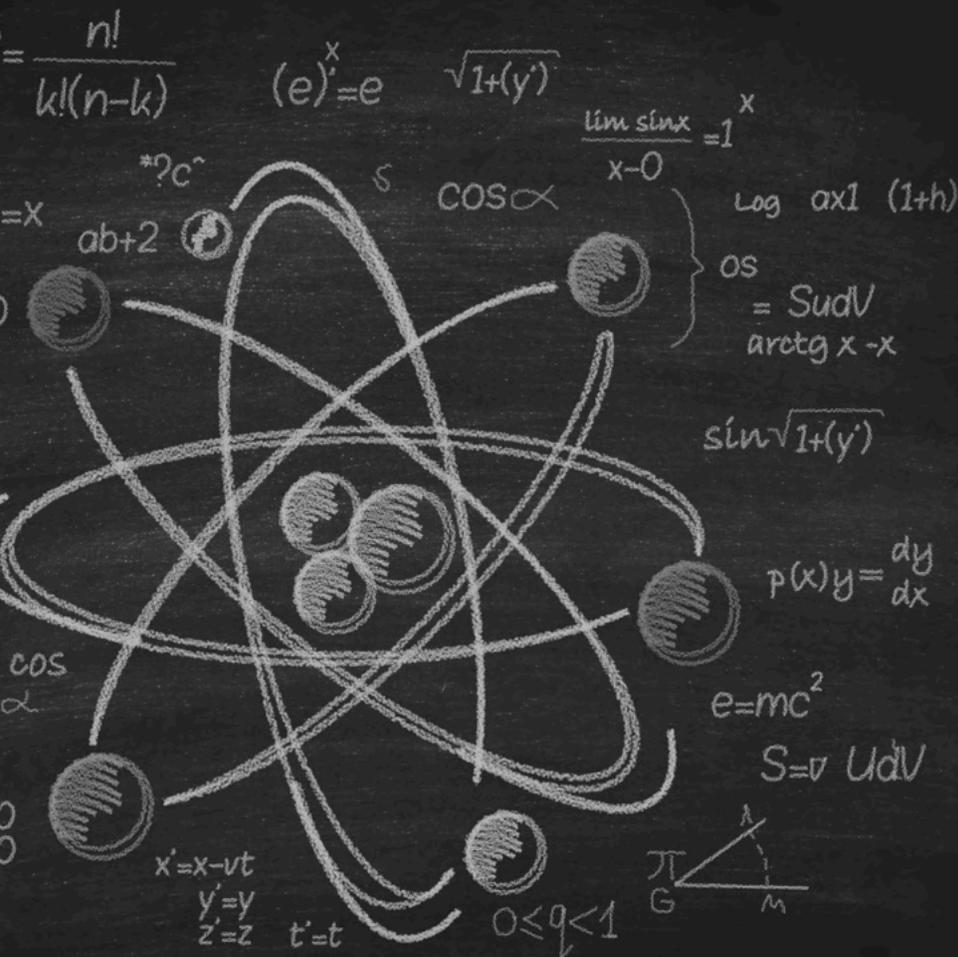


CIÊNCIAS EXATAS e da terra:

Observação, formulação e previsão

Érica de Melo Azevedo
(Organizadora)



CIÊNCIAS EXATAS e da terra:

Observação, formulação e previsão

Érica de Melo Azevedo
(Organizadora)

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

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

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª 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. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Ciências exatas e da terra: observação, formulação e previsão

Diagramação: Daphynny Pamplona
Correção: Maiara Ferreira
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadora: Érica de Melo Azevedo

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C569 Ciências exatas e da terra: observação, formulação e previsão / Organizadora Érica de Melo Azevedo. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0049-3

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.493222503>

1. Ciências exatas e da terra. I. Azevedo, Érica de Melo (Organizadora). II. Título.

CDD 507

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2022

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

Primeiramente, seja bem-vindo a mais uma obra publicada pela Atena Editora! Esse é mais um e-book que apresenta trabalhos de qualidade de pesquisadores nacionais e internacionais com textos em língua portuguesa e língua espanhola.

Os recentes acontecimentos no município de Petrópolis, na região serrana do Rio de Janeiro, têm nos ensinado muitos conceitos importantes sobre a vida em sociedade, como solidariedade, união e empatia. Porém, não podemos deixar de questionar e cobrar os órgãos públicos competentes acerca dos estudos, prevenção e alternativas para problemas como esse, que envolvem perspectivas geológicas, sociais, urbanas e econômicas. Não haveria momento mais pertinente para o lançamento desta obra, uma vez que a mesma, intitulada 'Ciências exatas e da terra: Observação, formulação e previsão', conta com 11 capítulos que tratam de assuntos atuais e relacionados a estudos da dinâmica urbana, prevenção de desastres, estudos sobre deslizamentos, aspectos geomorfológicos de solos e aspectos de ensino e aprendizagem de ciências exatas. Afinal, além da pesquisa de ponta, é necessário priorizar o ensino básico, pois é a partir dele que se desenvolve e incentiva os novos profissionais. Esses trabalhos, sem dúvida, contribuirão para a divulgação e valorização desses importantes estudos capazes de prevenir e compreender acontecimentos como o de Petrópolis-RJ. Por isso, é importante valorizar e incentivar pesquisas que salvam vidas. Desejo uma boa leitura!

Érica de Melo Azevedo

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

EXERCÍCIOS SIMULADOS PARA PREPARAÇÃO DE EVENTOS RELACIONADOS AO ROMPIMENTO DE BARRAGENS

Rafaela Baldi Fernandes

Karina Salatiel do Nascimento

Caroline das Dôres Zeferino

Taila Crístia Souza Sant'Ana

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4932225031>

CAPÍTULO 2..... 9

ESCOLA SEGURA E COMUNIDADES RESILIENTES

Osmar da Silva Laranjeiras

André Munhoz de Argollo Ferrão

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4932225032>

CAPÍTULO 3..... 26

CONCENTRACIÓN URBANA Y DESIGUALDAD SOCIOECONÓMICA: UNA DICOTOMÍA LATENTE DEL ORDENAMIENTO TERRITORIAL EN AMÉRICA LATINA

Héctor Manuel Cortez Yacila

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4932225033>

CAPÍTULO 4..... 42

O USO DA DOMINÂNCIA NO PROBLEMA DA ÁRVORE GERADORA MÍNIMA COM PARÂMETROS FUZZY

Fabio Hernandes

Lucas Fernando Frighetto

Mauro Henrique Mulati

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4932225034>

CAPÍTULO 5..... 62

AVALIAÇÃO DA RUPTURA DE MUROS DE ARRIMO: ANÁLISE E PROJETO DE MUROS DE GRAVIDADE

Karina Macedo Carvalho

Elisângela Arêas Richter dos Santos

Armando Prestes de Menezes Filho

José Guilherme Santos da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4932225035>

CAPÍTULO 6..... 59

O USO DE GEOTECNOLOGIAS PARA DELIMITAÇÃO DE ÁREA ÚMIDA E ENTORNO PROTETIVO, CONFORME LEGISLAÇÃO PARANAENSE, EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA EXPERIMENTAL

Ana Paula Marés Mikosik

Eduardo Vedor de Paula

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4932225036>

CAPÍTULO 7..... 92

INDÍCIOS DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA EM ALUNOS DE UMA INSTITUIÇÃO DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA NA TEMÁTICA DE TERRA COMO UM CORPO CÓSMICO

Jefferson Oliveira do Nascimento

Italo Gabriel Neide

Sônia Elisa Marchi Gonzatti

Marcelo Albano Moret

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4932225037>

CAPÍTULO 8..... 106

ONDAS PLANAS EM UM MEIO ESTRATIFICADO

Jefferson Oliveira do Nascimento

Hernane Borges de Barros Pereira

Davidson Martins Moreira

Marcelo Albano Moret

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4932225038>

CAPÍTULO 9..... 113

REDES COMPLEXAS E SOCIAIS COMO FERRAMENTAS PARA O ESTUDO DE UM SISTEMA COMPLEXO BASEADO EM *KEYWORDS* DE PRODUÇÕES CIENTÍFICAS

Jefferson Oliveira do Nascimento

Hernane Borges de Barros Pereira

Marcelo Albano Moret

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4932225039>

CAPÍTULO 10..... 122

VAMOS DE SAFARI POR LA SABANA MATEMÁTICA + NEUROCIENCIAS + INTELIGENCIAS MÚLTIPLES = NUEVA EXPERIENCIA DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE

Adriana Mónica Gandolfi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.49322250310>

CAPÍTULO 11..... 131

REDES SEMÂNTICAS COMPLEXAS BASEADAS EM ABSTRACTS

Jefferson Oliveira do Nascimento

Hernane Borges de Barros Pereira

Marcelo Albano Moret

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.49322250311>

SOBRE A ORGANIZADORA..... 139

ÍNDICE REMISSIVO..... 140

Data de aceite: 01/02/2022

Jefferson Oliveira do Nascimento

Universidade Federal do Amazonas (INC/UFAM), Benjamim Constant, AM;
Universidade Federal do Amazonas (INC/UFAM), Benjamim Constant, AM

Hernane Borges de Barros Pereira

Universidade do Estado da Bahia. Programa de Modelagem Computacional, CIMATEC Salvador, BA, Brasil

Davidson Martins Moreira

Universidade do Estado da Bahia. Programa de Modelagem Computacional, CIMATEC Salvador, BA, Brasil

Marcelo Albano Moret

Universidade do Estado da Bahia. Programa de Modelagem Computacional, CIMATEC Salvador, BA, Brasil

RESUMO: Conforme literatura científica, bem como as obras específicas de Rijo, um meio estratificado é um meio constituído por várias camadas horizontais. Para analisar como os campos elétrico e magnético se comportam num meio estratificado, é necessário estudar tal comportamento em um meio formado por uma única camada demasiadamente espessa de tal forma que podemos considerá-la um meio ilimitado. O presente artigo tem como objetivo apresentar de forma direta e didática, visando um público que deseja se inserir e iniciar seus estudos em Geofísica, na linha de pesquisa de

Métodos Eletromagnéticos (utilizando ou não modelagem computacional), apresentando um formalismo físico-matemático da supracitada temática. Demonstrar que a propagação do campo elétrico e magnético (nas condições citadas). podem ser descritos por meio de uma equação de onda. Partindo das considerações de um meio ilimitado, homogêneo e isotrópico e, apresentado os percursos metodológicos; conforme os alicerces fornecidos pelas Equações de Maxwell, o presente estudo apresenta como resultado a equação de onda denominada de Equação de Helmholtz.

PALAVRAS-CHAVE: Equação de Helmholtz, Equação da Onda, Métodos Eletromagnéticos, Geofísica.

ABSTRACT: According to scientific literature, as well as the specific works of Rijo, a stratified medium is a medium consisting of several horizontal layers. In order to analyze how the electric and magnetic fields behave in a stratified medium, it is necessary to study such behavior in a medium formed by a single layer too thick in such a way that we can consider it an unlimited medium. The aim of this article is to present a direct and didactic approach, aiming at an audience that wishes to insert and begin their studies in Geophysics, in the line of research of Electromagnetic Methods (using or not computational modeling), presenting a physical-mathematical formalism of the aforementioned thematic Demonstrate that the propagation of the electric and magnetic field (in the mentioned conditions). can be described by means of a wave equation. Starting from the considerations of an

unlimited, homogeneous and isotropic medium and, presented the methodological paths; according to the foundations provided by Maxwell's Equations, the present study presents as result the wave equation called the Helmholtz Equation

KEYWORDS: Helmholtz equation, Wave Equation, Electromagnetic Methods, Geophysics.

1 | INTRODUÇÃO

De diversos trabalhos científicos, nas obras apresentadas por Rijo [1], é apresentado a definição para um meio estratificado. É aquele constituído por várias camadas horizontais. Em caráter inicial de pesquisa, um meio estratificado pode ser considerado como sendo o que dispõe de uma camada extremamente espessa, e assim, podemos fazer a consideração dela ser ilimitada [1].

Nesta camada ilimitada admitiremos também que o meio seja homogêneo e isotrópico. Estas três considerações são fundamentais para a condução da proposta apresentada aqui. Por meio delas, consideramos que os campos elétrico e magnético apresentam variação apenas na direção z .

Este artigo tem como objetivo apresentar de forma didática, clara, direta e objetiva a forma de se apresentar que as equações dos campos elétrico e magnético correspondem a equações de onda, sendo planas e uniformes no espaço, representadas pela Equação de Helmholtz [1].

Acreditamos que pela exposição didática aqui apresentada, o presente artigo poderá ajudar aos discentes a nível de pós-graduação em geofísica, na área de métodos eletromagnéticos a entenderem estes resultados iniciais. Ressaltamos por último que este artigo corresponde a uma homenagem, em especial do primeiro autor a um professor seu que não se encontra mais entre nós: o professor Luiz Rijo.

2 | MÉTODO E RESULTADOS

A metodologia apresentada na presente pesquisa inicia a partir das Equações de Maxwell. A Lei de Gauss (Eq. 1), Lei de Gauss para o magnetismo ou a conservação de fluxo magnético (Eq. 2), Lei de Faraday (Eq. 3). e a Lei de Ampère (Eq. 4).:

$$\nabla \cdot D = \rho \quad (1).$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (2).$$

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (3).$$

$$\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t} \quad (4).$$

Utilizando a Eq. 4 e substituindo os valores correspondentes para a densidade de corrente J e da indução elétrica D , teremos:

$\nabla \times H = \sigma E + \varepsilon \frac{\partial E}{\partial t}$. Transformando a equação anterior, passando do domínio do tempo para a frequência, por meio da transformada de Fourier, encontraremos:

$\nabla \times H = \sigma E + i\omega\varepsilon E$. Deixando o campo elétrico em evidência obteremos:

$\nabla \times H = (\sigma + i\omega\varepsilon)E$. A soma dos termos que multiplicam o campo elétrico pode ser substituída pela admitividade η , em que obteremos a Eq. 5:

$$\nabla \times H = \eta E \quad (5).$$

Resolvendo o rotacional na Eq. 5, da seguinte forma:

$$\nabla \times H = \left(\frac{\partial}{\partial x} i + \frac{\partial}{\partial y} j + \frac{\partial}{\partial z} k \right) \times (H_x + H_y + H_z)$$

e

$$\nabla \times H = \begin{vmatrix} i & j & k \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ H_x & H_y & H_z \end{vmatrix}$$

Encontraremos o seguinte resultado para o rotacional:

$$\nabla \times H = \left(\frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} \right) i + \left(\frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} \right) j + \left(\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} \right) k$$

Ao substituirmos o resultado anterior na Eq. 5, ela passará ao seguinte formato:

$$\left(\frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} \right) i + \left(\frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} \right) j + \left(\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} \right) k = \eta E \quad (6).$$

Lembrando que em um meio ilimitado, homogêneo e isotrópico a variação do campo ocorre na direção z . Assim, utilizando o termo do eixo das abscissas que satisfazem a condição anterior, teremos:

$-\frac{\partial H_y}{\partial z} = \eta E_y$, obtermos a Eq. a seguir:

$$\frac{\partial H_y}{\partial z} + \eta E_x = 0 \quad (7).$$

Satisfazendo ainda a condição para a variação do campo na direção z, utilizando o termo na direção y da Eq. 6, obteremos:

$$\frac{\partial H_x}{\partial z} = \eta E_y, \text{ passando ao formato da seguinte equação:}$$

$$\frac{\partial H_x}{\partial z} - \eta E_y = 0 \quad (8).$$

Utilizaremos a Eq. 8 posteriormente. Retornando ao pensamento da Eq. 7 e isolando o campo elétrico na direção x, $-\eta E_x = \frac{\partial H_y}{\partial z}$, encontraremos a seguinte equação:

$$E_x = -\frac{1}{\eta} \frac{\partial H_y}{\partial z} \quad (9).$$

Passaremos agora a utilizar a Eq. 3, a Lei de Faraday e, substituindo o equivalente na indução magnética, teremos:

$\nabla \times E = -\mu \frac{\partial H}{\partial t}$. Repetindo o pensamento inicial utilizado e passando a equação anterior para o domínio da frequência, teremos:

$$\nabla \times E = -i\omega\mu H \text{ ou } \nabla \times E = -ZH \quad (10).$$

Na Eq. 10 o novo termo que substitui os anteriores após a mudança de domínio, é chamado de impedância (Z). Resolveremos o rotacional na Eq. 10 da seguinte maneira:

$$\nabla \times E = \left(\frac{\partial}{\partial x} i + \frac{\partial}{\partial y} j + \frac{\partial}{\partial z} k \right) \times (E_x + E_y + E_z), \text{ logo:}$$

$$\nabla \times H = \begin{vmatrix} i & j & k \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ E_x & E_y & E_z \end{vmatrix}$$

$$\nabla \times E = \left(\frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} \right) i + \left(\frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x} \right) j + \left(\frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} \right) k$$

Por meio do resultado anterior a Eq. 10 terá o seguinte formato:

$$\left(\frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} \right) i + \left(\frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x} \right) j + \left(\frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} \right) k = -ZH \quad (11).$$

Como vimos a variação do campo elétrico (semelhante ao magnético). será na direção z. Desta forma, teremos $-\frac{\partial E_y}{\partial z} = -ZH_x$, que pode ser reescrita da seguinte maneira:

$$\frac{\partial E_y}{\partial z} - ZH_x = 0 \quad (12).$$

Na direção y o termo que varia em z, teremos:

$$\frac{\partial E_x}{\partial z} = -ZH_z \text{ ou } \frac{\partial E_x}{\partial z} + ZH_y = 0 \quad (13).$$

Isolando o campo magnético na Eq. 12, chegaremos ao seguinte resultado:

$$ZH_x = \frac{\partial E_y}{\partial z} \rightarrow H_x = \frac{1}{Z} \frac{\partial E_y}{\partial z} \quad (14).$$

Retomando a Eq. 13 e substituindo nela o campo elétrico da Eq. 9, teremos

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(-\frac{1}{\eta} \frac{\partial H_y}{\partial z} \right) + ZH_y = 0 \rightarrow -\frac{1}{\eta} \frac{\partial^2 H_y}{\partial z^2} + ZH_y = 0$$

Multiplicando os termos da equação anterior pela admitividade, a equação anterior passará a ter o seguinte formato:

$\frac{\partial^2 H_y}{\partial z^2} - Z\eta H_y = 0$, utilizando $k^2 = -Z\eta$, e lembrando que só há variação dos campos na direção z, teremos:

$$\frac{\partial^2 H_y}{\partial z^2} + k^2 H_y = 0 \rightarrow \frac{d^2 H_y}{dz^2} + k^2 H_y = 0 \quad (15).$$

Retomando a Eq. 8 e substituindo o valor do campo magnético da Eq. 14, encontraremos a seguinte equação:

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{Z} \frac{\partial E_y}{\partial z} \right) - \eta E_y = 0 \rightarrow \frac{1}{Z} \frac{\partial^2 E_y}{\partial z^2} - \eta E_y = 0.$$

Multiplicando a equação anterior pela impeditividade (Z), resultará em: $\frac{\partial^2 E_y}{\partial z^2} - Z\eta E_y = 0$. Substituindo $k^2 = -Z\eta$, chegaremos ao seguinte resultado:

$\frac{\partial^2 E_y}{\partial z^2} + k^2 E_y = 0$. Lembrando das condições consideradas, teremos:

$$\frac{d^2 E_y}{dz^2} + k^2 E_y = 0 \quad (16).$$

A Eq. 16 corresponde a Equação de Helmholtz, cuja solução é a apresentada abaixo.

$$E_y(z) = E_0 e^{-ik|z|} \begin{cases} E_0 e^{-ikz}, & z > 0 \\ E_0 e^{ikz}, & z < 0 \end{cases}$$

A Eq. 15 também corresponde a Equação de Helmholtz, de solução análoga a anterior:

$$H_y(z) = H_0 e^{-ik|z|} \begin{cases} H_0 e^{-ikz}, & z > 0 \\ H_0 e^{ikz}, & z < 0 \end{cases}$$

3 I CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao observarmos as soluções da Equação de Helmholtz, há uma variação que ocorre de forma senoidal no tempo e no espaço [1]. Uma função que varia, simultaneamente, no tempo e no espaço é chamada de onda, independentemente se a variação for senoidal ou não. Desta forma a equação de Helmholtz corresponde a uma equação da onda. Conforme Rijo [1] para os resultados apresentados a onda é denominada de plana uniforme. Ela é plana pelo fato da frente de onda ser paralela ao plano xy [2]. Pelas condições consideradas, para um meio ilimitado, homogêneo e isotrópico, a onda variar apenas na direção z, é que faz com que seja chamada de uniforme [1].

AGRADECIMENTOS

Jefferson Nascimento agradece à FAPESB por meio do apoio financeiro parcial recebido através da bolsa de doutorado (BOL170/2015).. Marcelo A. Moret agradece ao CNPq pelo suporte financeiro parcial oriundo de sua bolsa de Produtividade em Pesquisa (No. 304454/2014-1)..

Este artigo é uma **Homenagem Póstuma** ao professor Rijo.

REFERÊNCIAS

[1] RIJO, L. **ELECTRICAL GEOPHYSICS 1-D Earth Direct Modeling**. UFPA, Belém, 2004.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Algoritmo de Prim 42, 44

Aprendizaje 4, 122, 123, 124, 126, 129, 130

Áreas de preservação permanente 79

Árvore geradora mínima 3, 42, 43, 44, 45, 47, 48, 58, 60

Avaliação da ruptura 3, 62

C

Concentración 3, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 41

Conservação ambiental 79

D

Defesa civil 2, 3, 4, 7, 8, 9, 12, 13, 14, 17, 19, 21, 22, 23, 71

Delimitação de área úmida 3, 79

Desastre 1, 2, 3, 14, 19, 20

Desigualdad 3, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 33, 40, 41

Deslizamento de solo 62, 72, 77

E

Ensino de física 92, 106, 113, 114, 120, 121, 131, 133, 137, 138

Equação da onda 107, 112

Equação de Helmholtz 107, 108, 111, 112

Escola segura 3, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21

Estímulo 16, 122

Exercícios de evacuação 6, 7

Exercícios simulados 3, 1, 3, 4, 8

F

Física 9, 10, 13, 16, 17, 21, 22, 40, 71, 92, 94, 106, 113, 114, 115, 117, 119, 120, 121, 123, 124, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138

Fuzzy 3, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 50, 51, 52, 54, 58, 59, 60, 61

G

Geofísica 90, 107, 108

Geotecnologias 3, 79, 81, 89

Gestão integrada 6

I

Inteligencias múltiples 4, 122, 128, 129

M

Métodos eletromagnéticos 107, 108

Muro de contenção 62, 77

Muro de gravidade 62, 76

N

Neurociências 4, 122, 128, 129, 130

O

Ordenamiento territorial 3, 26, 27, 28, 30, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41

P

PROEJA 92, 93, 94, 104, 105, 106

Programação matemática 42, 43

R

Redes complexas 4, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 120, 131, 132, 134, 135

Redes semânticas 4, 113, 114, 118, 119, 120, 121, 131, 132, 135, 137

Redes semânticas complexas 4, 120, 131

Redes sociais 113, 114, 117, 121, 131, 132, 137

Redes sociais e complexas 113, 121, 137

Resiliência 9, 11, 12, 14, 15, 18, 19, 20, 21, 23

Resolução conjunta IBAMA/SEMA/IAP n° 005 79, 80, 81, 83, 84, 88, 89

Riscos 2, 3, 4, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 77

Rompimento de barragens 3, 1, 3

S

Sabana matemática 4, 122, 128

Sistemas complexos 10, 113, 114

Socioeconomía 26

T

Teoria da aprendizagem significativa 92

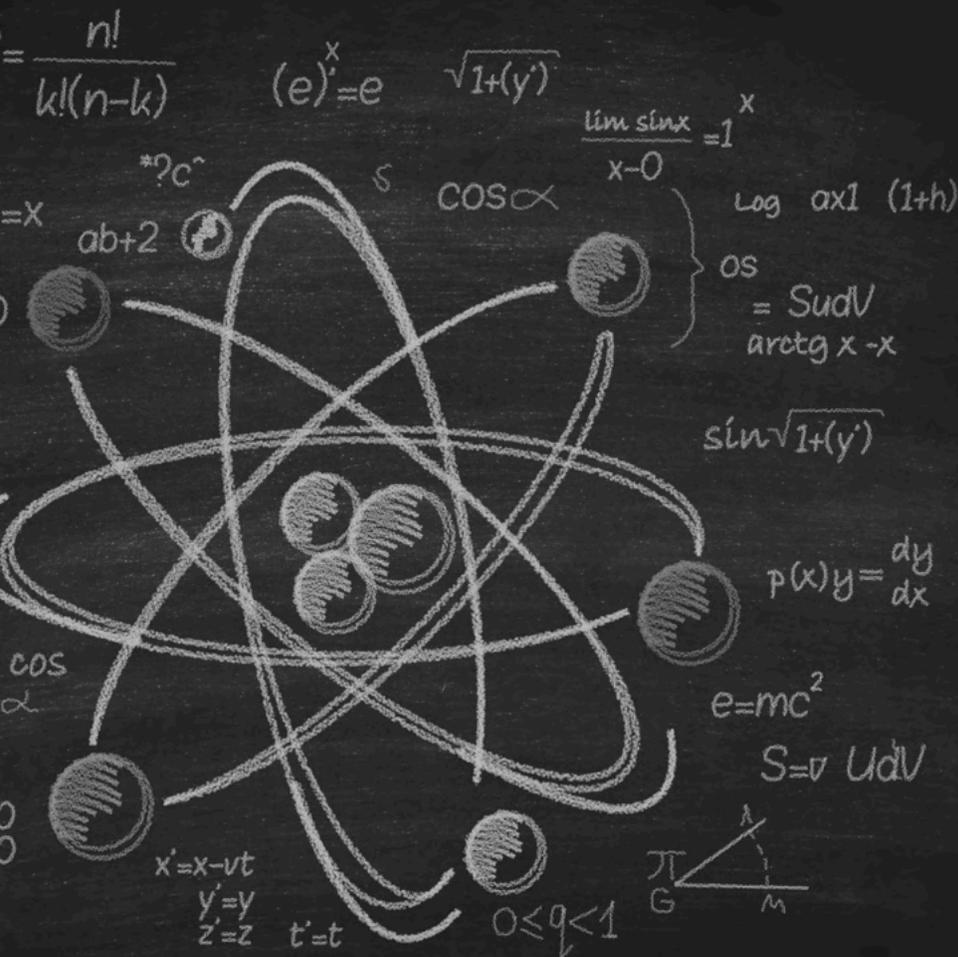
Teoria de grafos 42

Teoria dos conjuntos 42, 43, 44, 45, 58

Terra como um corpo cósmico 4, 92, 93, 94, 96

U

Urbanización 26, 27, 30, 31, 32, 33, 34, 38, 40, 41



CIÊNCIAS EXATAS e da terra:

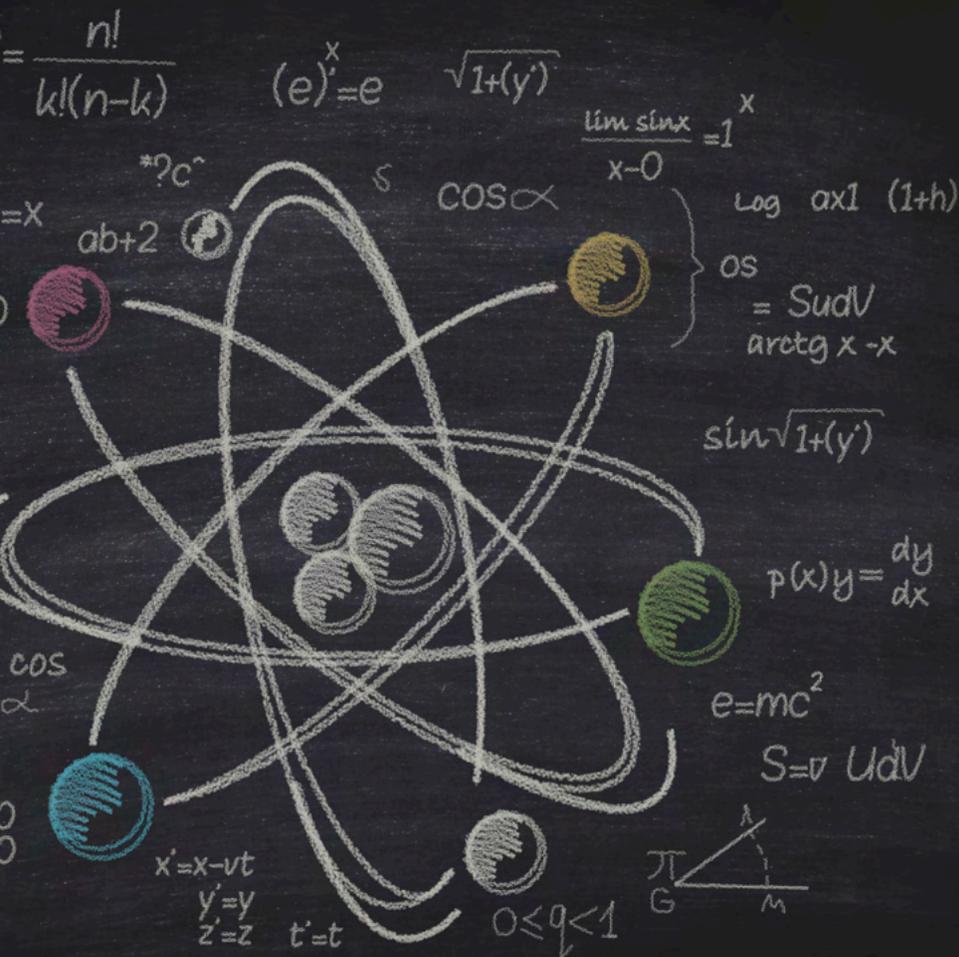
Observação, formulação e previsão

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 @atenaeditora

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br



CIÊNCIAS EXATAS e da terra:

Observação, formulação e previsão

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 @atenaeditora

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br