 10.
- Fiber Labs Onc.** Disponível em: <<https://www.fiberlabs.com/glossary/total-internal-reflection/>>. Acesso em: 2021 out. 14.
- iconfinder.** Disponível em: <<https://www.iconfinder.com/>>. Acesso em: 14 out. 2021.
- A evolução da telefonia móvel. Disponível em: <disponível em <https://www.candriam.it/>>.
- ALESSANDRA SILVA XAVIER, A. I. B. L. N. **Psicologia do Desenvolvimento.** Fortaleza: EdUECE, 2015.
- AUSTEN, M. https://www.ehow.com.br/converter-simbolo-letra-codigo-binario-como_263545/, 2021.
- BADAKAR, M. Evaluation of the Relevance of Piaget's Cognitive, 2017.
- BERGER, K. S. **The Developing Person Through Childhood and Adolescence.** [S.l.]: [s.n.], 2008.
- BERGER, K. S. **The Developing Person Through Childhood and Adolescence.** [S.l.]: Macmillan, 2008.
- BRINKMAN, W. F. Physics and the communications industry, New Jersey, 2019.
- CARPENDALE. **The Development of Children's Thinking: Social and Communicative Foundations.** [S.l.]: [s.n.], 2017.
- CRISTIAN FILIPE SILVA DE OLIVEIRA, J. C. L. M. J. 5G Technology Analysis in Relation to Electromagnetic Waves, 30 nov. 2019. 483-496.
- DR SUE DUCHESNE, D. A. M. **Educational Psychology for Learning and Teaching.** [S.l.]: Cengage AU, 2018.
- INHELDER. **The Child's Conception of Space, Selected Works.** [S.l.]: Routledge, 2013.
- JEISY KELI SCHIRMANN, N. G. M. FASES DE DESENVOLVIMENTO HUMANO SEGUNDO JEAN PIAGET, 2020.
- JEON, M. Investigation of adolescents' developmental stages in deductive, 2019.
- LABRADOR, V. Satellite communication, 2005.
- LEFMANN, T. Early Brain Development for Social Work Practice: Integrating Neuroscience with Piaget's Theory of Cognitive Development, may 2013.
- MEDIÇÃO, E. Pscologiaufersa. **espaço.** Disponível em: <<https://psicologiaufersa.wordpress.com/>>.
- NASA. NASA.GOV. **NASA.GOV**, 2017.
- ORR, J. Piaget's theory of cognitive development, 1991.
- PAUL A. TIPLER, G. M. **Física para Cientistas e Engenheiros sexta edição vol. 2.** [S.l.]: LTC.
- PERÍODO do desenvolvimento mental. Disponível em: <<http://psicopedagogiacuritiba.com.br/>>.
- RESNICK, H. K. **Física 3.** Rio de janeiro: ABDR, 4ª edição.
- SAMUEL J. LING, J. S. **University Physics Volume 1, 2 e 3.** Houston, Texas: OpenStax, 2018.

SCOTT, H. Piaget, 2021.

SENAN, D. Enhancing Educational Effectiveness in Physics through, 2013.

TELECO. <https://www.teleco.com.br>. TELECO, 2017. Acesso em: 12/09/2021 2020.

WRIGHT, L. Adolescent Brain Development, 2016.

KNUD ILLRES, Teorias contemporâneas da aprendizagem, 2013.

BEE, Helen; BOYD, Denise. A criança em desenvolvimento. 12º ed. Tradução: Cristina Monteiro. Porto Alegre: Artemed, 2011.

PULASKI, Mary Ann Spencer. Compreendendo Piaget. Rio de Janeiro: LTC, 1980.

PIAGET, Jean. A formação do símbolo na criança: Imitação, jogo e sonho imagem e representação. 3º ed. Rio de Janeiro: LTC, 1964.

Ekrum Hossain, Mehdi Rasti, Hina Tabassum, Amr Abdelnasser, 2014. Evolution Towards 5G Multi-tier Cellular Wireless Networks: An Interference Management Perspective, 11401.5530.

CONTENTO, Marco. What is 5G NR. Telit. 2019. Disponível em: <https://www.telit.com/blog/what-is-5g-nr/>

GOODWINS, Rupert. 5G New Radio: The technical background, 2019. Disponível em: <https://www.zdnet.com/article/5g-new-radio-the-technical-background/>.

SANTINO, Renato. Os desafios do 5G: como a tecnologia precisa evoluir para alcançar seu potencial. 2019. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/noticia/os-desafios-do-5g-como-a-tecnologia-precisa-evoluir-para-alcancar-seu-potencial/87778>.

O que é o MIMO massivo e como ele abre o caminho para a adoção de 5G. Gadget-info.com, 2019. Disponível em: <https://pt.gadget-info.com/14620-what-is-massive-mimo-and-how-it-paves-the-way-for-5g-adoption>

ALBERTO, Carlos. Sistema Mimo. 2019. Disponível em <https://www.passeidireto.com/arquivo/36309829/artigo-sistema-mimo>