



Ciências Exatas e da Terra: Conhecimentos Estratégicos para o Desenvolvimento do País

Júlio César Ribeiro
(Organizador)

Atena
Editora
Ano 2020



Ciências Exatas e da Terra:
Conhecimentos
Estratégicos para o
Desenvolvimento do País

Júlio César Ribeiro
(Organizador)

Atena
Editora
Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Karine de Lima

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros

Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Prof^a Dr^a Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^a Dr^a Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof^a Dr^a Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^a Dr^a Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^a Dr^a Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof^a Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof^a Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof^a Dr^a Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof^a Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Prof^a Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof^a Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof^a Dr^a Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Prof^a Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof^a Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco

Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
 Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
 Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
 Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
 Prof. Me. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
 Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
 Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
 Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
 Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
 Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
 Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
C569	<p>Ciências exatas e da terra [recurso eletrônico] : conhecimentos estratégicos para o desenvolvimento do país / Organizador Júlio César Ribeiro. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-5706-160-2 DOI 10.22533/at.ed.602200207</p> <p>1. Ciências exatas e da terra – Pesquisa – Brasil. 2. Tecnologia e inovação. I. Ribeiro, Júlio César.</p> <p style="text-align: right;">CDD 500</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

O desenvolvimento socioeconômico do País está assentado primordialmente na inovação baseada no seu desenvolvimento científico e tecnológico.

É notado, principalmente nos últimos anos, que há grande necessidade de fortalecimento e expansão da capacidade de pesquisa e de inovação, bem como o aprimoramento dos conhecimentos já adquiridos pela sociedade.

Neste contexto, o E-book “Ciências Exatas e da Terra: Conhecimentos Estratégicos para o Desenvolvimento do País” foi composto por uma coletânea de trabalhos relacionados às Ciências Exatas e da Terra que contemplam os mais variados temas ligados ao desenvolvimento.

Os 20 capítulos que constituem a presente obra, elaborados por pesquisadores de diversas instituições de pesquisa, permitem aos leitores analisar e discutir assuntos tais como: importância das ondas eletromagnéticas e transmissão na camada da ionosfera, produção de filmes de polímeros a partir de diferentes complexos para aplicação em células solares, estudo de diferentes metodologias na caracterização de material polimérico, utilização de modelagem numérica na investigação da dispersão de plumas poluentes, aplicação de malhas computacionais para a verificação do transporte de doenças de plantas pelo ar, dentre outros assuntos de relevância para as Ciências Exatas e da Terra.

O organizador e a Atena Editora agradecem aos autores e instituições envolvidas nos trabalhos que compõe a presente obra.

Por fim, esperamos que este E-book possa proporcionar reflexões significativas que contribuam para o aprimoramento do conhecimento e desenvolvimento de novas pesquisas.

Boa leitura!

Júlio César Ribeiro

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 1

ANÁLISE DAS ORIENTAÇÕES DE COMO DEMARCAR A IMAGINÁRIA LINHA DE PREAMAR MÉDIA DE 1831

Flavio Boscatto
Cesar Rogério Cabral
Everton da Silva

DOI 10.22533/at.ed.6022002071

CAPÍTULO 2 13

NUMERICAL MODELING OF SEWAGE OUTFALLS PLUMES IN THE COAST OF THE STATE OF PARANÁ – BRAZIL

Paola Galluzzi Polesi
Joseph Harari
Tiago Cortez
Samuel Hora Yang

DOI 10.22533/at.ed.6022002072

CAPÍTULO 3 30

APLICAÇÃO DO MÉTODO GOD E ESTATÍSTICA MULTIVARIADA NO ESTUDO DA VULNERABILIDADE DE AQUÍFERO À CONTAMINAÇÃO EM ARACAJU/SE

José Batista Siqueira
Thomaz Oliveira Teixeira
Samiramisthaís Souza Linhares
Luiz Alberto Vedana
Paulo Henrique Stefano

DOI 10.22533/at.ed.6022002073

CAPÍTULO 4 43

ANÁLISES DE GERAÇÃO DE MALHA NA MODELAGEM NUMÉRICA DE TROCADORES DE CALOR SOLO-AR

Michel Kepes Rodrigues
Jairo Valões de Alencar Ramalho
Ruth da Silva Brum
Luiz Alberto Oliveira Rocha
Elizaldo Domingues dos Santos
Liércio André Isoldi

DOI 10.22533/at.ed.6022002074

CAPÍTULO 5 55

AS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS E APLICAÇÃO NA TRANSMISSÃO NA CAMADA DA IONOSFERA

José Augusto dos Santos Cardoso
Wendel Correa dos Santos
José Francisco da Silva Costa
Antonio Maia de Jesus Chaves Neto
Sebastião Gomes Silva
Manuel de Jesus dos Santos Costa
Alessandre Sampaio-Silva

DOI 10.22533/at.ed.6022002075

CAPÍTULO 6 76

DECIFRANDO O ARCO-ÍRIS E O EFEITO GLÓRIA: UMA ABORDAGEM UTILIZANDO SISTEMAS DINÂMICOS

Janaína Dias da Silva
Alberto Tufaile

DOI 10.22533/at.ed.6022002076

CAPÍTULO 7 88

MAGIC: INTERAÇÃO ENTRE HOBBY E LUCRO

Victor Ferreira da Silva
Édipo Menezes da Silva
Kelly Pereira de Lima
João Domingos Scalon

DOI 10.22533/at.ed.6022002077

CAPÍTULO 8 93

A SOCIEDADE DA INFORMAÇÃO E O LIXO ELETRÔNICO: DESAFIOS, REFLEXÕES E OPORTUNIDADES

Fábio Henrique Angelo dos Santos
Luana Maia Woida

DOI 10.22533/at.ed.6022002078

CAPÍTULO 9 109

APLICAÇÃO SIMULTÂNEA DE CALOR E MASSA NO PROCESSO DE SECAGEM DO ABIU

Nathalia Cristina Ramos Lima
Jules Mitoura dos Santos Junior
Emilio Émerson Xavier Guimarães Filho
Ronaldo Maison Martins Costa
Audirene Amorim Santana

DOI 10.22533/at.ed.6022002079

CAPÍTULO 10 119

BIOCONTROLE DO ÓLEO ESSENCIAL DE ORIGANUM VULGARE FRENTE ÀS LARVAS DE *Aedes aegypti*
(DIPTERA: CULICIDAE)

Juliana de Sousa Figuerêdo
Felipe Pereira da Silva Santos
Matheus Oliveira do Nascimento
Patrícia e Silva Alves
Lucas Mendes Feitosa Dias
Layana Karine Farias Lima
Aline Aparecida Carvalho França
Edymilaís da Silva Sousa
Pedro Vitor Oliveira Silva Furtado
Veruska Cavalcanti Barros
José Luíz Silva Sá
Chistiane Mendes Feitosa

DOI 10.22533/at.ed.60220020710

CAPÍTULO 11 133

COMPLEXOS B-DICETONATOS LUMINESCENTES BASEADOS EM ÍONS TERRAS RARAS DISPERSOS
EM POLÍMEROS TRANSPARENTES PARA APLICAÇÕES EM CÉLULAS SOLARES

Gabriel de Moraes Rodrigues
Ivan Guide Nunes da Silva
Danilo Mustafa

DOI 10.22533/at.ed.60220020711

CAPÍTULO 12 146

SÍNTESE, CARACTERIZAÇÃO E PROPRIEDADES DAS PENEIRAS MOLECULARES: SBA-16, FDU-12, SBA-15 E MCM-41

Mayara Resende Alves
Mateus Freitas Paiva
Elon Ferreira de Freitas
Sílvia Cláudia Loureiro Dias
José Alves Dias

DOI 10.22533/at.ed.60220020712

CAPÍTULO 13 160

UMA EFICIENTE SÍNTESE DE DERIVADOS DE TRIARILMETANO

Shirley Muniz Machado Rodrigues
Giovanni Stoppa Baviera
Daniel Previdi
Alexandre de Almeida Matias
Paulo Marcos Donate

DOI 10.22533/at.ed.60220020713

CAPÍTULO 14 170

IDENTIFICAÇÃO NÃO INVASIVA DE MATERIAL POLIMÉRICO COM A TÉCNICA DE ESPECTROSCOPIA FTIR: BANCO DE DADOS DE REFERÊNCIA E APLICAÇÃO PRÁTICA

Fabício de Melo Rodrigues Barbosa
Márcia de Almeida Rizzutto
Wanda Gabriel Pereira Engel

DOI 10.22533/at.ed.60220020714

CAPÍTULO 15 183

SOLOS DO BRASIL: GÊNESE, CLASSIFICAÇÃO E LIMITAÇÕES AO USO

Carlos Roberto Pinheiro Junior
Marcos Gervasio Pereira
Eduardo Carvalho da Silva Neto
Lúcia Helena Cunha dos Anjos
Ademir Fontana

DOI 10.22533/at.ed.60220020715

CAPÍTULO 16 200

DETERMINAÇÃO DE HEXAZINONA EM AMOSTRAS DE SOLO POR ESPECTROFOTOMETRIA UV-VIS

Auriléia Pereira da Silva
Lucina Rocha Sousa

DOI 10.22533/at.ed.60220020716

CAPÍTULO 17 225

GERAÇÃO DE MALHA PARA DESCREVER A DISPERSÃO DA FERRUGEM DA SOJA NO PARANÁ

Eduardo Oliveira Belinelli
Paulo Laerte Natti
Neyva Maria Lopes Romeiro
Eliandro Rodrigues Cirilo
Lucas Henrique Fantin
Karla Braga de Oliveira
Marcelo Giovanetti Canteri
Érica Regina Takano Natti

DOI 10.22533/at.ed.60220020717

CAPÍTULO 18	240
ESTUDO DA ARTE SOBRE A UTILIZAÇÃO DO ÓLEO FÚSEL A PARTIR DA PRODUÇÃO DE ETANOL DA CANA-DE-AÇÚCAR	
Raquel Santos da Silva	
Danielle Christine Almeida Jaguaribe	
Joelma Morais Ferreira	
DOI 10.22533/at.ed.60220020718	
CAPÍTULO 19	249
FORMAS ASSOCIATIVISTAS DA COMUNIDADE QUILOMBOLA NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO, IGARAPÉ-AÇU/PA	
Jéssica Vasconcelos Ferreira	
Raiana Rocha Pereira	
Francisco Laurimar do Nascimento Andrade	
Fabiana Mar dos Santos	
Nayra Silva do Vale	
Luiz Cláudio Moreira Melo Júnior	
Eleci Teresinha Dias da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.60220020719	
CAPÍTULO 20	259
ESTUDO DO EFEITO MEMÓRIA E FOTOLUMINESCÊNCIA EM HIDRÓXIDOS DUPLOS LAMELARES (HDL)	
Alexandre Candido Teixeira	
Alysson Ferreira Morais	
Ivan Guide Nunes da Silva	
Danilo Mustafa	
DOI 10.22533/at.ed.60220020720	
SOBRE O ORGANIZADOR	273
ÍNDICE REMISSIVO	274

AS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS E APLICAÇÃO NA TRANSMISSÃO NA CAMADA DA IONOSFERA

Data de aceite: 24/06/2020

José Augusto dos Santos Cardoso

<http://lattes.cnpq.br/4878996043755919>

Wendel Correa dos Santos

<http://lattes.cnpq.br/5865781318163840>

José Francisco da Silva Costa

<http://lattes.cnpq.br/9492719731740641>

Antonio Maia de Jesus Chaves Neto

<http://lattes.cnpq.br/3507474637884699>

Sebastião Gomes Silva

<http://lattes.cnpq.br/9572985229927350>

Manuel de Jesus dos Santos Costa

<http://lattes.cnpq.br/7579240913305272>

Alessandre Sampaio-Silva

<http://lattes.cnpq.br/6658707023651853>

RESUMO: O artigo procura fazer uma abordagem trazendo como tema as ondas eletromagnéticas e transmissão na camada da ionosfera, e analisa a importância dessas ondas eletromagnéticas nas aplicações de ondas de rádio que se propagam na camada da ionosfera e como colidem com elétrons livres para realizar a transmissão acontece por utilização de satélite. Realiza um estudo em relação o contexto matemático, expondo as bases das equações de Maxwell com base na teoria dos tensores com aplicações na camada da ionosfera para compreender a interação dos elétrons com a onda eletromagnética buscando

entender o formalismo matemático por meio de equações que interpretam o deslocamento eletrônico após a interação com a onda eletromagnética.

PALAVRAS-CHAVE: Ondas eletromagnéticas, camadas atmosféricas, interação eletrônica, deslocamento.

ELECTROMAGNETIC WAVES AND IONOSPHERE LAYER TRANSMISSION APPLICATION

ABSTRACT: The article seeks to approach the theme of electromagnetic waves and transmission in the ionosphere layer, and analyzes the importance of these electromagnetic waves in the applications of radio waves that propagate in the ionosphere layer and how they collide with free electrons to carry out the transmission using satellite. Performs a study in relation to the mathematical context, exposing the bases of Maxwell's equations based on the theory of tensors with applications in the ionosphere layer to understand the interaction of electrons with the electromagnetic wave seeking to understand mathematical formalism through equations that interpret electronic displacement after interaction with the electromagnetic wave.

KEYWORDS: Electromagnetic waves, atmospheric layers, electronic interaction and displacement.

1 | INTRODUÇÃO

O presente trabalho propõe desenvolver um estudo das camadas da atmosfera para explicar como ocorrem as transmissões de ondas eletromagnéticas através dela, um desenvolvimento matemático das equações de Maxwell para obtenção de expressões que possibilitem descrever o comportamento dessas ondas bem como as possíveis transmissões para aparelho. Dentro deste contexto histórico é possível perceber que o domínio das ondas eletromagnéticas foi o grande estopim para a criação de armas bélicas, como: os radares utilizados durante a primeira e segunda Guerra Mundial para evitar ataques surpresas (MERÇON, 2004).

Deve-se salientar que ainda no século XIX, em 1892, os cientistas alemães Julius Elster e Hans Geitel inventaram a célula fotoelétrica, ampliando os estudos de Smith. Constantin Perskyi apresentou, em 1900, ao Congresso Internacional de Eletricidade de Paris uma tese que descrevia o funcionamento de um equipamento com base nas propriedades fotocondutoras do selênio, transmitindo imagens à distância. O título daquele trabalho era “Televisão”, palavra que criou a partir da reunião de dois termos o primeiro tele, que pode ser traduzido do grego por longe, e o segundo videre, que em latim significa visão (SQUIRRA, 1995).

Em fevereiro de 1928, John Baird realizou a primeira transmissão de televisão transatlântica, ligando a estação inglesa de Coulsdon à de Hartsdale, nos Estados Unidos. Foi Baird o pioneiro a realizar experiências com a televisão em cores, a partir da exploração das imagens com luz vermelha, verde e azul, princípios que regem a televisão colorida até hoje. A comissão Federal de Comunicações Norte-Americana, Federal Communications (FCC), autorizou em julho de 1941 o funcionamento de duas primeiras estações de TV em preto-e-branco nos Estados Unidos (SIQUEIRA, 2008). Assim sendo, o trabalho procura abordar como objetivo geral analisar a importância das ondas eletromagnéticas nas aplicações de ondas de rádio que se propagam na camada da ionosfera.

2 | ASPECTO HISTÓRICO NA DESCOBERTA DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS E APLICAÇÕES

No decorrer da História foram inúmeras descobertas realizadas e que trouxeram uma riqueza incalculável para o homem, empenhando ainda mais o desenvolvimento científico. Uma grande contribuição para com a civilização foi a descoberta das ondas eletromagnéticas descritas e desenvolvidas com base nas equações de Maxwell. Pesquisadores importantes no ramo da Ciência, como o holandês Christian Huygens que estudou o fenômeno da difração. Também se deve frisar o inglês Michel Faraday, que durante suas pesquisas sobre o eletromagnetismo, criou uma das quatro equações básicas do eletromagnetismo. Apesar de a História mostrar que Michel Faraday apresentava bem pouco conhecimento matemático, ele conseguiu com base em experimentos, constatar a variação do fluxo magnético que

acontecia devido ao movimento relativo de um ímã.

Avanços no campo industrial, onde as ondas estão relacionadas com o uso e desenvolvimento das indústrias automotivas e de indústrias de aeronaves, como aviões-caças que as utilizam para detectar aviões invasores, dos submarinos que utilizam a mesma tecnologia e por último, na siderúrgica para a verificação de fissuras em peças, silos e recipientes de armazenamento (MERÇON, 2004).

Incidência da luz para a espectroscopia Raman e infravermelho, onde este último foi descoberto por Herschel quando estudou a temperatura das cores da dispersão da luz, onde a dispersão dessa luz em espectros de cores foi um artigo publicado pelo físico Isac Newton, que interpretou este efeito quando comprou um prisma numa feira de material óptico através do qual observou este fenômeno da dispersão da luz (HALLIDAY, 2011). Além dos avanços associados a esses estudos, outro grande avanço na sociedade corresponde ao surgimento da televisão onde tiveram várias contribuições, principalmente do cientista sueco Jakob Berzellus, que em 1817, observou a fotossensibilidade do selênio ao ser exposto à luz (RUÍZ, 1971). O alemão Paul Nipkow, em 1884, patenteou uma proposta de transmissão de imagens à distância, fato que lhe concedeu o crédito de “fundador da técnica de TV” (RUÍZ, 1971).

No ano de 1945, existiam nove estações de televisão autorizadas naquele país, sendo que seis já estavam em funcionamento. No Brasil foi inaugurada em 1952, na cidade de São Paulo, a primeira estação de TV em preto-e-branco. O Brasil adotou o mesmo padrão de TV em preto-e-branco já existente nos Estados Unidos (padrão M) (SIQUEIRA, 2008).

No ano de 1954, foi definida a versão final do sistema norte-americano de TV em cores, sistema *National Television System Committee* (NTSC). Inicialmente, as transmissões de TV colorida norte-americanas apresentavam problemas de fidelidade das cores. Sendo assim, os países europeus criaram novos sistemas para resolver o problema. Na França, surgiu o sistema *Sequencial Couleur Avec Mémoire* (Secam), e na Alemanha, foi criado o sistema *Phase Alternation Line* (PAL). Em 1974, o Brasil adotou o sistema PAL (Phase Alternation Line) de TV em cores, porém compatível com o sistema de TV preto-e-branco já existente (padrão M). Em 1998, surgiram as primeiras transmissões de TV digital terrestre (propagação pelo ar). Os Estados Unidos adotaram o sistema *Advanced Television Systems Committee* (ATSC) e os europeus, o sistema *Digital Video Broadcasting-Terrestrial* (DVBT) (FOSTER, 1974).

No Japão foi criado o sistema *Integrated System Digital Broadcasting-Terrestrial* (ISDB-T), que somente entrou em operação comercial a partir de 2003. Em 1998, foi realizado convênio entre a Universidade Presbiteriana Mackenzie, a Associação Brasileira de Emissoras de Rádio e Televisão (Abert) e a Sociedade de Engenharia de Televisão (Set), como o objetivo de testar os três sistemas de TV digital: ATSC, DVB-t e ISDB-T. Os resultados dos testes foram encaminhados a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) para servir de subsídio para uma futura decisão do governo brasileiro sobre o sistema de TV digital a ser adotado no Brasil. Porém recentemente, em 2003, foi realizado novo convênio entre a Universidade Presbiteriana Mackenzie, a Abert e a Set, com o objetivo de analisar a

evolução dos três sistemas de TV digital (FOSTER, 1974).

Através de tantos pesquisadores envolvidos em estudos e na criação da televisão, não se pode indicar um único cientista responsável pela invenção dela, pois muitas foram às contribuições feitas por vários estudiosos. Cada nova descoberta se utilizava dos conhecimentos anteriores já disponíveis que vieram somando para sua construção. Arbwhnett, em 1906, desenvolveu o sistema de visão à distância (televisão) através dos raios catódicos e da exploração mecânica de espelhos. Boris Rosing, na Rússia, também desenvolveu uma técnica semelhante. Assim sendo, os anos de pesquisas foram decisivos para alcançar o objetivo crucial de obter informações a partir de um aparelho capaz de proporcionar à sociedade acontecimentos do país (SQUIRRA, 1995).

3 | AS EQUAÇÕES DE MAXWELL E AS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

As equações de Maxwell são um grupo de quatro equações, assim chamadas em honra de James Clerk Maxwell, que descreve o comportamento dos campos elétricos e magnético, bem como suas interações com a matéria. As quatro equações de Maxwell expressam, respectivamente, como cargas elétricas produzem campo elétrico (Lei de Gauss), a ausência experimental de cargas magnéticas, como corrente elétrica que produz campo magnético (Lei de Ampère), e como variações de campo magnético produzem campos elétricos (Lei da indução de Faraday). Maxwell mostrou que as quatro equações com sua correção, predizem ondas de campo magnéticos e elétricos oscilantes que viajam através do espaço vazio na velocidade que poderia ser predita de simples experiências elétricas usando os dados disponíveis na época, Maxwell obteve a velocidade de 300.000 km/s, aproximadamente. As expressões dadas a seguir ilustram as quatro importantes equações de Maxwell:

$$\begin{aligned} (1) \quad & \nabla \cdot \mathbf{D} = \rho \\ (2) \quad & \nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \\ (3) \quad & \nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \\ (4) \quad & \nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \end{aligned}$$

A equação (1) mostra que a divergência de um campo de deslocamento, determinada a densidade de carga volumétrica de uma dada distribuição. A equação (2) até o presente momento mostra que o menor sistema magnético que a natureza oferece é de um dipolo magnético. Isto é, ainda não se provou a existência de monopólos magnéticos na natureza, em outras palavras é impossível separar os polos sul e norte de um ímã. As equações (3) e (4), representada pela lei de Faraday e a lei generalizada de Ampère, esclarecem que rotacionais de campos elétrico e magnético, que prevê a existência de corrente elétrica que geram esses campos. No entanto, não preveem a existência de correntes magnéticas que

poderiam gerar campos elétricos (MACHADO, 2002).

Muitos estudos desenvolvidos com base nas equações de Maxwell convergem para a existência de ondas eletromagnética, assim sendo, através dos estudos sobre o eletromagnetismo realizado na universidade de Kiel na Alemanha, Hertz consegue pela primeira vez provar experimentalmente a existência das ondas eletromagnética. Uma onda eletromagnética é formada por campos elétricos e magnéticos. Esses campos oscilam em direções perpendiculares um ao outro e a direção da propagação da onda em referência é perpendicular aos campos elétricos e magnéticos desta onda. Todas as ondas possuem algumas características como: velocidade, frequência, período, comprimento de onda e amplitude. A frequência indica o número de oscilações da onda em um determinado intervalo de tempo; Período é o tempo decorrido para determinada oscilação da onda; Amplitude corresponde o valor máximo da oscilação de determinada onda, tanto positivo como negativo e comprimento de onda representa a distância mínima em que um ciclo da onda se repete.

Outro fato de fundamental relevância é que as ondas eletromagnéticas são constituídas por campos elétrico e magnético que se propagam perpendicularmente, não necessitando de um meio material para a propagação. Os meios onde viajam as ondas eletromagnéticas oferecem uma relevante influência à velocidade com que a onda pode mover-se, se for a espaço livre, deslocam-se aproximadamente a 300.000.000 metros por segundo, em outras substâncias esse deslocamento pode ser muito menor. Para a propagação num meio que não seja o espaço livre, a velocidade dessa onda depende do índice de refração do meio considerado. Matematicamente, esse índice de refração pode ser dado de acordo com a seguinte razão adimensional:

$$(5) \quad n = \frac{c}{v}$$

As ondas eletromagnéticas são capazes de transpor diversos obstáculos físicos tais como gases, líquidos e sólidos dependendo de sua frequência. É graças a elas que funcionam o rádio e a televisão. As estações de rádio e televisão possuem transmissores e antenas que enviam sinais para todas as direções. Por sua vez, os televisores e rádios possuem receptores e antena, que ao captá-las, tem o movimento vibratório de seus elétrons alterados para a mesma frequência. O sinal eletromagnético é de modulado pelo receptor possibilitando ao homem o acesso àquela informação, o som e/ou a imagem (Figura 1).

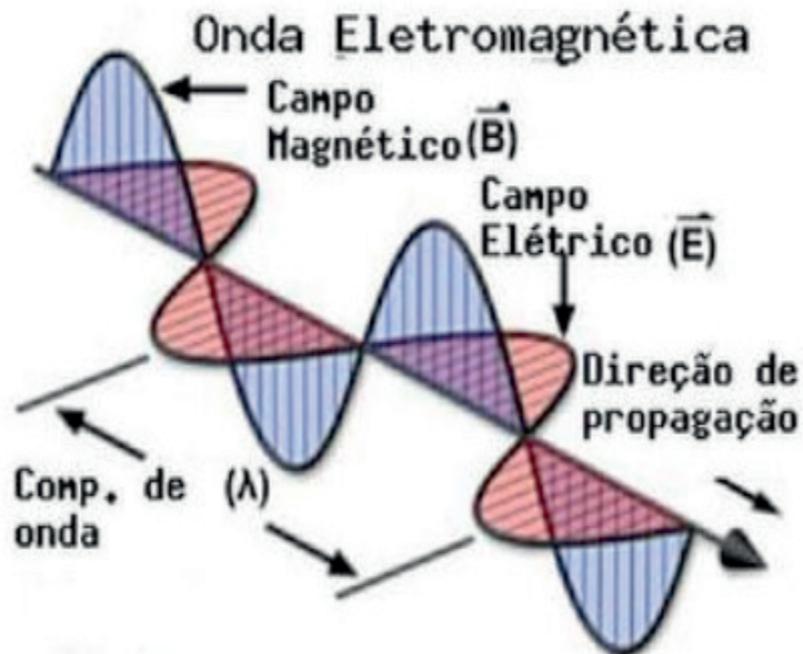


Figura 1. Ao contrário das ondas mecânicas, as ondas eletromagnéticas não necessitam de um meio material para se propagarem, pois, o campo elétrico e magnético pode ser estabelecido na ausência de material. Sendo assim, a radiação eletromagnética pode se propagar no espaço vazio. <http://blog.clickgratis.com.br/>

Assim, a partir deste contexto histórico muitas pesquisas possibilitaram a abertura de um novo horizonte para as telecomunicações.

Na era da informação, as ondas eletromagnéticas constituem um bem valioso (embora invisível), assim como a terra é um recurso natural essencial para os agricultores. Todos os equipamentos sem fio, dos celulares aos controles remotos de televisão, mandam seus sinais em determinada faixa de frequência localizada dentro do espectro das ondas eletromagnéticas. O mesmo não é infinito e nem se chegou ao limite de seu uso. O avanço de sua utilização vem sendo intenso a partir do século XX. O ritmo deve aumentar ainda mais agora com a ampliação do uso de novas tecnologias de conexão sem fio como o do Wireless Fidelity (wi-fi) e do Bluetooth. A energia do campo eletromagnético viaja pelo espaço em forma de ondas, conforme provou em 1888 Heinrich Hertz, e essas ondas se acomodam e ocupam um lugar determinado no espectro de frequências (RIBEIRO, 2004).

A faixa de maior interesse comercial, ao longo do espectro, é a frequência situada entre 9 quilohertz (kHz ou 1.000 hertz) e 400 gigahertz (GHz ou 1 bilhão de hertz). No Brasil, essa faixa é administrada pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). As faixas mais valiosas são as ondas de frequências mais baixas e de maior comprimento (longas), capazes de viajar longas distâncias e ainda atravessar objetos sólidos, como as paredes dos edifícios. Elas são utilizadas pela televisão aberta e pelo rádio. A tecnologia já conseguiu torna o espectro mais eficiente, mediante a compactação das informações, e uma faixa de frequência, para conduzir os sinais de vídeo de um canal de televisão, pode agora ser utilizado por dez canais, muitas vezes nas duas direções, origem da televisão interativa (RIBEIRO, 2004).

As ondas de 1 megahertz MHz completam 1 milhão de ciclos em 1 segundo. As inovações determinam uma intensificação do loteamento do espectro. Esses são alguns dos destaques das inovações: transmissão de rádio transatlântica, em 1901; televisão, em 1925; televisões em cores, 1928; forno micro-ondas, 1947; primeiro satélite de comunicações (TELSTAR), em 1962; celular no Brasil, em 1990; avanço do wi-fi e do Bluetooth, em 2001.

3.1 A equação da onda eletromagnética

As equações dos campos elétricos e magnéticos:

Considere a lei de Faraday:

$$(6) \quad \nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

Tomando o rotacional da expressão (5), obtém-se que:

$$(7) \quad \nabla \times (\nabla \times \vec{E}) = -\nabla \times \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$(8) \quad \nabla \times (\nabla \times \vec{E}) = -\frac{\partial}{\partial t} (\nabla \times \vec{B})$$

Deve-se mostrar que:

$$(9) \quad \vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{E}) = \vec{\nabla}(\vec{\nabla} \cdot \vec{E}) - \vec{\nabla}^2 \vec{E} = -\vec{\nabla}^2 \vec{E}$$

Pela análise tensorial, pode-se definir o rotacional de um vetor como sendo dado pela seguinte expressão:

$$(10) \quad \nabla \times \vec{A} = \varepsilon_{ijk} \partial_j A_k$$

Para,

$$(11) \quad \nabla \times (\nabla \times \vec{E}) = \nabla \times \vec{D} = \varepsilon_{ijk} \partial_j (D)_k$$

Logo,

$$(12) \quad (D)_k = (\nabla \times \vec{E})_k = \varepsilon_{krs} \partial_r E_s$$

Levando (11) em (10), obtém-se:

$$\nabla \times (\nabla \times \vec{E}) = \varepsilon_{ijk} \varepsilon_{krs} \partial_j (\partial_r E_s)$$

Considerando a notação:

$$\varepsilon_{ijk} \varepsilon_{krs} = (\partial_{rs}^{ij} - \partial_{sr}^{ij})$$

Tem-se:

$$\begin{aligned} \nabla \times (\nabla \times \vec{E}) &= (\partial_{rs}^{ij} - \partial_{sr}^{ij}) \\ \nabla \times (\nabla \times \vec{E}) &= \partial_{rs}^{ij} \partial_j (\partial_r E_s) - \partial_{sr}^{ij} \partial_j (\partial_r E_s) \\ \nabla \times (\nabla \times \vec{E}) &= \partial_j (\partial_i E_j) - \partial_j (\partial_j E_i) \\ \nabla \times (\nabla \times \vec{E}) &= \partial_j (\partial_i E_j) - \nabla^2_j \vec{E}_i \\ \nabla \times (\nabla \times \vec{E}) &= \partial_i (\partial_j E_j) - \nabla^2_j \vec{E}_i \end{aligned} \quad (13)$$

De acordo com o produto escalar na forma tensorial, onde $\partial_j E_j = \nabla \cdot \vec{E}$. Considerando (12) na forma vetorial, tem-se que:

$$(14) \quad \nabla \times (\nabla \times \vec{E}) = \nabla (\nabla \cdot \vec{E}) - \nabla^2 \vec{E}$$

Tomando a lei de Gauss na forma pontual, isto é: $\nabla \cdot \vec{D} = \rho$ e sendo $D = \varepsilon \vec{E}$

$$(15) \quad \nabla \cdot \varepsilon \vec{E} = \rho$$

$$\varepsilon_0 (\nabla \cdot \vec{E}) = \rho$$

$$(16) \quad \nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

Levando (16) em (14), tem-se:

$$(17) \quad \nabla \times (\nabla \times \vec{E}) = \nabla \left(\frac{\rho}{\varepsilon_0} \right) - \nabla^2 \vec{E}$$

Supondo que ρ seja constante, vem que $\nabla \left(\frac{\rho}{\varepsilon_0} \right) = 0$, logo:

$$(18) \quad \nabla \times (\nabla \times \vec{E}) = -\nabla^2 \vec{E}$$

Considerando agora a expressão (8), vem:

$$(19) \quad -\nabla^2 \vec{E} = -\frac{\partial}{\partial t} (\nabla \times \vec{B})$$

Tomando a equação de Maxwell:

$$(20) \quad \nabla \times \vec{H} = J + \frac{\partial D}{\partial t}$$

Como $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$

$$\begin{aligned} \nabla \times \frac{\vec{B}}{\mu_0} &= J + \frac{\partial D}{\partial t} \\ \nabla \times \vec{B} &= \mu_0 J + \frac{\partial D}{\partial t} \mu_0 \end{aligned}$$

Sendo

$$(21) \quad \begin{aligned} \vec{D} &= \epsilon_0 \vec{E} \\ \nabla \times \vec{B} &= \mu_0 J + \frac{\partial}{\partial t} (\epsilon_0 \mu_0 \vec{E}) \\ \nabla \times \vec{B} &= \mu_0 J \epsilon_0 + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \end{aligned}$$

Levando em (21) em (20), vem que:

$$\begin{aligned} -\nabla^2 \vec{E} &= -\frac{\partial}{\partial t} \left[\mu_0 J \epsilon_0 + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right] \\ -\nabla^2 \vec{E} &= -\mu_0 \frac{\partial J}{\partial t} - \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \end{aligned}$$

Considerando que taxa de densidade de corrente com o tempo é nula, vem que:

$$(22) \quad \begin{aligned} -\nabla^2 \vec{E} &= -\epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \\ \nabla^2 \vec{E} &= \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \end{aligned}$$

Que representa a equação da onda para um campo elétrico um meio onde \vec{J} e $\vec{\rho}$ são constantes, de um modo análogo, obtém-se para o campo magnético:

$$(23) \quad \nabla^2 \vec{B} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2}$$

Mostrar-se-á ao longo desse trabalho que uma onda eletromagnética propaga-se no espaço em campo \vec{E} e \vec{B} perpendicularmente. Logo, se \vec{E} propaga-se com uma componente y , \vec{B} propaga-se ao longo do eixo z . Levando as equações de onda do campo elétrico e magnético, tem-se:

$$(24) \quad \frac{\partial^2}{\partial x^2} \vec{E}_y = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2}{\partial t^2} \vec{E}_y$$

e

$$(25) \quad \frac{\partial^2}{\partial x^2} \vec{B}_z = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2}{\partial t^2} \vec{B}_z$$

Considerando na equação (24) a expressão:

$$(26) \quad \vec{E}(y,t) = \vec{E}_x e^{-i\omega t}$$

E substituindo na equação de onda do campo elétrico tem-se:

$$(27) \quad \begin{aligned} \frac{\partial^2}{\partial x^2} [\vec{E}_x e^{-i\omega t}] &= \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2}{\partial t^2} [\vec{E}_y e^{-i\omega t}] \\ e^{-i\omega t} \frac{d^2 \vec{E}_y}{dx^2} - \mu_0 \epsilon_0 \vec{E}_y (i^2 \omega^2) e^{-i\omega t} &= 0 \\ e^{-i\omega t} \frac{d^2 \vec{E}_y}{dx^2} + \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 \vec{E}_y &= 0 \end{aligned}$$

Demonstrando a velocidade da onda eletromagnética com $\frac{1}{c} = \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$, logo:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial^2}{\partial x^2} \vec{E}_y + \frac{\omega^2}{c^2} \vec{E}_y &= 0 \\
\frac{\partial^2}{\partial x^2} \vec{E}_y + \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 \vec{E}_y &= 0 \\
\lambda^2 + \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 &= 0 \\
\lambda^2 &= -\left(\frac{\omega}{c}\right)^2 \\
\lambda &= \pm i \frac{\omega}{c}
\end{aligned}
\tag{28}$$

Chamando $\frac{\omega}{c} = k$, tem-se que:

$$\begin{aligned}
\lambda_1 &= ik \\
\lambda_2 &= -ik \\
\text{ou} \\
\lambda &= \pm ik
\end{aligned}$$

Sendo a solução da equação de (26) dado por:

$$\vec{E}_y = \vec{E}_{y0} e^{\pm ikx}
\tag{29}$$

Como a equação do campo elétrico de uma onda que se propaga com frequência ω é dada por:

$$\begin{aligned}
\vec{E}_y &= \vec{E}_y e^{-i\omega t} \\
\vec{E}_y &= \vec{E}_{y0} e^{\pm ikx} e^{-i\omega t} \\
\vec{E}_y &= \vec{E}_{y0} e^{\pm i(kx - \omega t)}
\end{aligned}
\tag{30}$$

Sendo a equação de Euler dado por $e^{i\theta} = \cos \theta + i \operatorname{sen} \theta$, logo para o $\theta = kx - \omega t$

Tem-se que:

$$e^{\pm i(kx - \omega t)} = \cos(kx - \omega t) \pm i \operatorname{sen}(kx - \omega t)
\tag{31}$$

Considerando somente a parte imaginária para descrever o comportamento da propagação da onda associado ao campo elétrico, tem-se:

$$(32) \quad \vec{E}_y = \vec{E}_{y_0} \text{sen}(kx - \omega t)$$

3.2 Propagação de ondas eletromagnéticas nas camadas da atmosfera

A atmosfera é constituída de cinco camadas: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera e exosfera. O ar se torna mais rarefeito quanto mais distante da superfície terrestre, é por isso que os alpinistas normalmente levam oxigênio com eles quando escalam montanhas. A troposfera é a única camada em que os seres vivos podem respirar normalmente (GOODY, 1975).

A propagação é uma forma de transmissão de energia, e essa transmissão de energia possui algumas formas específicas, que de acordo com a altitude dos caminhos os quais as ondas se propagam podem ser classificados em ondas de rádio, Ionosféricas, Troposferas e Terrestres. As ondas Ionosféricas também chamadas de Espaciais ou Refletidas que é a parte da irradiação total que está dirigida à Ionosfera. Estas ondas ionosféricas podem ou não voltar para a terra pelos efeitos da refração e da reflexão dependendo das condições que na prática são variáveis (RIBEIRO, 2004).

As ondas Troposferas é a parte da irradiação total que sofre refração e reflexão de regiões onde existem mudanças bruscas de dielétrico situadas na Troposfera, como por exemplo, os limites de massas de ar de diferentes temperaturas e conteúdo de umidade. As ondas Terrestres são a parte da irradiação total que são afetadas pela presença da terra e pelas características da formação do seu relevo. A onda terrestre possui dois componentes, onda de superfície que é guiada pela terra, e a onda de espaço (que não deve ser confundida com a onda ionosférica). A onda de espaço é resultante da onda direta e da onda refletida no solo (RIBEIRO, 2004).

3.3 Camada da ionosfera

A ionosfera fica acima de 80 km de altitude, composta por moléculas ionizadas, isto é, carregadas eletricamente, é nesta camada que as ondas de raio são refletidas de volta para a terra (Figura 2). Na ionosfera ocorrem alguns fenômenos, como por exemplo, a aurora polar, que é visível nas regiões polares e a desintegração dos meteoros provenientes do espaço, é o que nós observamos como estrelas cadentes. Essa é a camada mais importante para as propagações de ondas de rádio. Uma onda de radio, ao ser emitido por uma antena, se decompõe em duas partes: uma que se propaga próximo à superfície e outra pelo espaço (TOLENTINO, 1975).

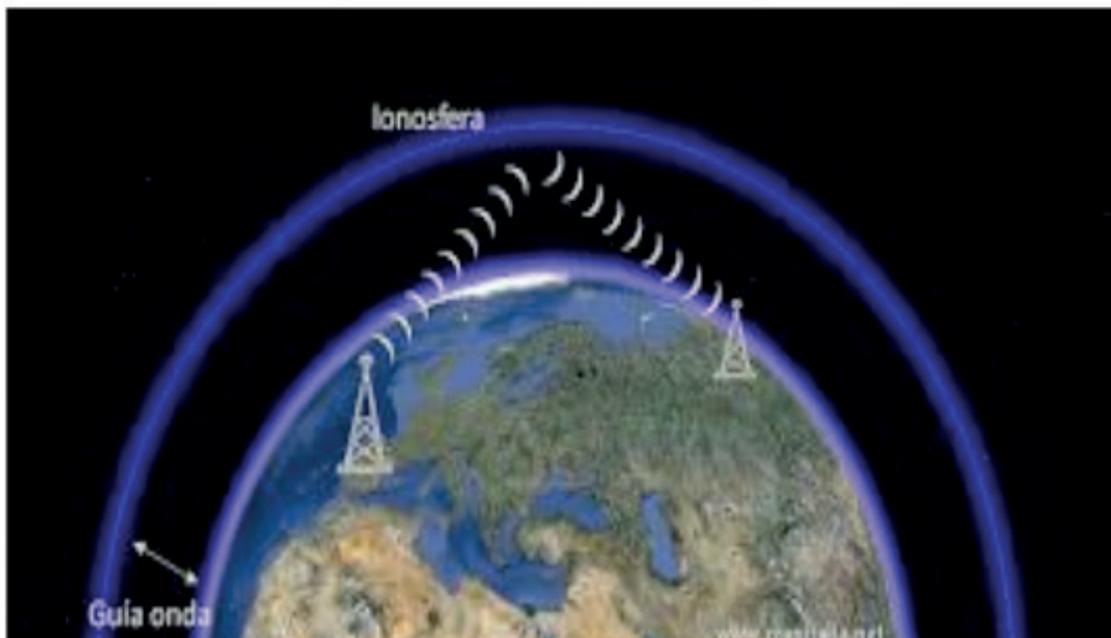


Figura 2. Emissão de ondas de rádio na camada da Ionosfera. Fonte: <http://ecojatai.blogspot.com.br/>

No plasma ionosférico encontra-se condutividade iônica e permissividade eletromagnética o que faz se comporta em alguns momentos como condutores elétricos e em outro como condutor sintonizado em determinadas frequências podendo refletir praticamente sem perdas de determinados comprimentos de ondas e inutilizam outros de frequências diferentes através da absorção. Se não houvesse a ionosfera, a parte da onda de rádio que se propaga pelo espaço não seria refletida para a terra, impossibilitando as comunicações radiotelegráficas. Como esta camada é ionizada devido ao grande bombardeio de partículas provenientes do Sol, a intensidade da radiação ionizante varia com a posição solar e isso afeta significativamente o poder refletor da ionosfera (TOLENTINO, 1975).

A ionização é o processo no qual os elétrons, que são carregados negativamente, são removidos (ou anexados) de átomos livres. São estes íons que fornecem o nome a ionosfera, mas são muito mais leves e livres elétrons em mutação que são importantes em termos de propagação de onda de rádio de alta frequência (HF: 3 à 20 MHz). Geralmente, quanto maior o número de elétrons, mais altas frequências pode ser usado (TOLENTINO, 1975). Durante o dia podem existir quatro regiões presentes e que influenciam diretamente nos meios de comunicação, chamadas (Figura 3):

Camada D: Esta camada é a mais próxima da troposfera que varia entre 20 e 80Km, tem ionização muito baixa e sua ionização procede do sol, acontece durante o dia onde o sol tem suas maiores irradiações de energia sobre a superfície da terra, durante a noite esta camada não tem utilidade prática.

Camada E: Acima de 80Km até 140Km permite devolver as ondas eletromagnéticas até uma distância de 2.000Km do ponto de origem. Esta camada tem influência nos efeitos práticos para condução de ondas médias, e seu melhor efeito com máxima propagação é durante o dia, mas não sofre anulação total durante a noite.

Camada F: A camada F tem altitude média entre 200 e 400 Km, as camadas D e E

quase desaparecem durante a noite. Durante as horas de sol a Camada **F** se subdivide em outras duas camadas que são a camada **F1** e **F2**. A **F1** se move entre 140 e 250 Km durante o dia e se eleva durante a noite.

Esta camada fica ionizada por mais tempo que as outras camadas permanecendo ionizada durante a noite, já de forma menos densa. Devido grande ionização durante o dia essa camada refrata altas frequências já durante a noite permite a passagem dessas frequências e refrata frequências abaixo dos 10MHz de volta a terra.



Figura 3. Distribuição das camadas D, E e F, Verifica-se pela figura que a camada D é a mais próxima da troposfera, sendo responsável pela ionização muito baixa. Fonte: <https://www.google.com.br>

Durante o dia, a “Esporádica **E**, são algumas vezes observadas na região **E**, e em algumas determinadas durante o ciclo solar a região **F1**, e assim, se juntarem para forma a região **F**. À noite, as regiões **D**, **E** e **F1** se tornam muito vazias de elétrons livres, deixando apenas a região **F2** disponível para comunicações, entretanto não é raro ocorrer a região Esporádica **E** durante a noite. Apenas a **E**, **F1** e Esporádica **E** quando presentes, e a região **F2** refratam ondas de alta frequência (HF). A região **D** também é importante, porque apesar de não refratar ondas de rádio, ela absorve ou atenuam. A região **F2** é a mais importante para a propagação das ondas de rádio HF devido: Estar presente 24 horas do dia; Sua alta altitude permite os mais longos caminhos de comunicação; Geralmente refratam as mais altas frequências na faixa HF (TOLENTINO, 1975).

O tempo de vida dos elétrons é maior na região **F2** o qual é uma razão porque estar presente à noite. Tempos típicos de vida de elétrons nas regiões **E**, **F1** e **F2** são 20 segundos, 1 minuto e 20 minutos, respectivamente. Para que a emissão de onda possa refletir na ionosfera, é necessário que esta tenha certo valor de densidade eletrônica. Esta densidade

cresce da camada **D** à camada **F**, passando pela camada **E**. O intervalo de tempo de retorno do eco fornece a altura do ponto de reflexão e o comprimento de onda utilizada permite obter a densidade eletrônica que reina nesse ponto. Se esta experiência for repetida diversas vezes, utilizando-se vários comprimentos de ondas, será possível deduzir a variação de densidade eletrônica com a altitude, o que vai fornecer o que se chama de perfil ionosférico (Figura 4) (GOODY, 1975).

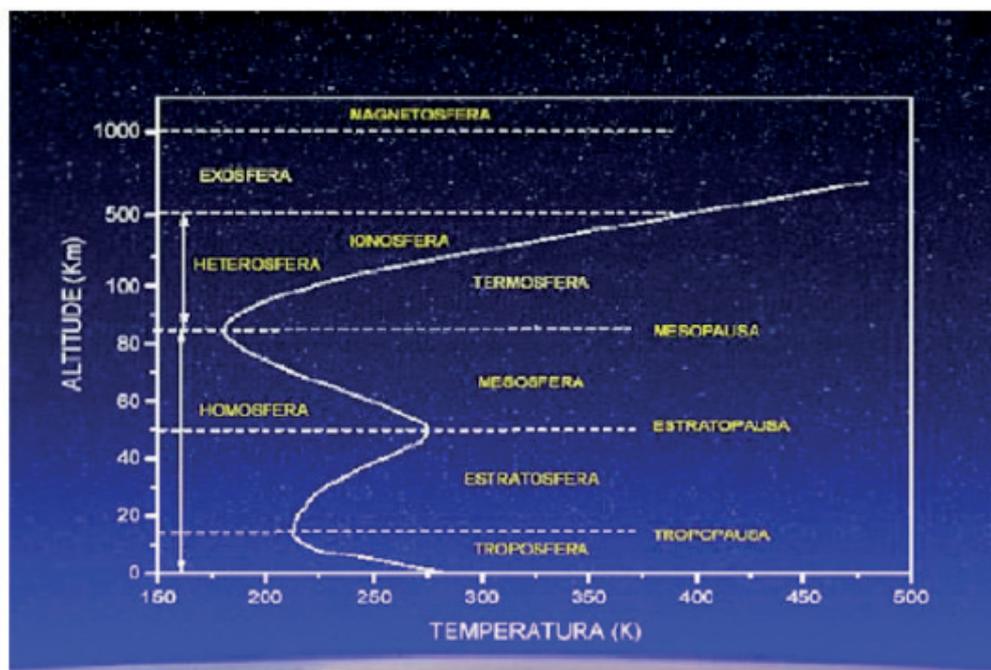


Figura 4. Camadas da atmosfera terrestre localizadas entre 0 e 1000 km de altitude. As diversas camadas são divididas de acordo com o seu perfil de temperatura. Fonte: http://www.univap.br/dialogo_informativo.

O tamanho de onda é inversamente proporcional à densidade eletrônica necessária para a reflexão. Pode-se chegar então a um comprimento de onda mínimo ou limite que possa ser refletido em função da densidade eletrônica da camada. Se não respeitado esse mínimo, estas ondas atravessam a ionosfera não sendo mais aproveitadas pela telecomunicação terrestres. A ionização, porém depende das estações do ano, da hora e da posição do Sol. Embora a alta atmosfera receba radiação constantemente, o grau de ionização não aumenta indefinidamente, isto se deve porque a esta ionização se opõe a força de atração eletrostática entre íons e elétrons (GOODY, 1975).

As ondas curtas se refletem nas camadas superiores onde a densidade eletrônica é maior (**F1** e **F2**). As ondas longas ou quilométricas se refletem na camada **D**, mais inferior. As ondas utilizadas na propagação ionosférica variam de 10 a 100 m. para ondas de comprimento inferior a 10 m não ocorre reflexão, por insuficiência de densidade eletrônica da camada e para ondas de comprimento superior a 100 m também não ocorre, pelo fato dessas ondas serem absorvidas pela ionosfera (GOODY, 1975).

3.3.1 Propriedades das Ondas Ionosféricas

Exceto para distâncias curtas, quase todas as comunicações entre radioamadores em frequências inferiores a 30MHz se opera com ondas espaciais. Este tipo de onda ao serem emitidas pelas antenas viaja para cima no sentido oposto à superfície terrestre, num ângulo tal que ela se perderia no espaço se não fosse seu curso formar curvatura que faz com que ela retorne a terra novamente. A ocorrência dessa curvatura é provocada pela ionosfera, que é uma região situada na atmosfera superior, numa altitude ao redor de 100Km , onde existem íons e elétrons livres com quantidades suficientes para aumentar a velocidade com que as ondas de rádio viajam. A ionosfera está formada por várias camadas com diferentes densidades de ionização localizadas em diferentes altitudes. Cada camada tem uma região central de ionização relativamente densa, à medida que se distância tanto para cima ou para baixo desta região a camada fica menos densa.

3.3.2 Interações das ondas de rádios com os elétrons da Ionosfera.

Seja $-e$ a carga e m a massa do elétron, respectivamente, inicialmente em repouso na origem do sistema, e que a partir do instante em que ele possa a interagir com a onda eletromagnética que cujo campo elétrico é:

$$(33) \quad E(t) = E_0 \text{sen}(\omega t + \theta_0)$$

Ao ser atingido por esse campo, o elétron experimenta uma força dada por:

$$(34) \quad F(t) = -eE(t)$$

Substituindo a equação (60) em (61), torna-se:

$$(35) \quad F(t) = -eE_0 \text{sen}(\omega t + \theta_0)$$

Usando a equação

$$(36) \quad m \cdot \frac{dv}{dt} = F(t)$$

Tem-se que:

$$dv = \frac{F(t)}{m} dt$$

$$v - v_0 = \int_0^t \frac{F(t)}{m} dt$$

Como a força varia com o tempo, não pode ser retirada do integrando. Logo:

$$(37) \quad v = v_0 + \int_0^t \frac{F(t)}{m} dt$$

$$v = v_0 - \frac{e.E_0}{m} \int_0^t \text{sen}(\omega t + \theta_0) dt$$

$$v = v_0 - \frac{e.E_0}{\omega m} \cdot [-\cos(\omega t + \theta_0) + \cos \theta_0]$$

$$v = v_0 - \frac{e.E_0}{\omega m} \cos \theta_0 + \frac{e.E_0}{\omega m} \cos(\omega t + \theta_0)$$

Como para $t=0$, $v_0=0$, Tem-se que:

$$(38) \quad v = -\frac{eE_0}{m\omega} \cos \theta + \frac{eE_0}{m\omega} \cos(\omega t + \theta_0)$$

Que apresenta a velocidade do elétron para $t > 0$

Para a posição assumida pelo elétron a cada tempo t , tem-se que:

$$(39) \quad dx = v dt$$

$$\int_0^x dx = \int_0^t \left[-\frac{eE_0}{m\omega} \cos \theta_0 + \frac{eE_0}{m\omega} \cos(\omega t + \theta_0) \right] dt$$

$$x = -\frac{te.E_0}{m\omega} \cos \theta_0 + \int_0^t \frac{eE_0}{m\omega} \cos(\omega t + \theta_0) dt$$

$$(40) \quad x = -\frac{te.E_0}{m\omega} \cos \theta + \frac{eE_0}{m\omega^2} \text{sen}(\theta_0) + \frac{eE_0}{m\omega^2} \text{sen}(\omega t + \theta_0)$$

Os dois primeiros termos indicam que os elétrons estão à deriva, movimentando-se com velocidade uniforme e que esta velocidade é função que depende somente das condições iniciais. Já o último termo, indica que se tem um movimento oscilatório superposto ao movimento de deriva do elétron. A frequência da oscilação ω do elétron é independente das condições iniciais e é a mesma frequência de oscilação do campo elétrico da onda de

rádio incidente. A ideia central é investigar como tais oscilações coerentes dos elétrons livres podem modificar a propagação. Características das ondas eletromagnéticas incidentes. O campo elétrico da fonte oscilante é dado por:

$$(41) \quad E(t) = E_0 \text{sen}(\omega t + \theta_0)$$

Para essa parte oscilante, o elétron se desloca obedecendo à expressão:

$$(42) \quad x = \frac{eE_0}{m\omega^2} E(t)$$

Essa parte oscilante do deslocamento do elétron faz surgir um momento de dipolo elétrico p dado por:

$$(43) \quad p = -ex$$

$$(44) \quad \vec{P} = -\frac{e^2}{m\omega^2} E_0 \text{sen}(\omega t + \theta_0)$$

Sendo dado por:

$$E(t) = E_0 \text{sen}(\omega t + \theta_0)$$

O que fica equivalente a:

$$(45) \quad \vec{p} = -\frac{e^2}{m\omega^2} \vec{E}(t)$$

Cada elétron do gás irá experimentar um campo elétrico externamente aplicado e um campo interno causado pelos momentos de dipolo induzidos dos outros elétrons. Mas desde que a densidade N de elétrons na ionosfera é muito baixa, a segunda contribuição pode negligenciada, e a polarização macroscópica P é:

$$(46) \quad \vec{P} = NP = -\frac{Ne^2}{m\omega^2} \vec{E}(t)$$

O índice de refração n do gás de elétrons nos dirá o que ocorrerá com as ondas de rádio viajando através da ionosfera. O índice de refração n de um meio é:

$$(47) \quad n = \frac{c}{v}$$

Onde c e v velocidade da luz no vácuo e no meio respectivamente, e elas ainda podem ser expressas como:

$$(48) \quad c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad \text{e} \quad v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}}$$

Onde ϵ_0 e ϵ são as permissividades elétricas do vácuo e do meio respectivamente, enquanto μ_0 e μ são as permeabilidades magnéticas do vácuo e do meio respectivamente, $\mu_0/\mu \approx 1$, portanto podemos escrever:

$$(49) \quad n = \sqrt{\frac{\epsilon \mu}{\epsilon_0 \mu_0}} \approx \sqrt{\frac{\epsilon}{\epsilon_0}} = \sqrt{k}$$

Onde a constante k é chamada de permissividade relativa e está relacionada ao campo elétrico \vec{E} e a polarização \vec{P} , e ao vetor deslocamento elétrico \vec{D} pela relação:

$$(50) \quad \vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$$

$$(51) \quad \vec{D} = \epsilon \vec{E} = k \epsilon_0 \vec{E}$$

A partir da qual temos:

$$(52) \quad k = 1 + \frac{1}{\epsilon_0} \left(\frac{\vec{P}}{\vec{E}} \right)$$

A qual usando a equação (73) pode ser escrita como:

$$(53) \quad k = 1 - \left(\frac{\omega_p}{\omega} \right)^2$$

Onde ω_p é a frequência de plasma definida como:

$$(54) \quad \omega_p = \sqrt{\frac{Ne^2}{m \epsilon_0}}$$

Portanto, o índice de refração pode ser escrito como:

$$(55) \quad n = \sqrt{1 - \left(\frac{\omega_p}{\omega}\right)^2}$$

Da expressão acima vemos que $\omega = \omega_p$, k e n tornam-se zeros. Quando ω é menor que ω_p , k é negativo e o índice de refração n torna-se imaginário puro. Agora estamos prontos para discutir o que irá ocorrer com as ondas de rádio viajando pela ionosfera:

- Para n real e $0 < n < 1$, ou equivalente $\omega > \omega_p$. De acordo com a Lei de Snell:

$$(56) \quad n_1 \text{sen}\theta_i = n_2 \text{sen}\theta_r$$

Uma onda de rádio deverá ter sua trajetória refratada da normal quando ela atingir a ionosfera. O ângulo de refração θ_r torna-se 90° quando o $\text{sen}\theta_i = n$. Para ângulos de incidência θ_i maiores do que este, a onda é totalmente refletida. De fato, as bordas da ionosfera não são abruptas, mas a reflexão deverá ocorrer para todos os ângulos de incidência dado por:

$$(57) \quad \text{sen}\theta_i \geq n_{\min.}$$

Onde n_{\min} é o índice de refração mínimo da ionosfera, ocorrer na altura que a densidade de elétrons é máxima. Pode-se ver que as ondas com maiores frequências, o índice de refração n da ionosfera é aproximadamente da ordem da unidade, e as ondas são refratadas suavemente a partir da normal. Em baixas frequências n é menor e as ondas são refletidas de volta para a superfície da Terra. E ainda em baixas frequências, n é menor que $\text{sen}\theta_i$, no fundo da ionosfera, e as ondas são totalmente refletidas.

- Se $(\omega > \omega_p)$, não haverá um fluxo líquido de energia e não há absorção de energia pela ionosfera. Devido a estes fenômenos podemos concluir que a onda é completamente refletida pela ionosfera, para qualquer ângulo de incidência (Figura 5).

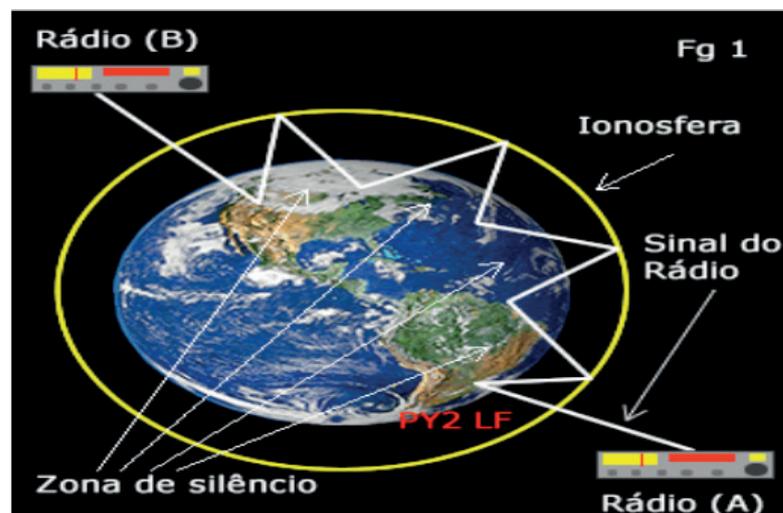


Figura 5. Para um valor de índice de refração n considerado imaginário, a onda não sofre refração da camada de ionosfera. Fonte: <http://www.pxclubepiracicaba.com>

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

As ondas de rádio estão em constante interação com a atmosfera terrestre e contribuem para estudos e descobertas a respeito das interações que ocorrem entre os elétrons presente na ionosfera com as ondas de rádio que se propagam. Mas muitas dessas interações sofrem interferência que pode prejudicar a propagação das ondas de rádio. Para compreender como acontecem as interações recorrem-se as equações de Maxwell para melhor descrever os deslocamentos de elétrons ao longo da ionosfera o que resultou em importantes interpretações para saber como aconteceram aquelas interações na camada da ionosfera.

As equações de Maxwell se tornou a base para mostrar algumas aplicações de relevância fundamental para a compreensão de como as ondas eletromagnéticas se interagiram com os elétrons presentes na camada da ionosfera. Outro fato que levou a atenção neste artigo é fato de que o deslocamento dos elétrons após a interação com a onda eletromagnética, dependeu de três termos onde todos são funções do campo elétrico externo e onde apenas o último termo foi periódico. Foi possível com base naquela equação mostrar como os elétrons descrevem as trajetórias na camada da ionosfera após a interação com a onda eletromagnética aplicada.

REFERENCIAS

MERÇON, F.; QUADRAT, S.V. **A Radioatividade e a História do Tempo Presente**. Química Nova na Escola, n. 19, p. 27-30, 2004.

HALLIDAY, D. 1916 - **Fundamentos de Física**. Volume 3: eletromagnetismo/ Halliday, Resnich, Jearl Walker; tradução e revisão técnica Ronaldo S. de B. – [Reimpr.]. – Rio de Janeiro: LTC, 2011.

RUÍZ, A. A. (1971). **El mundo de la television. Madri**: Guadarrama.

SQUIRRA, S. C. M. (1995). **Aprender telejornalismo: produção e técnica**. 1ª. Reimpressão. São Paulo: Brasiliense.

SIQUEIRA, E. **Para Compreender o Mundo Digital**. São Paulo: Globo, 2008.

Foster, I, “**Designing and building parallel programs: Concepts and tools for parallel software engineering**”, Addison Wesley, 1994.

MACHADO. K. D. Teoria do eletromagnetismo. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2002,V.2

RIBEIRO. J. A. J, **Propagação das ondas eletromagnéticas** – Princípios e aplicações. 1ª edição, Editora Érica, 2004.

GOODY, R. M.; WALKER, J. C. G. **Atmosferas Planetárias**. Editora Edgar Blucher, (1975).

TOLENTINO, M.; ROCHA-FILHO, R. C.; SILVA, R. R. **O azul do planeta**. Um Retrato da Atmosfera. Editora Edgar Blucher, (1975).

ÍNDICE REMISSIVO

A

Água Subterrânea 36, 39, 40, 41, 42, 202, 207
Aldeídos Aromáticos 160, 161, 167
Análise Numérica 44, 45, 51
Aquecimento 43, 101, 111, 115, 137, 138, 148, 149, 228
Aquífero 30, 31, 34, 35
Associativismo 249, 250, 251, 252, 253, 254, 257, 258

B

Biocontrole 119, 120

C

Cadastro Territorial 1, 3, 11
Células Solares 133, 137, 138, 143
Cinética de Secagem 109, 111, 112, 115, 116, 117
Classificação 32, 40, 152, 183, 184, 185, 186, 188, 192, 193, 197, 199
Comunidade 89, 137, 147, 162, 175, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258
Contaminação 29, 30, 32, 35, 37, 38, 39, 41, 201, 202, 227, 228, 231, 246
Correntes Atmosféricas 226, 227

D

Demarcação 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 256
Dispositivos Eletrônicos 93
Doença Fúngica 225, 227

E

Espectrofotometria 200, 202

F

Fenômeno Atmosférico 87, 227
Ferrugem Asiática 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 238, 239

H

Hidrodestilação 120, 122
Hidrogeologia 30, 32, 34, 42

I

Informação 31, 59, 60, 86, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 173, 179
Ionosfera 55, 56, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 74, 75

L

Larvicida 120, 121, 123, 125, 126, 128
Linha de Preamar Média 1
Lixo Eletrônico 93, 95, 96, 97, 98, 99, 101, 102, 103, 104, 105, 107

M

Malha Computacional 43, 45, 49, 52, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 239
Marinha 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12
Material Polimérico 170, 171, 177
Mercado Informal 88
Modelagem 13, 14, 28, 43, 45, 47, 52, 111, 117, 226
Modelagem Matemática 43, 47, 117, 226
Modelagem Numérica 13, 14, 28, 43
Multivariada 30, 31, 35, 39, 41, 200, 202

O

Óleo Essencial 119, 120, 122, 124, 125, 126, 127, 128
Óleo Fúsel 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248
Onda Eletromagnética 55, 59, 61, 64, 70, 75, 82, 87

P

Pedogênese 183, 184, 186, 199
Peneiras Moleculares 146, 148
Plantas Daninhas 200, 201, 227, 246, 247
Plataforma Continental 13
Plumas de Emissários 13
Polímeros 133, 136, 138, 139, 141, 143, 144, 170, 171, 173, 174, 175, 176, 177, 181, 261
Processamento 44, 45, 47, 48, 49, 52, 97, 109, 114, 137, 144, 181, 236, 241
Processo de Secagem 109, 110, 112, 114, 115
Processos Pedogenéticos 183, 185, 186, 191, 192, 194, 196, 199
Propriedades Medicinais 120

R

Reaproveitamento 105, 240, 246, 247
Região Costeira 13, 14

Resfriamento 43

Resíduos 47, 101, 103, 105, 106, 195, 240, 245, 273

S

Sílicas Mesoporosas 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 154, 155, 156, 157, 158

Sistemas Dinâmicos 76

Sistemas Ópticos 76

Solventes Orgânicos 200, 202

T

Tecnologia 57, 60, 93, 95, 97, 99, 100, 104, 105, 106, 108, 239, 273

Terras Raras 133, 137, 138, 143, 259, 261, 262, 263, 268

Terrenos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12

U

Umidade 66, 77, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 123, 197, 198

V

Variabilidade Ambiental 183, 184

Vulnerabilidade 11, 30, 31, 32, 34, 35, 37, 38, 39, 41

 **Atena**
Editora

2 0 2 0