



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE FÍSICA
PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU
ASTROFÍSICA GRAVITACIONAL E FÍSICA ESPACIAL

**CLIMA ESPACIAL: Uma Proposta Para Divulgação e Ensino dos Efeitos do Sol
no Ambiente Espacial do Sistema Solar para o Ensino Médio**

LUIZ FERNANDO GOMES PINTO JUNIOR

BRASÍLIA – DF
2022



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE FÍSICA
PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU
ASTROFÍSICA GRAVITACIONAL E FÍSICA ESPACIAL

**CLIMA ESPACIAL: Uma Proposta Para Divulgação e Ensino dos Efeitos do Sol
no Ambiente Espacial do Sistema Solar para o Ensino Médio**

LUIZ FERNANDO GOMES PINTO JUNIOR

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação Lato Sensu da Universidade de Brasília no curso de Astrofísica Gravitacional e Física Espacial (AGFE), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Especialista em Física.

Orientador:
Prof.º Dr. José Leonardo Ferreira

BRASÍLIA – DF
2022



**CLIMA ESPACIAL: Uma Proposta Para Divulgação e Ensino dos Efeitos do Sol
no Ambiente Espacial do Sistema Solar para o Ensino Médio**

Por: Luiz Fernando Gomes Pinto Junior

Comissão avaliadora composta por:

José Leonardo Ferreira	IF-UnB	Orientador
Mariana Penna Lima Vitenti	IF-UnB	Examinador
Vanessa Carvalho de Andrade	IF-UnB	Examinador

BRASÍLIA – DF
2022

Ninguém ignora tudo.
Ninguém sabe tudo. Todos nós
sabemos alguma coisa. Todos nós
ignoramos alguma coisa. Por isso
aprendemos sempre.

Paulo Freire

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar saúde. Aos meus pais, Luiz Fernando e Maria Luiza, a minha esposa Lilian Rafaelle e a filha Letícia Gabriella por estarem sempre ao meu lado.

Agradeço também aos professores que se desempenharam em transmitir o máximo de conhecimento durante o tempo que passaram conosco, mesmo não estando presencialmente em uma sala de aula, se esforçaram em transmitir seus ensinamentos ao máximo para conosco.

Agradeço em especial ao meu orientador Dr. José Leonardo Ferreira, por me aceitar como seu orientando e me auxiliar nessa empreitada.

Como não agradecer aos grandes guerreiros que prevaleceram nessa intensa e difícil jornada, Fernando, Gilson, J. Ricardo, Marcus, Petrus, Sydney, Taric e Thiago, primeiro por termos sido selecionados a participar desse curso e depois por terem persistido pois foram grandes os desafios que enfrentamos tanto em aulas, trabalhos, provas, listas, seminários e, além de tudo, nossas vidas pessoais que em alguns momentos não conseguimos conciliar com o curso.

Por fim, menciono aqueles que começaram, mas que por motivos pessoais, não terminaram o curso.

RESUMO

A atividade solar exerce de maneira variada a sua influência nos planetas, luas e nos corpos menores do sistema solar. Com a crescente dependência da estrutura suporte da sociedade atual e futura da Terra faz-se necessário o monitoramento contínuo do sol e dos efeitos de sua interação com a magnetosfera terrestre. Atualmente, existe um número apreciável de sondas espaciais dedicadas ao estudo multiespectral da fotosfera, sondagem do vento solar e do comportamento das ejeções de massa coronal no ambiente interplanetário. Este conjunto de artefatos espaciais constitui-se nas principais ferramentas utilizadas nos atuais Centros de Previsão e Monitoramento do Clima Espacial, existentes em vários países e também no Brasil. Hoje, encontram-se disponíveis várias páginas na internet como (www.spaceweather.com; <http://www2.inpe.br/climaespacial/portal/pt/>, etc) demonstrando que esta nova profissão de climatologista espacial está presente no cotidiano de várias empresas que dependem de redes de energia elétrica, transportes, redes de satélites para localização (GPS, GLONASS, GALILEU etc), satélites de comunicações, redes meteorológicas, etc. Atividades de tamanha importância para a sociedade precisam ser divulgadas e principalmente serem introduzidas na grade curricular do ensino de graduação universitária e também no ensino médio de forma adequada. Para tal, realizaram-se investigações com os alunos das turmas de 3º e 2º anos do CEM 04 (Centro de Ensino Médio) de Sobradinho-DF. As investigações consistiam em analisar o conhecimento prévio deles acerca dos ventos solares. No decorrer da investigação, atividades como análise de manchas solares, ventos solares, observações solares foram realizadas no laboratório de informática da instituição. Ademais, foram utilizados dados e informações dos satélites *SOHO* e *SDO* e sítios que apresentam situações dos ventos solares e trazem resultados diretos para o Clima Espacial. Com base nas investigações e nas atividades, conclui-se, que apesar da temática não ser incluída na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), ela desperta de maneira considerável a atenção dos alunos.

Palavras-chave: Clima Espacial - Ensino Médio

ABSTRACT

Solar activity exerts its influence on the planets, moons and smaller bodies of the solar system in various ways. With the increasing dependence on the support structure of the Earth's current and future society, it is necessary to continuously monitor the sun and the effects of its interaction with the Earth's magnetosphere. Currently, there are an appreciable number of space probes dedicated to the multispectral study of the photosphere, probing the solar wind and the behavior of coronal mass ejections in the interplanetary environment. This set of space artifacts constitutes the main tools used in the current Space Weather Forecasting and Monitoring Centers, existing in several countries and also in Brazil. Today, several pages are available on the internet such as (www.spaceweather.com; www.inpe.embrace.br etc), demonstrating that this new profession of space climatologist is present in the daily life of several companies that depend on electricity networks, transport, satellite networks for location (GPS, GLONASS, GALILEO etc), communications satellites, weather networks, etc. Activities of such importance to society need to be publicized and especially be introduced in the curriculum of undergraduate university education and also in high school properly. To this end, investigations were carried out with students from the 3rd and 2nd year classes of CEM04 (Centro de Ensino Médio) in Sobradinho-DF. The investigations consisted of analyzing their previous knowledge about the solar winds. During the investigation, activities such as analysis of sunspots, solar winds, solar observations were carried out in the institution's computer lab. In addition, data and information from SOHO and SDO satellites and sites that present solar wind situations and bring direct results to Space Weather were used. Based on the investigations and activities, it is concluded that although the theme is not included in the National Curricular Common Base (BNCC), it considerably arouses the attention of students.

Keywords: High School - Space Weather

LISTA DE SIGLAS

ACE - Sigla do inglês Advanced Composition Explorer

AMAS - Anomalia Magnética do Atlântico Sul

CMEs - Sigla do inglês Coronal Mass Ejection

EMBRACE - Estudo e Monitoramento Brasileiro do Clima Espacial

ESA - Sigla do inglês European Space Agency

GPS - Sigla do inglês Global Positioning System

ISS - Sigla do inglês International Space Station

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

NASA - Sigla do inglês National Aeronautics and Space Administration

NEM - Novo Ensino Médio

PPPL - Sigla do inglês Princeton Plasma Physics Laboratory

SOHO - Sigla do inglês Solar and Heliospheric Observatory

SDO - Sigla do inglês Solar Dynamics Observatory

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	5
RESUMO	6
ABSTRACT	7
LISTA DE SIGLAS	8
INTRODUÇÃO	12
CAPÍTULO 1. PLASMAS NO ESPAÇO E NO LABORATÓRIO	16
1.1 Definição de Plasma	16
1.1.1 Características do plasma	18
1.1.2 Valores Típicos	18
1.2 Fenômenos em Plasma Espaciais e sua Reprodução no Laboratório: Alguns Exemplos.	19
1.2.1 Plasma Espaciais	19
1.2.2 Fenômenos em Plasmas Espaciais que Podem ser Reproduzidos em Laboratório	20
1.3 Plasma no Laboratório	22
1.3.1 Tubo de Crooks	22
1.3.2 Outros Exemplos	23
CAPÍTULO 2. O SOL E O SISTEMA SOLAR	30
2.1- Estrutura Solar	33
2.1.1 Núcleo	34
2.1.1.1 ESTRUTURA INTERNA	34
2.1.1.2 REAÇÕES DE FUSÃO NUCLEAR	34
2.1.2 A Cromosfera e Coroa do Sol	35
2.1.3 Manchas Solares Erupções e Protuberâncias	36
2.3.2 – Vento Solar Origens e Características	38
CAPÍTULO 3. RELAÇÃO SOL TERRA	42
3.1 As estações do ano	42

3.2 Início das Estações	44
3.3 Espectro eletromagnético	44
3.4 Estrutura Interna da Terra	44
3.4.1 A origem do nome Terra	44
3.4.2 Camadas da Terra	44
3.4.3 Núcleo da Terra	45
3.4.4 Evolução da Terra	46
3.4.5 A órbita da Terra	47
3.4.6 A rotação da Terra e o seu deslocamento no espaço	48
3.4.7 O mapeamento da Terra	48
3.4.8 A composição química da Terra	48
3.5 Estrutura da Atmosfera da Terra	49
3.5.1 A atmosfera da Terra é uma fina camada de gases que circunda o nosso planeta.	49
3.5.2 A formação da atmosfera da Terra	49
3.5.3 A temperatura na Terra e o "efeito estufa"	50
3.5.4 A pressão atmosférica	50
3.5.5 A estrutura da atmosfera terrestre	51
Camadas da Atmosfera da Terra:	51
3.6 Atividades Solares e Seus Efeitos na Terra	53
3.4 Efeitos da Atividade Solar na Magnetosfera	55
CAPÍTULO 4. CLIMA ESPACIAL E SUAS CONSEQUÊNCIAS PARA O PLANETA	57
4.1 Sondas Espaciais, Sites e Aplicativos	61
4.1.1 Sobre o EMBRACE	61
4.1.2 Coleta e uso das informações	62
4.1.3 Compartilhamento das informações com terceiros	62
4.1.4 Condutas dos usuários	62

CAPÍTULO 5. CLIMA ESPACIAL NO ENSINO MÉDIO	65
5.1 Parâmetros da BNCC	65
5.2 Proposta de Conteúdo Básico de Acordo com Novo Ensino Médio	66
5.3- Atividades Desenvolvidas e Resultados Esperados	69
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO	75
REFERÊNCIAS	77
APÊNDICE 1 - TABELAS	80
Tabela 01. Valores Típicos de plasma	80
Tabela 2.2. Propriedade Solar.	80
Tabela 3. Limites aproximados entre as diversas faixas do espectro eletromagnético.	81
Tabela 4. Composição da Terra.	81
Resumo dos dados conhecidos sobre a Terra	81
APÊNDICE 2	84
Resumo das reportagens utilizadas.	84

INTRODUÇÃO

“O que é Clima Espacial”? Trata-se especificamente da condição do sol e do vento solar que agindo na magnetosfera, ionosfera e termosfera podem influenciar o desempenho e confiabilidade de tecnologias terrestres e espaciais. Esses sistemas podem pôr em perigo a vida ou a saúde humana. Condições adversas no ambiente espacial podem causar interrupção das operações de satélite, comunicações, navegação e redes de distribuição de energia elétrica, levando a uma variedade de perdas socioeconômicas. O clima espacial tem amplos impactos diários sobre a sociedade e sua infraestrutura tecnológica. As naves espaciais e astronautas são expostas diretamente à radiação intensa que pode danificar ou desativar sistemas provocando doenças ou mesmo morte. Sinais de rádio de satélites a sistemas de comunicação e navegação em solo, como o Sistema de Posicionamento Global (GPS), são diretamente afetados por mudanças nas condições ambientais do espaço.

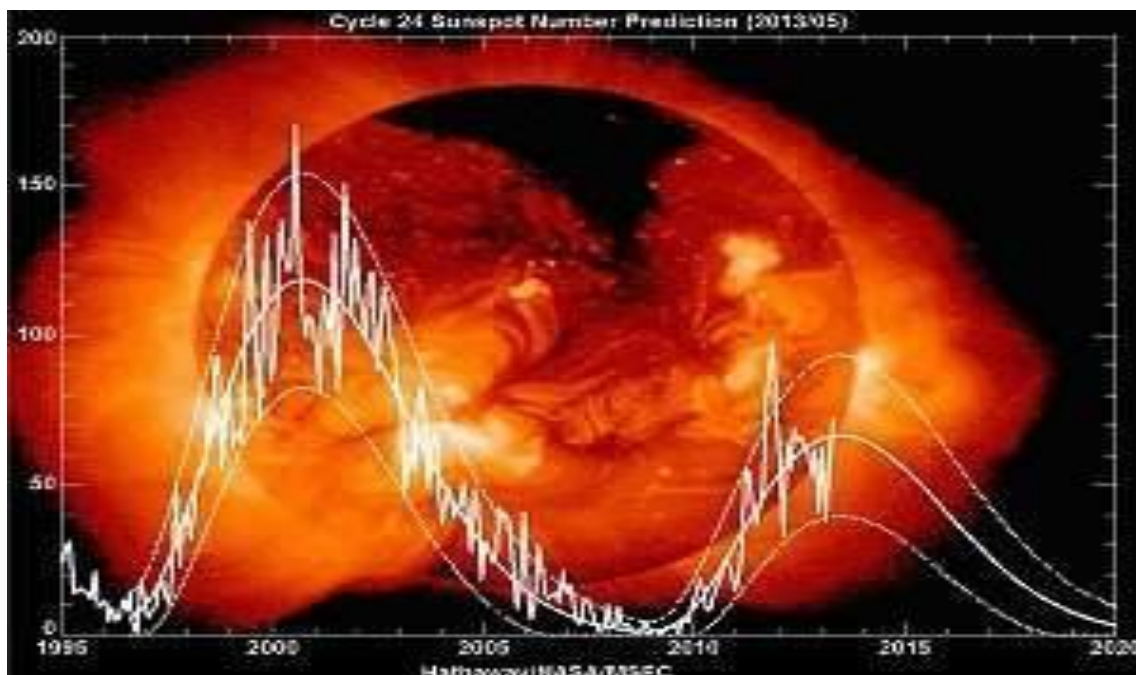


Figura 1 - Representação de máximo solar - mas o atual máximo solar é um dos mais suaves desde que o Sol começou a ser monitorado, há mais de 100 anos. Fonte: David Hathaway/NASA/MSFC.

Desse modo pode ser surpreendente que muitos sistemas terrestres, como redes de transmissão de energia e dutos, e redes de comunicação fixa, como fibra óptica e cabos transoceânicos, também são suscetíveis aos impactos do clima espacial.

No Brasil, os efeitos do clima espacial na infraestrutura de serviços de comunicação, transporte, energia e de monitoramento do meio ambiente também são motivos de preocupação. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)¹ associado a Agência Espacial Brasileira (AEB)² criada em 1994, já conta com o programa Estudo e Monitoramento Brasileiro do Clima Espacial (EMBRACE)³. A AEB tem como missão colocar em prática a política espacial brasileira e o INPE é responsável por vários satélites nacionais. Destacam-se o satélite Amazônia-1 que operando conjuntamente com os satélites CBERS-4 e CBERS-4A, lançados, respectivamente em dezembro de 2014 e dezembro de 2019, consistem em promover imagens recorrentes do território brasileiro a cada dois ou três dias melhorando significativamente a oferta de informações. O Brasil também possui satélites geoestacionários de comunicação SGDC cujo centro de controle se situa em Brasília –DF e está sob responsabilidade do Ministério da Aeronáutica e da Telebrás. Na eventualidade de explosões solares o EMBRACE tem que produzir avisos para alertar os responsáveis pelas estações de controle destes satélites.

O trabalho específico de identificação dos fenômenos solares envolveu a organização e análise de imagens de manchas solares, protuberâncias, CMEs, ventos solares, etc. Ele foi realizado a partir da utilização de dados e informações dos satélites SOHO (*Solar and Heliospheric Observatory*, Observatório Solar e Heliosférico) e SDO (*Solar Dynamics Observatory*, Observatório de Dinâmica Solar) sites e artigos que apresentam diversas situações relacionadas aos ventos solares que trazem resultados diretos no Clima Espacial.

¹ O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) é um instituto federal brasileiro dedicado à pesquisa e exploração espacial, criado em 1961. O instituto tem instalações em doze cidades: São Paulo, Brasília, Alcântara, Atibaia, Belém, Cachoeira Paulista, Cuiabá, Eusébio, Natal, Santa Maria, São Martinho da Serra e São Luís e sua sede está na cidade de São José dos Campos, estado de São Paulo.

² A Agência Espacial Brasileira é uma autarquia do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação responsável pelo programa espacial do Brasil. Ela opera um espaçoporto em Alcântara, Maranhão, e uma base de lançamento espacial na Barreira do Inferno, Rio Grande do Norte.

³ EMBRACE é o programa criado pelo INPE/MCT para o Estudo e Monitoramento Brasileiro do Clima Espacial.



Figura 2 - Imagem do site <https://sohowww.nascom.nasa.gov/> durante aula para análise de dados de ventos solares. Fonte: <https://sohowww.nascom.nasa.gov/>

Dessa forma durante o ano de 2021 desenvolvi material específico sobre o tema para ser ministrado em alguns períodos das aulas. Ele foi veiculado tanto nas aulas de Física como nas eletivas de Ciências da Natureza do Novo Ensino Médio (N.E.M). É importante observar que o Centro de Ensino Médio 04 de Sobradinho já faz parte do N.E.M, devido a se tratar de escola piloto. Ela destaca-se das demais instituições congêneres de ensino médio que só passaram a ter sua participação no N.E.M a partir de 2022.



Figura 3 - Imagem tirada durante aula de eletiva de Ciências da Natureza. Fonte: Autor.

O presente trabalho de conclusão de curso tem por objetivo realizar uma construção bibliográfica, tornando possível mostrar como se pode aplicar o conteúdo de Clima Espacial no ensino médio. Para tal foi produzido uma base teórica a fim de que seja possível de forma simples e clara tanto para o leitor quanto para o público alvo compreender como foi dada a aplicação com alunos do CEM 04 (Centro de Ensino Médio) de Sobradinho DF.

No capítulo 1 estão descritos alguns conceitos fundamentais na área de Física dos Plasmas e os experimentos de maior relevância envolvendo os plasmas espaciais e a sua reprodução em laboratório. Nos capítulos 2 e 3, de forma resumida, há uma abordagem sobre o surgimento de estrelas e sua relação com a formação e estrutura dos sistemas planetários. Algumas ponderações foram realizadas para ressaltar a importância das erupções solares, ventos solares e de suas relações com a estrutura da atmosfera terrestre, assim como a relação sol terra e suas peculiaridades. O capítulo 4 apresenta uma explanação mais específica sobre o clima espacial com o intuito de dar suporte e concretizar o capítulo 5, onde é apresentado o trabalho efetuado com alunos do ensino médio em sala de aula para evidenciar a profissão do climatologista espacial. Por fim o capítulo Conclusão, é realizada uma análise crítica do método e do conteúdo ministrado aos alunos, bem como das limitações e dos sucessos obtidos.

CAPÍTULO 1. PLASMAS NO ESPAÇO E NO LABORATÓRIO

1.1 Definição de Plasma

Definimos como plasma, o quarto estado da matéria, um gás em equilíbrio térmico, quase neutro, composto por partículas carregadas e neutras que exibem comportamento coletivo. Para um gás ionizado ser chamado de plasma faz-se necessário um grau mínimo de ionização que pode ser expresso pelo número de partículas carregadas dentro da esfera de Debye.

As características de um gás ionizado e macroscopicamente neutro podem ser medidas precisamente pela frequência de plasma, que é a frequência com que oscilações coulombianas acontecem no interior do gás e pelo comprimento de Debye ou comprimento de blindagem de Debye, que é o tamanho ou comprimento mínimo que o plasma deve ter para manter-se eletricamente neutro macroscopicamente.

“É interessante notar que um plasma possa ter diversas temperaturas ao mesmo tempo. Frequentemente acontece de os elétrons e os íons terem distintas distribuições Maxwellianas com temperaturas T_e e T_i diferentes. Isto pode acontecer em virtude da taxa de colisão de íons ou de elétrons entre si ser maior que a taxa de colisão entre elétrons e íons. Então cada espécie pode estar no seu próprio equilíbrio térmico, mas o plasma pode não durar o tempo suficiente para que as duas temperaturas entrem em equilíbrio. Quando há campo magnético B , até mesmo uma das espécies, por exemplo os íons, podem ter duas temperaturas. Isto se dá porque as forças atuando sobre um íon ao longo do campo magnético B são diferentes daquelas atuando perpendicularmente a B (devido à força de Lorentz). Os componentes da velocidade, perpendicular e paralelo a B , devem então possuir distribuições Maxwellianas distintas com temperaturas T_{perp} e T_{para} .” (CHEN, 1974, tradução própria).

Esta distribuição de cargas dentro deste meio dá origem a um potencial elétrico que satisfaz a equação de Poisson: $\nabla^2 \Phi(r) = -\sum_{j=1}^n q_j n_j(r) - \rho_{ext}(r)$

$$\epsilon \nabla^2 \Phi(r) = - \sum_{j=1}^n q_j n_j(r) - \rho_{ext}(r),$$

onde, ϵ_0 é a constante elétrica e ρ_{ext} é uma densidade de carga externa (logicamente, não espacialmente) ao meio. $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$.

As cargas móveis não só contribuem no estabelecimento, mas também se movem em resposta à Força de Coulomb. Se assumirmos ainda que o sistema está em equilíbrio termodinâmico com um banho de calor à temperatura absoluta, então as concentrações de cargas discretas podem ser consideradas médias termodinâmicas (conjunto) e o potencial elétrico associado a um campo médio termodinâmico. Com essas

suposições, a concentração da j -ésima espécie de carga é descrita pela distribuição de Boltzmann, $n_j(r) = n_j^0 \exp\left(-\frac{q_j \Phi(r)}{k_B T}\right)$,

onde está a constante de Boltzmann e onde está a concentração média de cargas das espécies. $k_B n_j^0$.

Identificar as concentrações instantâneas e o potencial na equação de Poisson com suas contrapartes de campo médio na distribuição de Boltzmann resulta na equação de Poisson-Boltzmann:

$$\epsilon \nabla^2 \Phi(r) = - \sum_{j=i}^n q_j n_j^0 \exp\left(-\frac{q_j \Phi(r)}{k_B T}\right) - \rho_{ext}(r).$$

Soluções para esta equação não linear são conhecidas para alguns sistemas simples. Soluções para sistemas mais gerais podem ser obtidas no limite de alta temperatura (acoplamento fraco) por Taylor, expandindo o exponencial:

$$\exp\left(-\frac{q_j \Phi(r)}{k_B T}\right) \approx 1 - \frac{q_j \Phi(r)}{k_B T}.$$

Esta aproximação produz a equação de Poisson-Boltzmann linearizada

$$\epsilon \nabla^2 \Phi(r) = \left(\sum_{j=i}^n \frac{n_j^0 q_j^2}{k_B T} \right) \Phi(r) - \sum_{j=i}^n n_j^0 q_j - \rho_{ext}(r) \text{ que também é}$$

conhecida como equação de Debye – Hückel.

O segundo termo no lado direito desaparece para sistemas que são eletricamente neutros. O termo entre parênteses dividido por, $\sum_{j=i}^n n_j^0 q_j$ tem as unidades de comprimento inverso ao quadrado e por análise dimensional leva à definição da escala de comprimento característica ϵ

$$\lambda_D = \left(-\frac{\epsilon k_B T}{\sum_{j=i}^n n_j^0 q_j^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

que comumente é referido como o comprimento Debye. Como a única escala de comprimento característica na equação de Debye, define a escala para variações no potencial e nas concentrações de espécies carregadas. Todas as espécies carregadas contribuem para o comprimento Debye da mesma maneira, independentemente do sinal de suas cargas. Para um sistema eletricamente neutro, a equação de Poisson torna-se λ_D

$$\nabla^2 \Phi(r) = \lambda_D^{-2} \Phi(r) - \frac{\rho_{ext}(r)}{\epsilon}.$$

1.1.1 Características do plasma

Em um plasma não isotérmico, as temperaturas para elétrons e espécies pesadas, os íons, podem diferir, enquanto o meio de fundo pode ser tratado como o vácuo, e o comprimento de Debye ou distância de blindagem de cargas será dado por:

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{E_0 k_B / q_e^2}{n_e / T_e \sum_j z_j^2 n_j T_i}}$$

onde,

λ_D é o comprimento de Debye,

E_0 é a permissividade do espaço livre,

k_B é a constante de Boltzmann,

q_e é a carga de um elétron,

T_e e T_i são as temperaturas dos elétrons e íons, respectivamente,

n_e é a densidade dos elétrons,

n_j é a densidade da espécie atômica j , com carga iônica positiva $z_j q_e$.

Em um plasma frio quase-neutro os íons contribuem com a massa e os elétrons de menor massa com a temperatura. Isto está expresso no comprimento de Debye $\lambda_D = \sqrt{\frac{E_0 k_B T_e}{n_e q_e^2}}$ embora isso só seja válido quando a mobilidade dos íons é insignificante em comparação com a escala de tempo do processo.

1.1.2 Valores Típicos

Em plasmas espaciais onde a densidade de elétrons é relativamente baixa, o comprimento de Debye pode atingir valores macroscópicos (acima de alguns milímetros), como na magnetosfera, vento solar, meio interestelar e meio intergaláctico. Veja a tabela 01 no apêndice 01 que se encontra nos anexos:

O que se entende por "comportamento coletivo"? Na atmosfera neutra da Terra as moléculas se movem sem ser perturbadas até que colidam com outras moléculas. Estas colisões elásticas, em sua maioria, controlam o movimento das partículas do ar. Uma força (perturbação) macroscópica aplicada a um gás neutro, como de um alto-falante que gera ondas sonoras, é transmitida aos átomos individuais através de colisões.

Em um plasma a situação é se torna mais complexa, pois o plasma é formado por partículas neutras e carregadas. Conforme essas cargas se movem, elas podem gerar concentrações locais de carga positiva ou negativa, que dão origem a campos elétricos localizados. O movimento das cargas também gera correntes e campos magnéticos localizados. Esses campos localizados afetam o movimento de outras partículas carregadas gerando a propagação não só de ondas sonoras iônicas, mas também de outros tipos de oscilações, como é o caso da frequência natural de oscilação de elétrons do plasma, mais conhecida como frequência de plasma.

A palavra “plasma” vem do grego $\piλάσμα$, que significa material moldável ou formatado conforme as condições externas. Por causa do seu comportamento coletivo o plasma possui muitos modos de oscilação e devido ao ser caráter fluido ele também pode apresentar vários tipos de instabilidade que frequentemente levam a difusão de suas partículas e a destruição de seu formato.

1.2 Fenômenos em Plasma Espaciais e sua Reprodução no Laboratório: Alguns Exemplos.

1.2.1 Plasma Espaciais

A maior parte do Universo observável está no estado de plasma. O regime dos plasmas varia desde plasma difuso que preenche os braços das galáxias e o espaço intergaláctico, plasma de baixa e médias densidades em nebulosas, auroras boreais e austrais, plasmas nas atmosferas estelares até aos mais densos nos núcleos das estrelas plasmas quânticos de quarks e gluons e de elétrons e pósitrons e plasmas relativísticos em torno de pulsares e o vasto plasma difuso que preenche os braços das galáxias e o espaço intergaláctico.

Em função da grande quantidade de dados e novos fenômenos observados no laboratório e no espaço, um dos grandes objetivos atuais da área de plasmas é aproximar especialistas envolvidos com Astrofísica, Cosmologia, e Física dos Plasmas Espaciais e de Laboratório no sentido de promover ampla troca de novos resultados e recentes progressos nessas áreas de pesquisa. Além disso, muitas das questões fundamentais em cosmologia e astrofísica requerem a física de plasma para as suas respostas. Algumas dessas questões são: Como o universo começou? Como a Terra e os planetas foram formados? Qual é a natureza do ambiente extremo do plasma em torno dos buracos negros? Como a atividade solar interfere no espaço próximo à Terra e aos demais planetas?

No Brasil existem vários grupos (UNB, UNESP, INPE, UNIV. MACKENZIE, UNIVAP, UESC, UFES, UFF, UFRGS, USP) de pesquisadores envolvidos no estudo experimental, teórico, observacional e numérico sobre a importância de campos magnéticos e processos MHD. Estes fenômenos estão na origem, estrutura e evolução dinâmica de fontes astrofísicas como o Sol, estrelas jovens, nuvens interestelares, sistemas estelares binários, buracos negros galácticos, estrelas de nêutrons, pulsares, supernovas, núcleos ativos de galáxias, jatos, ventos, discos de acreção e aglomerados de galáxias.

Outros pesquisadores têm concentrado esforços na investigação dos efeitos do campo magnético no meio interplanetário difuso, nos meios interestelar, intergaláctico e intra-aglomerado e também no universo primordial. Fenômenos relacionados envolvendo a produção de partículas astrofísicas e sua aceleração, explosões de raios gama, instabilidades em plasmas, reconexão magnética e processos de dínamo também são estudados.

A interação Sol - Terra, determinante do que se convencionou chamar de Clima Espacial, é também objeto de estudo de vários pesquisadores especialmente no INPE. O Clima Espacial pode ser entendido como o conhecimento e predição da resposta do ambiente espacial às contínuas mudanças dos fenômenos solares (atividade solar). Dessa forma, os efeitos do Clima Espacial sobre a Terra são consequências de diversos fatores, os quais incluem o comportamento do Sol, o espaço interplanetário, o campo magnético terrestre (Magnetosfera) e a natureza da atmosfera. Explosões e ejeções solares injetam grande quantidade da massa e energia solar no meio interplanetário, formando o vento solar e seus transientes, alcançando a Terra e provocando tempestades geomagnéticas e uma série de fenômenos geofísicos que afetam desde o funcionamento de satélites em órbita da Terra, até o uso de receptores GPS na superfície.

1.2.2 Fenômenos em Plasmas Espaciais que Podem ser Reproduzidos em Laboratório

Outro aspecto importante relacionado com a formação de sistemas planetários é o referente ao plasma de poeira (DUSTY PLASMA). Este é um plasma astrofísico onde coexistem íons, elétrons e partículas de poeira eletricamente carregadas. Essas partículas estão carregadas tanto negativamente como positivamente dependendo do meio do plasma ao seu redor. Este sistema de partículas carregadas em conjunto com elétrons e íons formam os chamados plasmas empoeirados. Existentes em nuvens interestelares e

nas nuvens primordiais dos sistemas planetários. Recentemente o interesse por plasma empoeirado tem crescido significativamente por ter sido reconhecida sua importância em física de sistemas fortemente acoplados, problemas tecnológicos em laboratório, incluindo o processamento de materiais com plasmas.

Outra área importante para os plasmas espaciais e que tem despertado bastante interesse recentemente é a da física de aceleradores baseados em plasmas, devido a sua importância para processos de interação onda-partícula em plasma na atmosfera estelar, como é o caso do aquecimento da coroa solar. Nesses aceleradores, pulsos eletromagnéticos ou feixes de partículas carregadas são injetados em um plasma gerando separação das cargas do plasma e excitando ondas de densidade de grande amplitude cujos campos elétricos são capazes de acelerar elétrons a altas energias.

Aceleradores do tipo *BEAT WAVE ACCELERATOR*, *SURFATRON*, *WAKE FIELD* tem demonstrado que é possível a obtenção de gradientes de aceleração várias ordens de grandeza maiores que os obtidos em aceleradores convencionais baseados em estruturas metálicas (os chamados LINAC). Porém, aspectos tais como instabilidades no plasma e efeitos não lineares na propagação do pulso gerador podem afetar fortemente a qualidade do feixe obtido, exigindo um entendimento maior dos vários processos que ocorrem ao longo da aceleração.

Infelizmente no Brasil ainda não existem grupos teóricos e ou experimentais voltados para a pesquisa dos chamados aceleradores a plasma (Plasma Accelerators). Em vários países como EUA, França, Alemanha e Itália há grupos teóricos e experimentais envolvidos no seu estudo. Métodos aplicados ao estudo de plasmas espaciais e astrofísicos também são largamente utilizados na investigação do transporte de feixes intensos de partículas carregadas eletricamente.

Outro aspecto importante no estudo dos aceleradores a plasma é a sua grande relevância no desenvolvimento de aceleradores de partículas compactos e de dispositivos geradores de radiofrequência capazes de atender às necessidades exigidas em várias áreas tecnológicas como é o caso de fontes emissoras de radiação corrente de alta intensidade.

Um dos grandes desafios desta área de pesquisa é a alta intensidade do feixe requerida. Isto torna a densidade de carga e a força eletrostática entre as partículas extremamente grandes, sendo necessária a utilização de campos eletromagnéticos intensos para confinar e colimar o feixe. Devido à grande amplitude das forças envolvidas no sistema, efeitos não lineares passam a ser determinantes na dinâmica das partículas.

Isto leva ao aparecimento de complicados fenômenos na propagação do feixe que podem afetar sensivelmente a eficiência do dispositivo em questão.

1.3 Plasma no Laboratório

1.3.1 Tubo de Crooks

Em 1878, William Crookes (1832-1919) publicou um longo artigo (CROOKES, 1878), relatando a realização e reprodução de experimentos mostrando efeitos observados em gases com diferentes pressões e temperaturas no interior de tubos de vidro parecidos com as ampolas de Geissler, que sofreram aprimoramentos por Julius Plücker (1801-1868) e outros ao longo daquele século, e que mais tarde, e ainda hoje, são conhecidos como tubos de Geissler e de Crookes.

Nesse artigo, CROOKES (1878) relata a indução de corrente através de gases rarefeitos e discorre sobre: o espaço escuro em torno do pólo negativo, a iluminação das linhas de pressão molecular, os radiômetros elétricos, a convergência de raios moleculares para um foco, a luz fosforescente verde de impacto molecular, o foco da energia molecular, a natureza da luz fosforescente, a projeção de sombras moleculares, a fosforescência de filmes finos, a ação mecânica de moléculas projetadas, a deflexão magnética de linhas de força molecular, a trajetória de moléculas, a alteração de velocidades moleculares, as leis da deflexão magnética, o foco do calor molecular de impacto e sobre um estado da matéria ultra gasoso.

Àquela época ainda não havia sido identificado o elétron, portanto, creditava-se às moléculas as propriedades e efeitos encontrados, sendo hoje atribuída produzidos pelos elétrons. Mesmo assim, Crookes prenunciou o que se mostraria ser, anos mais tarde, a identificação do estado em que se encontra grande parte de nosso universo visível:

“Os fenômenos nesses tubos de descarga revelam para a ciência física um novo mundo - um mundo onde a matéria pode existir em um quarto estado, onde a teoria corpuscular da luz pode ser verdadeira, e onde a luz nem sempre se move em linhas retas, mas aonde nunca poderemos entrar, e o qual precisamos nos contentar em observar e experimentar pelo lado de fora.” (CROOKES, 1878, p. 164, tradução adaptada).

O experimento de Thomson consistiu em colocar um campo elétrico e magnético externo à ampola de Crookes, que detinha gases submetidos à baixa pressão e eletrodos em alta tensão.



Figura 4 - Uma réplica do tubo de Crookes usado por J. J. Thomson em exposição na Universidade de Cambridge. Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Figura-IV3-O-tubo-de-raios-catodicos-utilizado-por-Thomson-Fonte-Acervo-do-The_fig3_304080186

O modelo atômico de Thomson defendia que o átomo era maciço, esférico e divisível, pois era formado por um fluido de carga positiva no qual estavam dispersas partículas de carga negativa, os elétrons. Thomson realizou seu experimento em 1897 e usou como principal ferramenta um instrumento conhecido como ampola de Crookes ou tubo de raios catódicos.

Esse dispositivo foi criado pelo físico inglês Willian Crookes (1832-1919) em 1856. O tubo de Crookes era composto de uma ampola de vidro totalmente vedada. Dentro dele eram colocados gases sob baixa pressão e, em cada extremidade, ficava um eletrodo, isto é, de um lado havia um fio de metal ligado ao pólo positivo de uma fonte de alta tensão, o ânodo, e do outro havia outro metal, chamado de cátodo, que estava ligado ao polo negativo. Ao ligar a alta tensão, era possível observar um fluxo luminoso saindo do cátodo e indo em direção retilínea ao ânodo. Esse feixe passou a ser chamado de raio catódico.

O procedimento realizado por Thomson foi basicamente o seguinte: ele colocou campos elétricos e magnéticos na região externa à ampola de Crookes e observou que, ao serem submetidos a esses campos, os raios catódicos sofrem um desvio na sua trajetória, indo em direção ao pólo positivo.

1.3.2 Outros Exemplos

Nos anos 60 e 70 várias missões espaciais contribuíram para dar o formato atual da área de plasmas espaciais e astrofísicos. Merece menção especial os trabalhos do Prof. Eugene Parker da Universidade de Chicago que entre 1950 -1960 desenvolveu uma teoria

para explicar a dinâmica do vento solar e sua intensificação no meio interplanetário durante os máximos de atividade solar. Baseado nas teorias de Alfvén ele propôs que o vento solar carrega consigo o campo magnético do sol em seu processo de expansão através do sistema solar.

Os trabalhos destes pioneiros foram fundamentais para o entendimento da relação entre o sol e as camadas de plasma na alta atmosfera terrestre bem como da relação entre as tempestades solares e as tempestades geomagnéticas. O acúmulo de dados envolvendo fenômenos em plasmas espaciais e astrofísicos levou a comunidade dos Físicos de Plasma e Astrofísicos a criar novas áreas de atuação, como é o caso da nova área de CLIMA ESPACIAL com alto interesse em vários países devido a dependência cada vez maior da sociedade moderna dos serviços prestados por satélites.

Outra necessidade surgida ainda nos anos 60, para elucidar os vários processos físicos envolvidos em plasmas espaciais, foram os experimentos voltados especificamente para simulação em laboratório de fenômenos que ocorrem nestes plasmas. Aceleração de partículas resultante da Interação onda – partícula, reconexão magnética, absorção ressonante de ondas eletromagnéticas, turbulência, difusão e transporte anômalo são alguns dos fenômenos que ainda incentivam a realização de projetos experimentais na área.

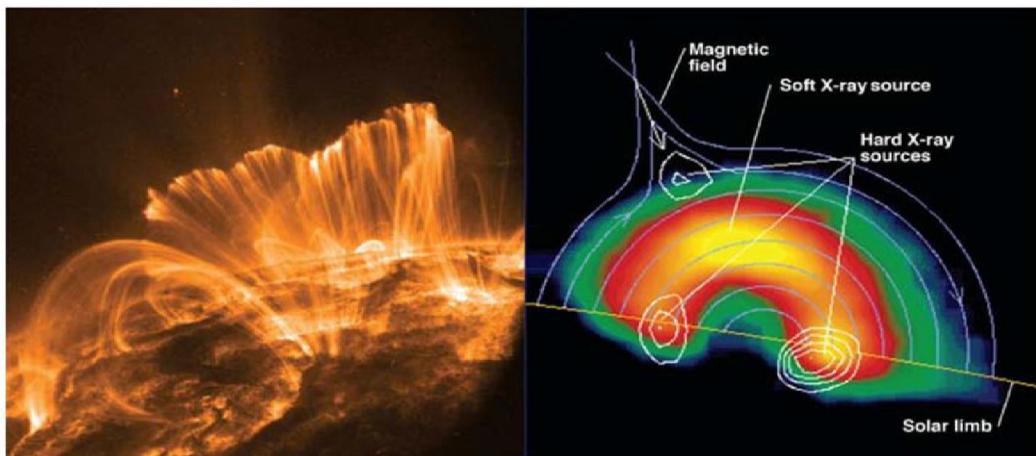


Figura 5 - Fenômenos na superfície do sol ligados ao clima espacial. Esquerda: Satélite TRACE mostrando a imagens do plasma confinado em campos magnéticos em formatos de loops nas proximidades de manchas solares. Direita: Emissão de raio x associada aos loops de plasmas nas protuberâncias solares. Fonte: Colagem de autoria própria com imagens de diferentes sites.

O gráfico 1 contém as atuais máquinas de plasma e os parâmetros de plasma associados a vários fenômenos que envolvem Plasma Espacial.

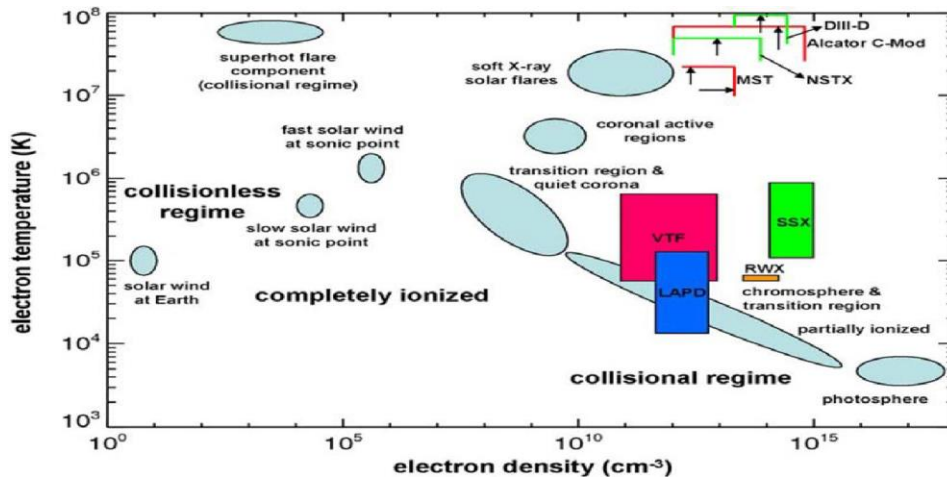


Gráfico 1 - Mostra os regimes de operação de densidade e temperatura de um grupo ilustrativo de experimentos de plasma confinado em laboratório, plotados em conjunto com o espaço de parâmetros observado que é acessado por fenômenos heliosféricos elementares.

A seguir podemos ver as principais máquinas de plasma para estudos básicos, que tem seu início com o experimento realizado por K. Birkland no ano de 1900. (13 December 1867 – 15 June 1917) foi um cientista norueguês que foi chamado de “o primeiro cientista espacial” e “o pai dos experimentos de plasma no laboratório e no espaço”.

Ele é talvez mais conhecido por seu trabalho científico trabalhando na aurora usando uma terrella (um globo magnetizado), e como inventor de um canhão eletromagnético e, um método de produzir eletricamente fertilizante artificial. Ele também se tornou professor titular de física na Universidade de Oslo com 31 anos.

- Máquina de Plasma Quiescente Magnetizado Q-Machine–Princeton University, USA Profs. A.Wong, Motley and N. D’Angelo (1964).
- Double Quiescent Plasma –DP Machine–UCLA, USA -Prof. Ikesian and Prof. R. Taylor (1970-1980).

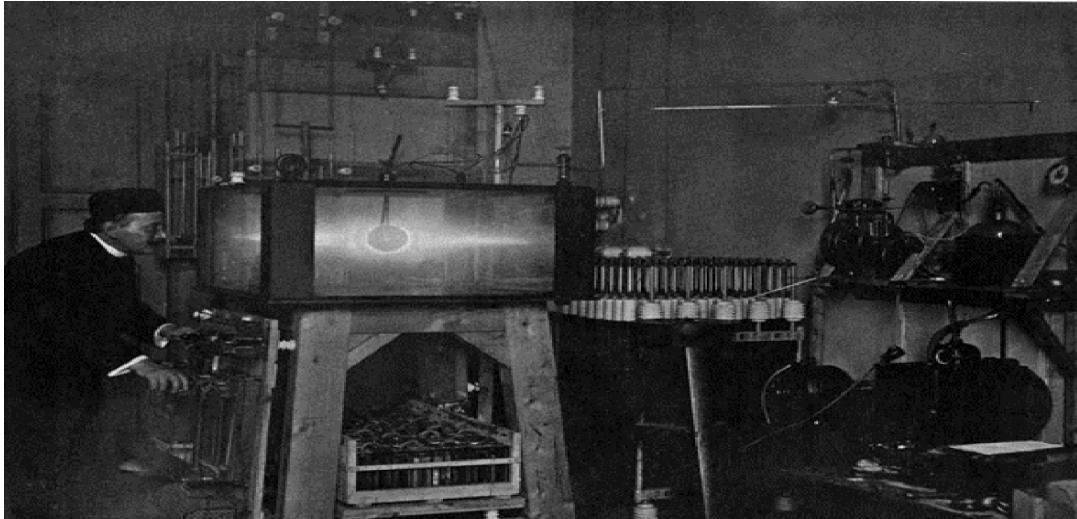


Figura 6 - Produção de auroras ovais e correntes alinhadas com o campo magnético da terra. Fonte:

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Birkeland-terrella.jpg>

- Máquinas de plasma duplo quiescentes para fenômenos aurorais e magnetosféricos de ondas acústicas de íons – PQUI – INPE((Brasil) e ISAS(Japão) Prof. Y. Nakamura, Prof. J.L.Ferreira and Prof. G.O. Ludwig (1980-1995).
- Máquinas de Plasma Quiescente Triplo e Plasma Magnetizado. Máquina de Plasma Produzido em Volume com Fotoionização com Lâmpadas de Deutério - ISAS Japão – Prof Y. Nakamura (1980- 2000).
- Experimentos de Absorção Ressonante de Onda em Experimentos de Plasma Quiescente também foram realizados no LPGP em Orsay França Prof G.Mathieussant Hoje várias Grandes Máquinas de Plasma Quiescente (LAPD) são usados em UCLA, USA –Prof. R.Stenzel and W.Geckelman (1980-2020).
- Máquinas Espelho para Simulação Espacial de Fenômenos de Plasma da Magnetosfera da Terra no Laboratório de Pesquisa Naval Univ de Evolução do Sistema Solar de Wisconsin-Madison com Proto STAR e simulação de plasma de disco empoeirado planetário no NRL-Naval Research Laboratory e em universidades vizinhas (Univ. of Virginia).
- Estudos de Reconexão Magnética no Princeton Plasma Physics Laboratory PPPL.

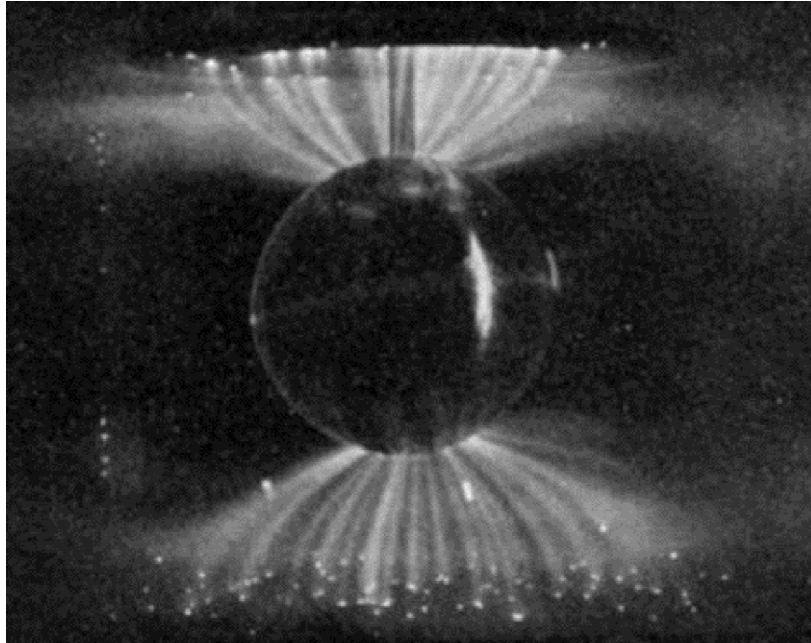


Figura 7 - Produção de aurora oval e linhas de correntes alinhadas com o campo magnético.

Fonte: https://nl.wikipedia.org/wiki/Kristian_Birkeland#/media/Bestand:Birkeland-anode-globe-fig259.jpg

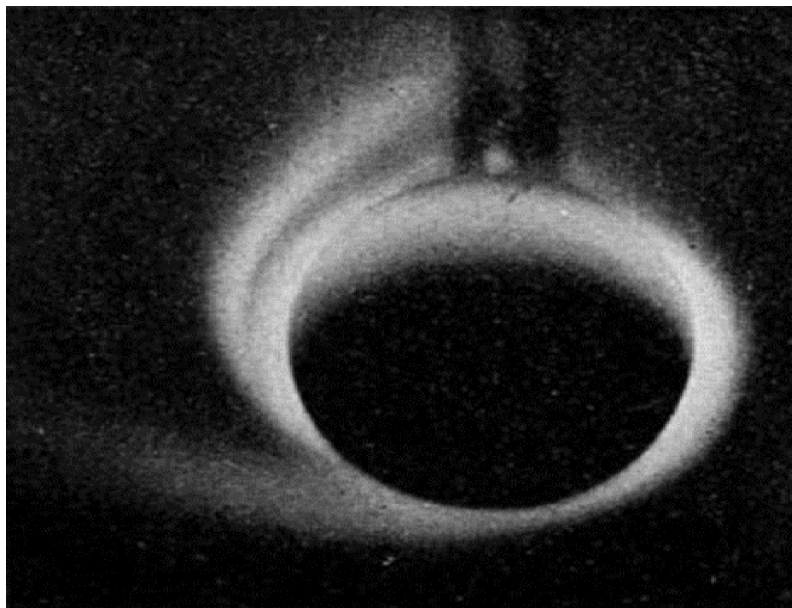


Figura 8 - Produção de aurora espiral.

Fonte: https://no.wikipedia.org/wiki/Kristian_Birkeland#/media/Fil:Birkeland-terrella-spiral-nebula.jpg

Máquinas de Plasma Quiescente dos Laboratórios da UCLAA primeira máquina criada no LabFisPlasmas da UCLA foi a histórica DP(Double Plasma) MACHINE em 1970 onestudos de ondas e solitonsem plasmas contribuíram para a compreensão de vários fenômenos na ionosfera e na magnetosfera da Terra como formação de camada

dupla, interação onda partícula e vários fenômenos ressonantes envolvendo ondas de plasmas

Nas décadas de 70, 80 e 90 o Laboratório de Física de Plasmas da UCLA tornou-se o principal laboratório mundial para estudo e simulação de plasmas espaciais em laboratório. Nesta época haviam vários projetos apoiados pela NASA, pela USA Air Force e pelo Dep. De Energia dos EUA. Um exemplo marcante é a LAPD-Large Quiescent Plasma Device (figura do esquema abaixo) ainda em funcionamento. Além de vários experimentos envolvendo fenômenos no sol, ondas de Alfvén no vento solar, ionosfera e magnetosfera da Terra, Júpiter e Saturno, o LabFisPlasmas da UCLA propôs e desenvolveu o primeiro acelerador de partículas à base de interação onda-partícula em plasmas-BEAT WAVE ACCELERATOR.

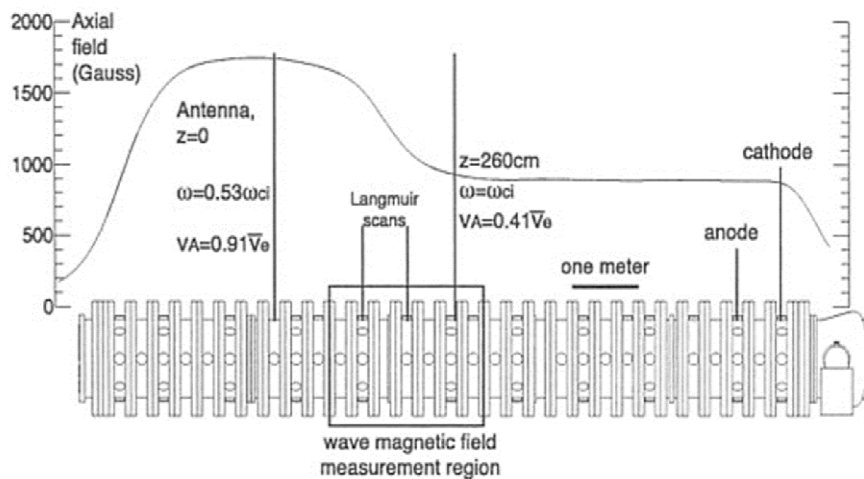


Gráfico 2. Acelerador de ondas de batidas

A máquina de Plasma Quiescente do INPEPQUI 2A PQUI II possui maior volume de plasma ($D= 0,6m \times L= 1,2m$) e permitiu a realização de mais e melhores experimentos relevantes para área de plasmas espaciais. Como exemplo, experimentos relacionados com a simulação da ionosfera, absorção ressonante de ondas EM em gradientes de densidade e o estudo de ondas de Langmuir (ondas eletro-acústicas e ondas eletrônicas de plasma). Atualmente, ela está sendo utilizada para desenvolver e testar sensores de plasma para futuros satélites EQUARS da CEA INPE, com órbita no interior da ionosfera. O satélite deverá realizar medidas envolvendo as bolhas de plasma ionosférico bem como de fenômenos relacionados com a anomalia magnética do Atlântico sul (AMAS).

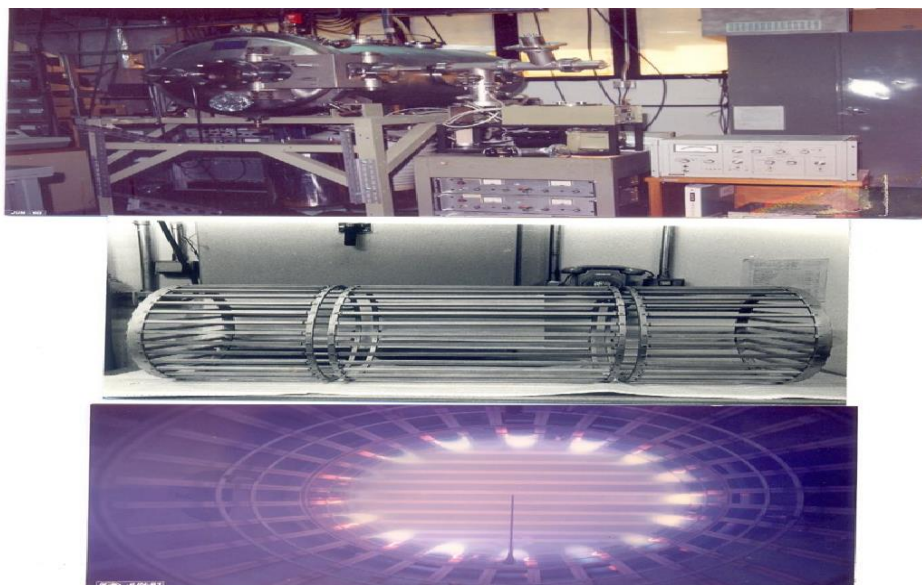


Figura 9 - Máquina de Plasma Quiescente do INPE PQUI 2. Fonte: Colagem de autoria própria com imagens de diferentes sites.

CAPÍTULO 2. O SOL E O SISTEMA SOLAR

O sol e o sistema solar estão distantes ~ 26.000 anos-luz do centro da Via Láctea. O sol com a idade de ~ 5 bilhões de anos já deu pelo menos 20 voltas na galáxia. Para dar uma volta em torno da galáxia ele leva 250 milhões de anos aproximadamente.

Pierre Simon Laplace (1749-1827) propôs a hipótese da Nebulosa Solar Primitiva (NSP) em 1796. Os trabalhos de Newton (Gravitação) e Lagrange (Estabilidade do Sistema Solar) foram fundamentais para a sistematização da Mecânica Orbital. Ela foi realizada por Laplace em sua grande obra *Mecanique Celeste*, publicada na França em 5 vols entre 1799 e 1825. Sendo que na Helix Nebula a nebulosa da hélice contém uma estrela anã branca no centro resultante de uma estrela que chegou ao final da vida e explodiu. Ela é um exemplo do que acontece com muitas estrelas em seu estágio final de evolução, como ocorrerá também para o nosso sol daqui a alguns bilhões de anos. A nebulosa resultante (NSP) da explosão de uma velha estrela pode resultar em um novo sistema planetário.

Olhando para a nebulosa do Orion é possível ver aglomerados de gases que formarão novas estrelas e sistemas planetários associados.



Figura 10 - Ilustrando a helix nebula ngc 7293 hubble space telescope wfrc2
Fonte: <https://noirlab.edu/public/images/noao0307a/>

O fragmento resultante sofre colapso gravitacional enquanto sua parte central se aquece. A NSP torna-se cada vez mais intensa intensificando a gravidade local. Ela começa então a girar e transformar o seu formato cada vez mais próximo a de um disco em rotação. O adensamento e o giro e achatamento da NSP foram propostos por Laplace com base na conservação do momento angular total da NSP. O aumento da densidade do

gás hidrogênio na NSP provoca o aumento das colisões, ionização dos átomos de H e finalmente emissão de radiação. A radiação resultante provoca aquecimento suplementar e aumento de pressão na parte central. A partir disso, a contração ficou lenta e a fusão termonuclear dos átomos de H forma o proto - Sol que passa a emitir radiação cada vez mais energética, ou seja, do infravermelho para ultravioleta e raios X. Um fator indispensável para a formação do sistema planetário é a rotação da NSP, que vai propiciar a formação de um disco. O proto - Sol emite além de radiação fortes ventos estelares que irão produzir no disco vários anéis com densidades diferenciadas cujo material vai formar os futuros planetas.

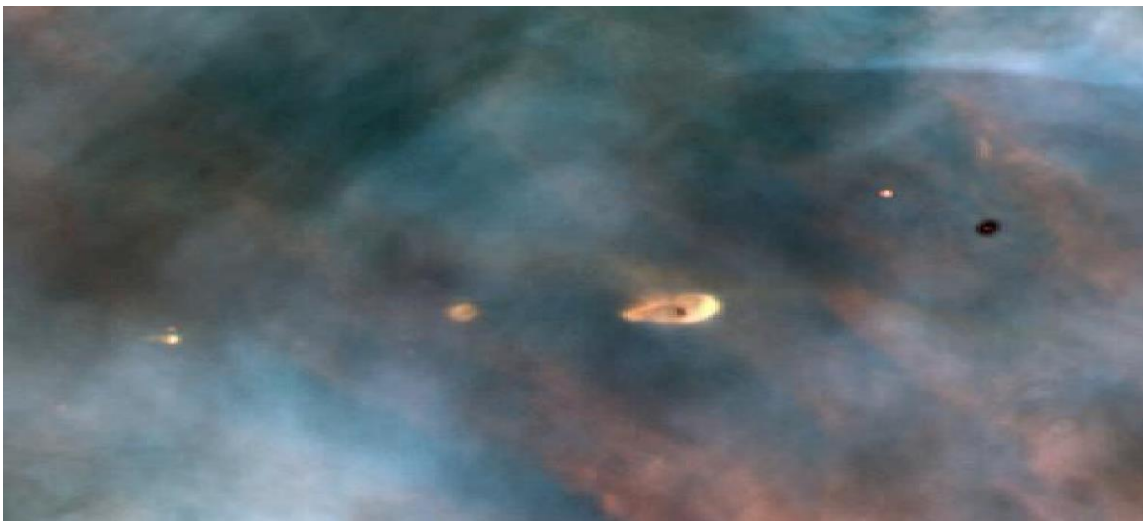


Figura 11 - Ilustrando a helix nebula ngc 7293 hubble space telescope wfrc2
Fonte: <https://noirlab.edu/public/images/noao0307a/>

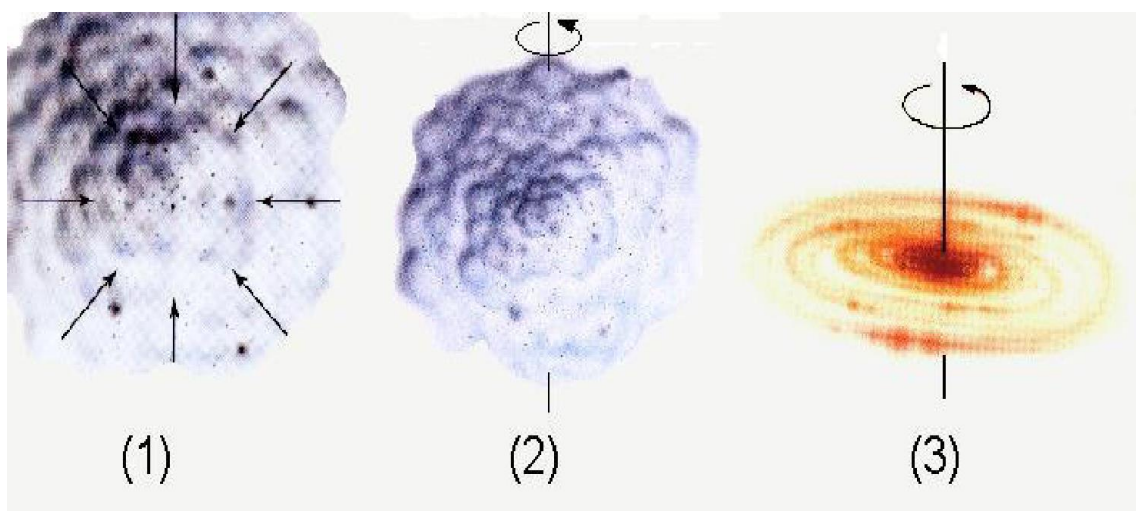


Figura 12 - Ilustrando a Protótipo da formação do sistema solar: estrelas T-Tauri Nebulosa Planetária Primordial (NSP) em formação.

A figura 12 mostra um protótipo de formação de um sistema planetário em torno de uma estrela (provavelmente) do tipo T-Tauri na nebulosa do Orion (1), (2) A conservação do momento angular requer que a NSP em rotação e em contração, deve girar cada vez mais rápido até se transformar em um disco (3) Com o passar do tempo o proto-sol aparece e no achatamento da NSP a matéria se distribui em um disco em anéis não uniformes para se tornar o sistema solar primitivo.

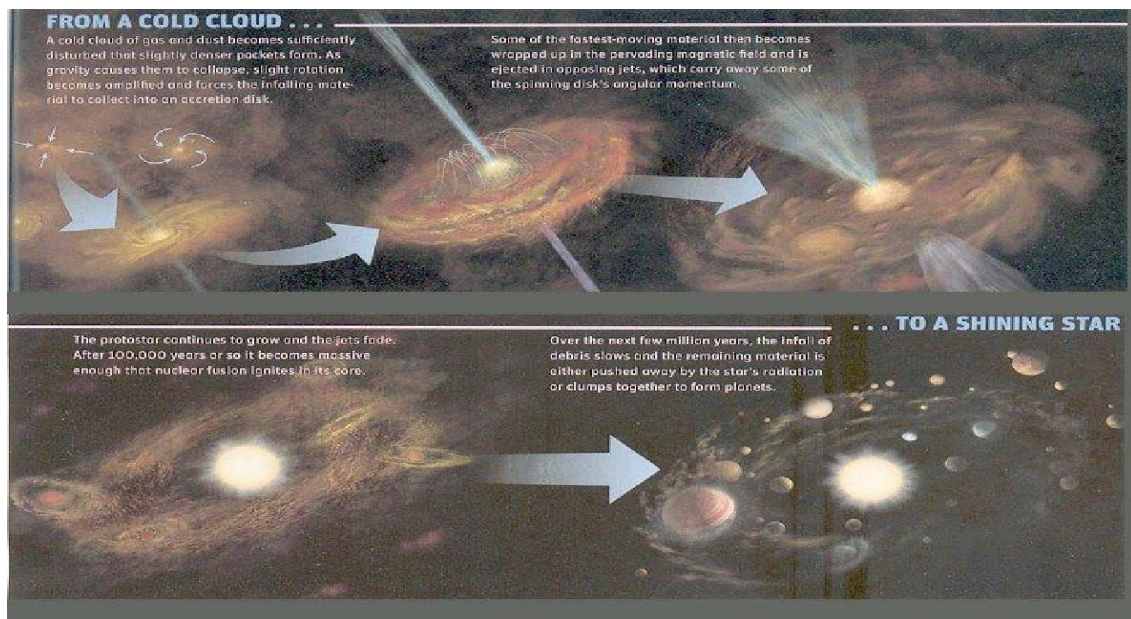


Figura 13 – Ilustração do nascimento de uma estrela e de seu planetário.

Fonte: <https://universe-review.ca/F06-star-cluster05.htm>

Quando a pressão e a temperatura do processo de contração da nuvem primordial são suficientemente altos, um jato de gás é expelido indicando o início do processo de fusão termonuclear.

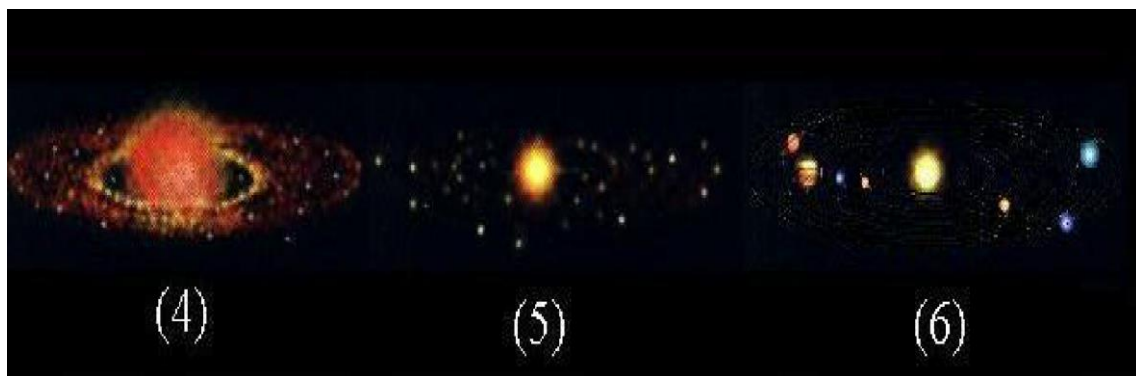


Figura 14 - nascimento de Sol e do Sistema Solar. Fonte: Imagem adaptada.

<http://www.astro.iag.usp.br/~picazzio/2005/ip/impo.html>

Em (4) A parte central vai se tornar o Sol e os pequenos lóbulos nas partes intermediárias com maior adensamento de poeira e moléculas pré-formadas vão se transformar nos planetas telúricos ou terrestres. Os grãos de poeira são aquecidos e

espalhados pela radiação e pelo vento da proto - Sol, posteriormente, eles irão formar os planetesimais na parte mais externa do disco, gases e moléculas de menor massa predominam e os planetas jovianos ou gasosos são formados. Em (5) Radiação e fortes ventos estelares continuam a espalhar o gás e a poeira da nebulosa primordial, garantindo que os planetesimais continuarão a colidir e a crescer. (6) Passados ~ 100 milhões de anos, os planetesimais formam os planetas jovianos inicialmente. Os planetas telúricos também são formados, mas de forma mais lenta em órbita do Sol.

2.1- Estrutura Solar

Podemos fazer observações diretas da superfície solar e da atmosfera. O principal meio de estudo dessas regiões é a análise de absorção de linhas no espectro solar. Ao estudar essas linhas, sabemos a composição do Sol com uma precisão muito alta. A Tabela 2.1 lista os elementos mais comuns no Sol e sua abundância relativa. O Hidrogênio é de longe o mais comum, seguido pelo hélio. O modelo sugere que essas abundâncias são representativas em todo o Sol, exceto no núcleo, onde as reações termonucleares continuamente mudam a composição. O Sol contém todos os elementos naturais encontrados na Terra e na tabela periódica. Na verdade, essencialmente todos os elementos além do hidrogênio e hélio na Terra (e em nossos corpos) foram feitos dentro de uma estrela agora morta, cujos restos constituíram o solar original nebulosa. Literalmente, somos feitos de matéria estelar.

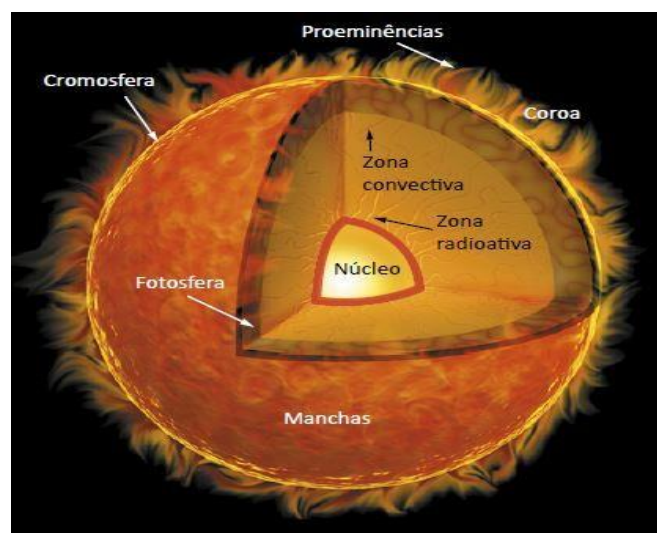


Figura 15 - As principais regiões do Sol. As regiões dentro do Sol são definidas pela forma como a energia é transferida do núcleo para a superfície. As regiões da atmosfera do Sol são definidas por sua densidade e temperatura. Fonte: <https://www.coladaweb.com/astrologia/sol>

O Sol contém $1,9 \times 10^{30}$ kg de massa - mais de 99% da massa total no Sistema Solar - ou cerca de 300.000 massas terrestres. As regiões do Sol são ilustradas na Figura 15. A Tabela 2.2 anexa mostra algumas das características físicas do Sol.

2.1.1 Núcleo

2.1.1.1 ESTRUTURA INTERNA

Na região central do Sol, que abrange 3/10 do raio solar, ocorrem as reações de fusão. Seu núcleo está a uma temperatura de 15 milhões de Kelvin e possui uma pressão da ordem de bilhões de atmosferas, sendo que esses valores vão decrescendo juntamente com a densidade, de modo não linear, conforme afasta-se do núcleo em direção à superfície. A variação térmica (considerada do núcleo para as camadas mais externas) determina a estrutura interna da estrela conforme o modo de propagação da energia: camada radiativa e envelope convectivo sendo a radiação eletromagnética produzida pelo núcleo é refletida por muitas vezes, para escapar milhares de anos do seu interior. e isso forma uma camada instável que transmite calor por meio da convecção, nessa região ocorrem erupções solares.

2.1.1.2 REAÇÕES DE FUSÃO NUCLEAR

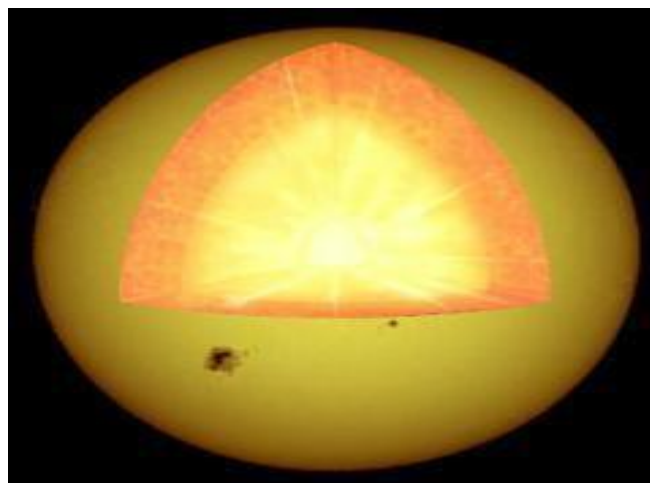
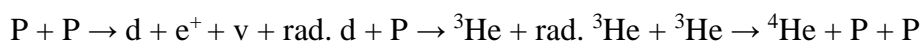


Figura 16 – Representação do núcleo Solar.

Fonte: <https://pt.solar-energia.net/sistema-solar/sol/estrutura/camadas-internas>

O centro do Sol é muito quente (aproximadamente 15×10^6 °C), e a pressão é imensa (por volta de 100×10^9 atm). Por causa disso, os átomos se aproximam tanto que se fundem. A cada segundo, o Sol consome 700×10^9 ton de prótons (Hidrogênio). E

somente uma pequena fração (0.7%) é transformada em energia. A energia gerada no núcleo do Sol leva um milhão de anos para atingir a superfície. Sendo dois Nêutrons + dois Prótons → Hélio + Luz assim aproximadamente metade do H no centro do Sol já se transformou em He. Isto levou ~ 4.5 bilhões de anos.

2.1.2 A Cromosfera e Coroa do Sol

A cromosfera, ou “esfera de cor”, é uma camada de gás (principalmente, hidrogênio e hélio) que envolve o Sol, a partir da fotosfera. Na cromosfera, ocorre um fenômeno curioso.



Figura 17 – Gráfico ilustrativo da variação de temperatura na fotosfera em relação ao centro do Sol.

Fonte: <https://pt.slideshare.net/ifuspescola/sol-7093636>

Como era de se esperar, a temperatura da fotosfera cai com a distância ao centro do Sol, onde está a maior fonte de calor. No entanto, ao passar para a cromosfera, a temperatura volta a crescer. Enquanto a superfície visível do Sol tem uma temperatura média de “apenas” uns 6000 K, a cromosfera atinge temperaturas superiores a 10.000 K. A explicação mais aceita para esse enigma que surpreendeu os astrônomos que o descobriram, supõe que parte da energia que deixa a fotosfera é acústica. Isto é, sai da fotosfera como som ou ruído, como aquele que é produzido por água fervendo. Ao atingir a cromosfera essa energia sonora é dissipada em forma de calor. Mas, como os gases nessa região são rarefeitos, essa dissipação é suficiente para elevar a temperatura aos valores observados. Entenda, porém, o seguinte: quando os físicos falam na temperatura de um gás, eles se referem, na verdade, à energia de movimento das moléculas do gás. Uma nave que passasse nessa região não registraria essa temperatura tão elevada, embora derretesse por causa da terrível energia radiante da proximidade do Sol.

Além da cromosfera, existe uma extensa camada de densidade ainda menor, uma espécie de “atmosfera” do Sol, chamada de “coroa solar”. É nela que ocorrem algumas das impressionantes manifestações da atividade solar que descrevemos nos capítulos seguintes. O mesmo efeito relatado acima continua a se processar na coroa. Só que, como a densidade dos gases nessa região é ainda menor que na cromosfera, a temperatura pode passar de um milhão de Kelvins.

Os fenômenos que ocorrem na coroa estão fortemente ligados à presença de intensos campos magnéticos que se originam em regiões internas do Sol e se espalham pela parte externa. Diferentemente do campo magnético da Terra que é (mais ou menos) constante e vai de um pólo a outro, as linhas de campo magnético na superfície do Sol são inteiramente irregulares. Como veremos adiante, elas estão associadas ao comportamento das chamadas “manchas solares”.

2.1.3 Manchas Solares Erupções e Protuberâncias

Um dos fenômenos mais interessantes que acontecem na superfície do Sol, e que é muito fácil de ser observado, como veremos depois, são as manchas solares. Embora já tivessem sido vistas desde a remota antiguidade por astrônomos chineses, o primeiro europeu a observá-las e descrevê-las sistematicamente foi Galileu Galilei, em 1613.

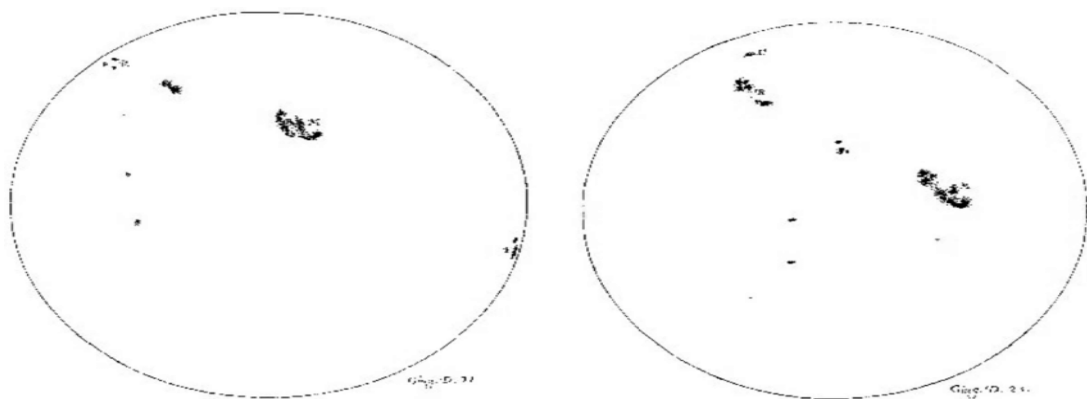


Figura 18 – Desenho de Galileu Galilei das manchas solares.

Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Figura-8-Desenhos-feito-por-Galileo-em-1610-mostrando-as-manchas-solares-Fonte-Ref_fig6_262457619

Uma mancha solar parece escura, mas não é. A temperatura na região da mancha é menor que a temperatura nos seus arredores. Enquanto a temperatura média do disco solar chega perto de 6000 K, nas manchas a temperatura é uns 1000 K mais baixa. Isso significa que uma mancha é muito brilhante, na verdade, e só aparece como escura por causa do contraste com sua vizinhança, que é ainda mais brilhante.

Uma mancha típica pode ter o tamanho da Terra (ou mais) e viver por alguns dias ou semanas. Observando o deslocamento das manchas é possível medir o período de rotação do Sol em torno de si mesmo.

Por volta de 1850, o astrônomo amador alemão Heinrich Schwabe constatou que o número de manchas solares segue um padrão periódico. A cada 11 anos, aproximadamente, o número de manchas solares atinge valores máximos. No capítulo seguinte falaremos um pouco mais sobre esses ciclos.

Associadas às manchas solares ocorrem outras espetaculares manifestações no disco solar: as erupções e as protuberâncias. As erupções são gigantescas cusparadas que o Sol dá em seus períodos de maiores atividades, lançando uma enorme quantidade de matéria no espaço (elétrons, prótons, nêutrons e outras partículas mais pesadas). Se esse material vem em nossa direção e atinge a atmosfera terrestre, vários fenômenos ocorrem, como descreveremos no Cap. 3.3.2, adiante.

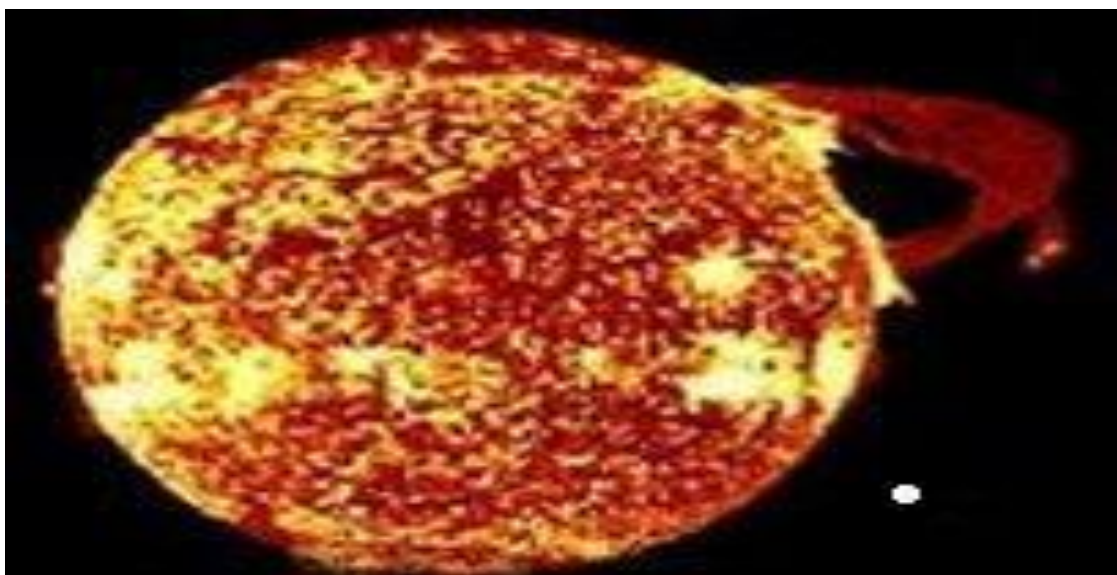


Figura 19 - Ejeção de Massa Coronal.

Fonte: <https://www.greelane.com/es/ciencia-tecnolog%3%ada-matem%3%alticas/ciencia/solar-flares-4137226/>

Dentre outro dramático fenômeno que pode ocorrer no Sol durante seus períodos de atividade são as protuberâncias, enormes arcos de gás excitado que se estendem por centenas de milhares de quilômetros na coroa solar. Na figura 11, o pequeno círculo branco à direita representa o tamanho relativo da Terra para você comparar com o tamanho do Sol e de uma protuberância. As protuberâncias estão intimamente ligadas a campos magnéticos presentes na superfície do Sol e às manchas solares. As observações

mostram que as manchas costumam andar aos pares, com linhas de campo magnético saindo de uma e entrando na outra. Aparentemente, as protuberâncias seguem as linhas de campo magnético, originando-se em uma mancha de uma polaridade e passando para outra, de polaridade oposta.

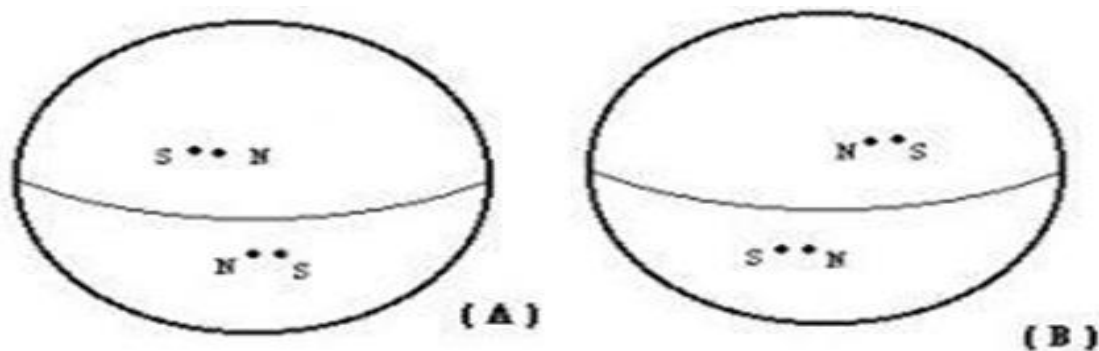


Figura 20 – Variação do deslocamento das manchas solares nos hemisférios. Fonte: Imagem adaptada.

<https://seara.ufc.br/>

Os pares de manchas se deslocam diferentemente nos hemisférios norte e sul do Sol. Durante um certo período de atividade, acima do equador solar, as manchas de polaridade norte vão à frente das manchas de polaridade sul. Abaixo do equador solar, dá-se o inverso (Figura 20A). 11 anos depois, no período seguinte de atividade solar, o quadro se inverte (Figura 20B). Se você quer saber a razão de tantos fenômenos curiosos, considere a possibilidade de se dedicar à astrofísica e estudar o Sol. Atualmente, ainda não existe nenhum modelo satisfatório, nem para o ciclo de 11 anos nem para essa desconcertante inversão descrita acima.

2.3.2 – Vento Solar Origens e Características

Segundo Steve Gribben / Nasa / Johns Hopkins APL em reportagem da revista Fapesp, a sonda espacial Parker Solar Probe é o objeto construído pelo ser humano que chegou mais perto do Sol – e deve se aproximar ainda mais ao longo dos quase sete anos de missão. Lançada em agosto de 2018, a nave robotizada da agência espacial norte-americana (Nasa) já completou três das 24 órbitas previstas em torno da estrela. Nos momentos de maior proximidade, passou a 24 milhões de quilômetros do Sol, menos da metade da distância que o separa do planeta Mercúrio, o mais próximo. Parte dos dados coletados nas três aproximações já foi analisada e está ajudando a compreender alguns mistérios, como a razão de a parte mais externa da atmosfera – a coroa – ser milhares de vezes mais quente do que a superfície ou a origem dos ventos solares, o fluxo de partículas

que emana do astro e viaja pelo espaço até muito além dos planetas mais distantes. Há tempos os pesquisadores sabem que o vento solar tem 2 componentes: os ventos rápidos, que viajam a 700 quilômetros por segundo (km/s), e os lentos, que se deslocam a 500 km/s. Os dados da sonda confirmaram que os ventos rápidos são gerados por partículas que escapam por grandes buracos na coroa solar perto dos polos. Já os mais lentos, de origem até então desconhecida, emanam de buracos menores próximos ao equador da estrela (*Nature*, 4 de dezembro). A forma como são produzidos os ventos pode ajudar a entender por que a coroa é mais quente do que a superfície. A Parker Solar Probe indicou que as partículas do vento são ejetadas na forma de jatos, e não em um fluxo contínuo, como se imaginava. Essa liberação explosiva permitiria o acúmulo de energia na coroa. “Os primeiros dados da sonda Parker mostram nossa estrela, o Sol, de maneiras novas e surpreendentes”, disse Thomas Zurbuchen, administrador associado de ciências da Nasa em Washington, ao serviço de notícias da agência espacial.



Figura 21 - Imagem composta de lançamentos de CMES-CORONAL MASS EJECTIONS composta de nuvens de plasma magnetizado originadas do Sol esquerda afetando diretamente a Terra direita e o resto do sistema solar, capturadas pelo **SOHO (Solar and Heliospheric Observatory)** em montagem com imagem ilustrativa da Terra, fora de escala, e seu campo magnético sofrendo empurrão devido a incidência do vento.

O vento solar é um fluxo contínuo de partículas constituído, principalmente, de prótons e elétrons, que escapam da atração gravitacional do Sol. Essas partículas são energizadas por altas temperaturas na coroa, estas partículas deixam o sol em velocidades que variam de 300 a 800 km/s.

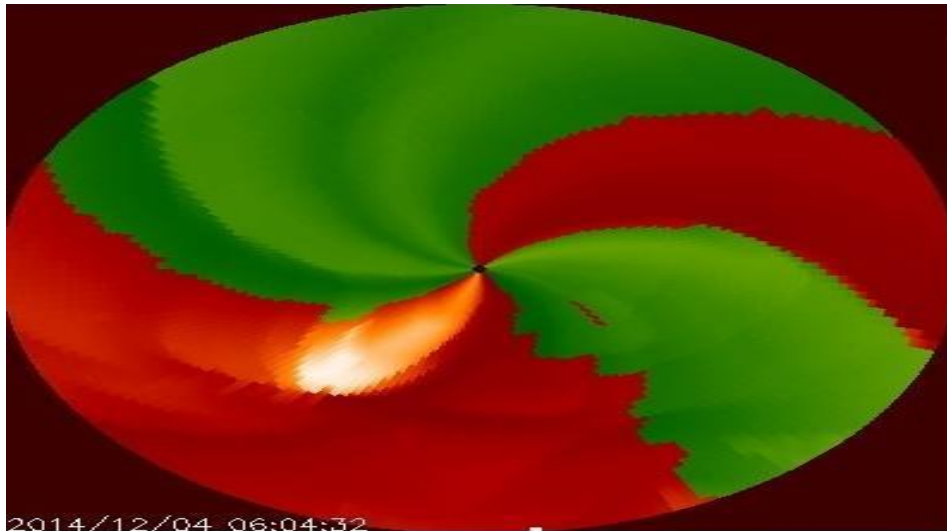


Figura 22 - Observação do polo norte do Sol por um período de 25 dias mostra que o vento solar é ejetado do Sol com uma forma peculiar de catavento. Fonte: <https://www.lmsal.com/forecast/windmovie.html>

As escalas de cores vermelho e verde mostram para onde o campo radial é dirigido, quanto mais brilhante a cor, mais rápido o vento. A imagem se estende até um pouco além da órbita da Terra.

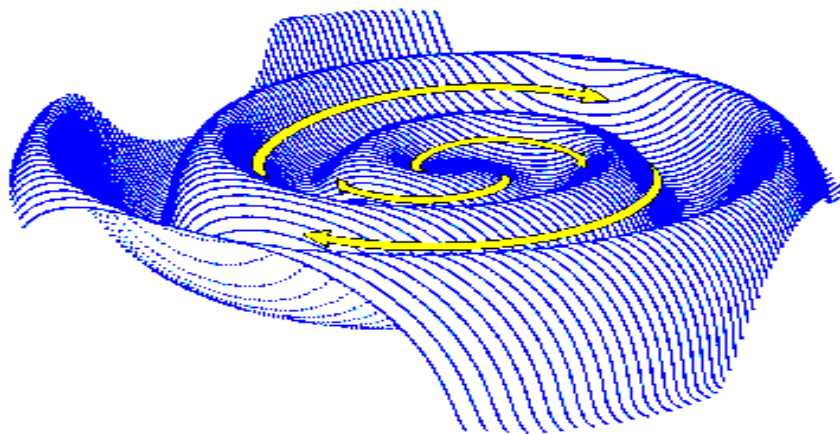


Figura 23 - A imagem acima foi retirada do site helios.gsfc.nasa.gov, e é cortesia de J. Jokipii, da Universidade do Arizona. Ela ilustra em 3D o vento solar. A linha amarela mostra o sentido de rotação do vento. Fonte: helios.gsfc.nasa.gov

As mais rápidas destas partículas fluem para fora da coroa através dos buracos coronais, locais onde as linhas do campo magnético solar não se fecham. Como o Sol tem um movimento giratório, o vento solar assume uma forma de cata-vento (ilustrado abaixo pela imagem 1) quando visto de cima (perpendicular ao plano da órbita dos planetas).

Embutidos nesse cata-vento de partículas estão campos magnéticos que são arrastados para o espaço interplanetário. O vento solar pode ser fortemente afetado pelas erupções solares e ejeções de massa coronal. Ambas podem arremessar boa parte da matéria desses ventos e campos magnéticos embutidos para o espaço afora. Estas partículas ejetadas chegam como uma poderosa "rajada" de vento solar ao atingirem a Terra, e podem causar graves mudanças no clima espacial.

O satélite Advanced Composition Explorer (ACE) foi lançado em agosto de 1997 e colocado em uma órbita em torno entre a Terra e o Sol, num dos vários pontos no espaço onde a atração gravitacional do Sol e da Terra são iguais e opostas. Este ponto em particular está localizado a cerca de 1,5 milhões de km da Terra na direção do Sol. O ACE tem uma série de instrumentos que monitoram o vento solar e fornece informações em tempo real sobre as condições do vento solar na nave espacial.

“Embora os pontos L1, L2 e L3 sejam nominalmente instáveis, existem órbitas periódicas quase estáveis chamadas órbitas de halo em torno desses pontos em um sistema de três corpos. Essas órbitas quase periódicas de Lissajous são as que a maioria das missões espaciais de ponto Lagrangiano usaram até agora. Embora não sejam perfeitamente estáveis, um esforço modesto de manutenção da estação mantém uma espaçonave em uma órbita de Lissajous desejada por um longo tempo.

Para missões Sol-Terra-L1, é preferível que a espaçonave esteja em uma órbita de Lissajous de grande amplitude (100.000–200.000 km ou 62.000–124.000 mi) em torno de L1 do que permanecer em L1, porque a linha entre o Sol e a Terra aumentou a interferência solar nas comunicações da nave espacial. Da mesma forma, uma órbita de Lissajous de grande amplitude em torno de L2 mantém uma sonda fora da sombra da Terra e, portanto, garante a iluminação contínua de seus painéis solares.

O Sol-Terra L1 é adequado para fazer observações do sistema Sol-Terra. Os objetos aqui nunca são sombreados pela Terra ou pela Lua e, se observar a Terra, sempre veja o hemisfério iluminado pelo sol. Desde junho de 2015, DSCOVR orbita o ponto L1. Por outro lado, também é útil para telescópios solares baseados no espaço, porque fornece uma visão ininterrupta do Sol e de qualquer clima espacial (incluindo o vento solar e as ejeções de massa coronal) atinge L1 até uma hora antes da Terra. As missões solares e heliosféricas atualmente localizadas em torno de L1 incluem o Observatório Solar e Hemisférico, o Vento e o Explorador de Composição Avançada”. ISEE-3 / ICE”. Exploração do sistema solar.

CAPÍTULO 3. RELAÇÃO SOL TERRA

Em virtude da sua forma elíptica da órbita terrestre, a distância Terra-Sol varia ao longo do ano em torno do valor médio de 149,6 milhões de km. A esse valor denomina-se “Unidade Astronômica de Distância (UA)”, ou seja, $1 \text{ UA} = 149,6 \times 10^6 \text{ Km}$ (Figura 3.1).

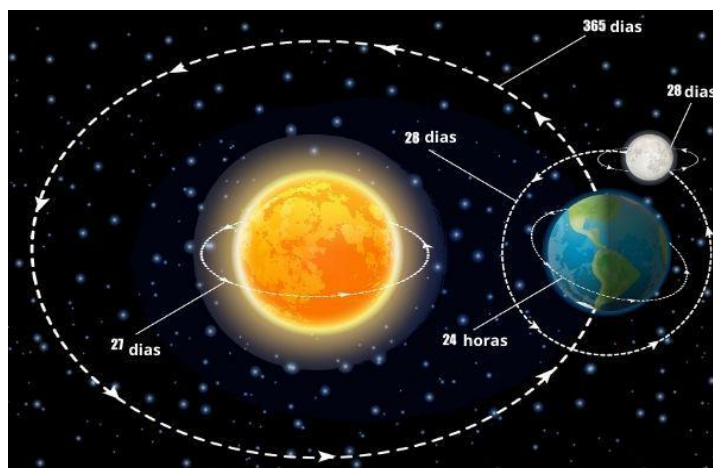


Figura 24- Movimento da Translação da Terra ao redor do Sol. Fonte:

<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/movimento-translacao.htm>

Observação: Distância mínima Terra-Sol (Periélio) = $147,1 \times 10^6 \text{ Km}$ = 3 de Janeiro; Distância máxima Terra-Sol (Afélio) = $152,1 \times 10^6 \text{ Km}$ = 4 de Julho; Distância de 1 UA = 4 de Abril e 5 de Julho.

3.1 As estações do ano

O movimento do Sol na esfera celeste é helicoidal, em consequência de o eixo terrestre ser inclinado em relação ao plano da Eclíptica (plano que contém a trajetória da Terra em torno do Sol). Atualmente este ângulo é de, aproximadamente $23,5^{\circ}27'$ e tal situação astronômica é conhecida como “*Obliquidade da Eclíptica*” (Figura 25).



Figura 25 - Obliquidade da Eclíptica.

Fonte: <http://revistagalileu.globo.com/Galileu/0,6993,ECT900784-1941-3,00.html>

A combinação da Obliquidade da eclíptica e a translação da Terra causa a impressão de que o Sol se desloca na direção Norte-Sul ao longo do ano, dando origem às “*Estações do Ano*”. De forma análoga, a rotação da Terra dá a impressão de que o Sol se desloca de Leste para Oeste ao longo do dia (Figuras 26 e 27).



Figura 26 - As estações do ano. As áreas sombreadas representam porções terrestres não atingidas pela luz solar.

Fonte: [https://www.professorinterativo.com.br/aval_on_line/01 TICs/TIC_22/04_estacoes_ano.html](https://www.professorinterativo.com.br/aval_on_line/01_TICs/TIC_22/04_estacoes_ano.html)

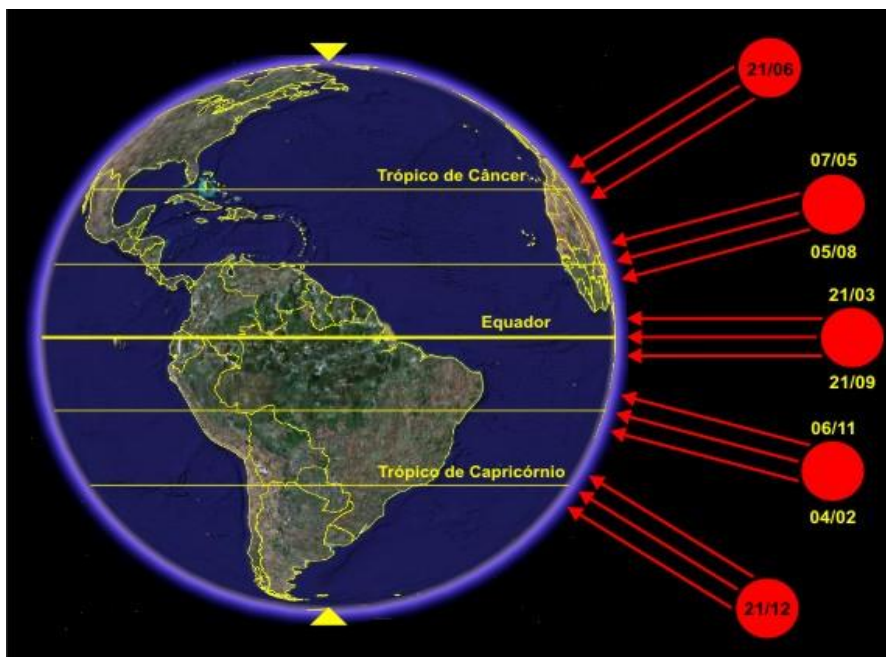


Figura 27 - Movimento anual aparente do Sol na direção Norte-Sul.

Fonte: <http://esronno.blogspot.com/2011/10/historia-do-horario-de-verao.html>

Denominados *Solstícios* e *Equinócios* as estações do ano. Os Solstícios são os instantes em que o Sol se encontra mais afastado do Equador Celeste ou Terrestre, e equinócios, os instantes em que o Sol passa pelo plano equatorial.

3.2 Início das Estações

Para o hemisfério Sul: Início do Verão: 22 de dezembro; Início do Outono: 21 de março; Início do Inverno: 22 de junho; Início da Primavera: 23 de setembro. Para o hemisfério Norte: Início do Verão: 22 de junho; Início do Outono: 23 de setembro; Início do Inverno: 22 de dezembro; Início da Primavera: 21 de março.

3.3 Espectro eletromagnético

O espectro eletromagnético é o conjunto de radiações eletromagnéticas ordenadas de acordo com as suas frequências, seus comprimentos de ondas, ou, ainda, números de ondas. Os limites aproximados entre as diversas faixas do espectro eletromagnético são indicados na Tabela 3.

A região do visível do espectro poder subdividida, em micrometros, como se segue na Figura 28.

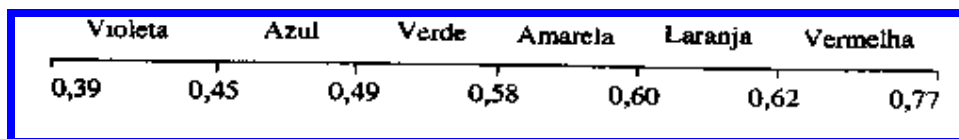


Figura 28 - região do visível do espectro subdividida em micrômetros. Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/espectro-eletromagnetico.htm>

3.4 Estrutura Interna da Terra

3.4.1 A origem do nome Terra

Na mitologia romana a deusa da Terra era *Tellus*, nome que significava "o solo fértil". Na mitologia grega a Terra era representada pela deusa *Gaia*, que queria dizer "terra mater" ou "mãe terra". Existem centenas de nomes para o planeta Terra em outras línguas. A Terra é o único planeta cujo nome em inglês não provém da mitologia greco-romana. O nome "Earth" provém do alemão e inglês antigos.

3.4.2 Camadas da Terra

A Terra é formada por camadas sucessivas, de densidades diferentes, que aumentam da superfície para o centro. O estudo do interior do nosso planeta é realizado por meio de registros feitos por sismógrafos, aparelhos que detectam as ondas que se irradiam a partir dos tremores de terra ou abalos sísmicos. Essas ondas se propagam com

diferentes velocidades em meios de densidade também diferenciadas. As camadas da Terra são separadas umas das outras por áreas denominadas descontinuidades - locais onde há mudanças rápidas na velocidade de propagação das ondas sísmicas ao se deslocarem pelo interior da Terra. É através das descontinuidades que se provocam as modificações na composição mineralógica do planeta.

3.4.3 Núcleo da Terra

É a parte interna mais densa e quente (4 a 5000°C) da Terra com pressões altíssimas (cerca de 3 milhões de vezes maior que ao nível do mar). Apresenta duas divisões: núcleo externo, em estado fluido, e núcleo interno, em estado sólido.

Ambos são formados por níquel e ferro, além de oxigênio junto com enxofre. O núcleo interno é a camada mais interna da Terra, portanto, a mais profunda e mais quente. Pode variar de 5.500 a 6.371 Km e sua temperatura ultrapassa a casa dos 4.000°C. Nesta camada é encontrado compostos líquidos de ferro e níquel (NiFe).

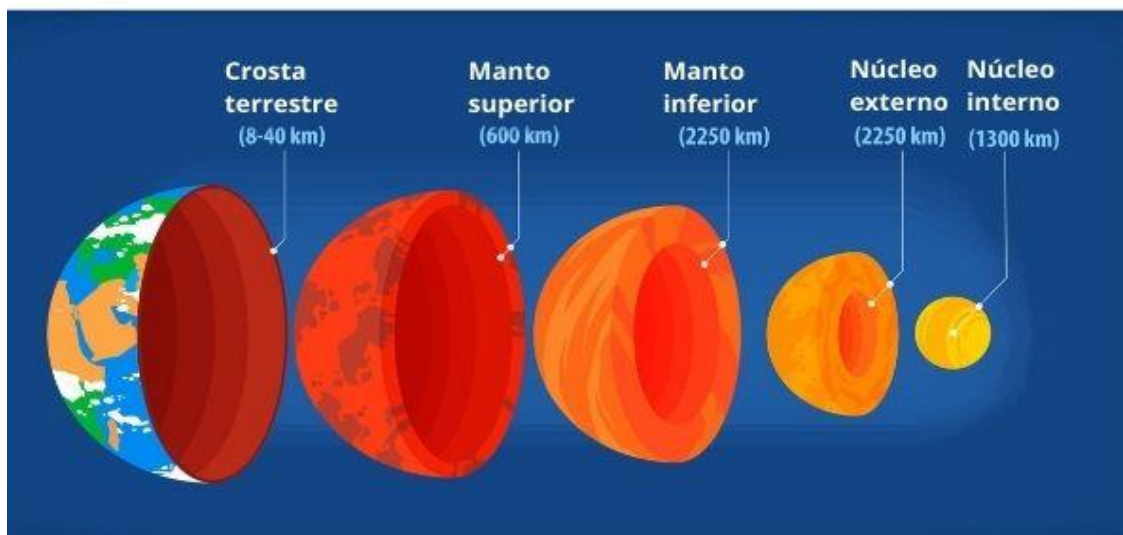


Figura 29 – Crosta, Manto, núcleos da Terra.

Fonte: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/as-camadas-terra.htm>

O núcleo interno está crescendo, pois, o núcleo externo está perdendo calor para o manto. Núcleo Externo: sua profundidade está em torno de 2.900 a 5.500 Km e a temperatura variável entre esses pontos podem ser de 3.700°C a 4.000°C. Nesta camada podemos encontrar compostos líquidos de ferro, níquel e silício. Do núcleo externo parte O CAMPO MAGNÉTICO que envolve a Terra, do Pólo Norte ao Pólo Sul, através do manto superior. O movimento de rotação do núcleo externo é mais rápido do que o das outras camadas da Terra. Ele forma assim remoinhos de cargas elétricas que produzem o campo magnético terrestre.

3.4.4 Evolução da Terra

A idade da Terra é calculada em cerca de 4,5 a 5 bilhões de anos. No decorrer desse longo período ela foi palco de inúmeras transformações físicas e biológicas em boa parte ainda não esclarecidas. Para sintetizar o estudo da evolução da Terra, dividiu-se sua idade e eras, períodos, épocas, idades e fases. William Smith foi o primeiro a fazer a observação científica da relação entre os fósseis e as camadas geológicas em que se encontravam. Com a descoberta da radioatividade no século XX, criou-se a possibilidade da datação científica das rochas (certos átomos radioativos através da radiação de seus núcleos se transformam em outros elementos). Assim, para as eras mais antigas utiliza-se o isótopo de U238; para tempos mais recentes o C14 (este em fósseis). Deste modo pode-se fazer uma escala do Tempo Geológico. Veja a tabela (fonte: Geologia Geral - Leinz e Amaral, S.E.).



Figura 30 – Imagem do planeta terra. Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Terra>

A Terra é o terceiro planeta a partir do Sol no Sistema Solar. Ela é o quinto maior planeta do Sistema Solar, sendo menor do que Júpiter, Saturno, Urano e Netuno. A distância média da Terra ao Sol é de, aproximadamente, 150 milhões de quilômetros. A Terra dá uma volta completa em torno do Sol a cada 365,26 dias. Este é o ano terrestre. Um dia terrestre tem a duração de 23 horas 56 minutos e 04 segundos ou 23,9345 horas. Este é o chamado "dia sideral". O dia da Terra é o intervalo de tempo que ela leva para dar uma volta completa em torno do seu eixo.

O diâmetro da Terra tem 12.756 quilômetros. A Terra tem apenas um satélite natural, a Lua. Vista do espaço a Terra tem uma cor azul e branca. Mais de 70% da superfície da Terra é coberta por água.

A Terra é o planeta mais denso do Sistema Solar. Sua densidade é de 5,515 g/cm³ e a densidade da água é de 1,027 g/cm³. A inclinação do eixo da Terra em 23,5° é que provoca a existência das variações climáticas conhecidas como "estações do ano". A rotação da Terra está diminuindo muito lentamente ao longo do tempo. Ela diminui cerca de um segundo a cada 10 anos.

Para que um corpo possa escapar do puxão gravitacional da Terra ele deve atingir a velocidade de 11,186 metros por segundo. Esta é a chamada velocidade de escape. A Terra é o planeta onde evoluímos e o único planeta no Sistema Solar que é conhecido possui vida.

3.4.5 A órbita da Terra

Como mencionado no início do capítulo, a Terra está em órbita em torno do Sol a uma distância média de 149.600.000 quilômetros. Esta distância é definida como sendo uma "Unidade Astronômica" (U.A.).

Na posição chamada periélio, a Terra está mais próxima do Sol, por volta de 2 de janeiro de cada ano. Neste momento ela está a uma distância de 147.100.000 quilômetros do Sol.

Na posição chamada afélio, a Terra está mais afastada do Sol, por volta de 2 de julho de cada ano. Neste momento ela está a uma distância de 152.600.000 quilômetros.

Estas diferenças de distâncias ao Sol mostram que a órbita da Terra não é um círculo e sim uma elipse. Entretanto, a excentricidade desta elipse é de apenas 0,0167, o que mostra que a órbita da Terra é muito próxima a um círculo. O plano da órbita da Terra é o padrão de referência para os planos das órbitas dos outros planetas. Consideramos que o plano da órbita da Terra é o plano da eclíptica e, por ser padrão de referência, sua inclinação é zero. Todas as órbitas dos outros corpos do Sistema Solar estão referidas ao plano de órbita da Terra. Isto é que define as inclinações dos planos das órbitas dos outros planetas.

O nosso planeta gira em torno do Sol com uma velocidade de 29,8 quilômetros por segundo. Dados Essenciais (aproximados) sobre a Terra: distância média ao Sol (órbita) 149.600.000 quilômetros (1,00 U.A.); duração do ano (período de revolução) 365 dias; diâmetro 12756,3 quilômetros; massa 5,972 x 10²⁴ quilogramas.

3.4.6 A rotação da Terra e o seu deslocamento no espaço

No seu equador a Terra tem uma circunferência de cerca de 40.074 quilômetros. Sabendo que uma rotação completa da Terra em torno do seu eixo leva cerca de 23 horas 56 minutos e 04 segundos, podemos calcular a velocidade de rotação de um objeto colocado na superfície da Terra, no seu equador. Dividindo estes dois números obtemos que a superfície da Terra no equador se desloca com uma velocidade de 1674 quilômetros por hora ou 0,46 quilômetros por segundo.

No entanto, à medida que você se move na direção de ambos os pólos, esta velocidade vai diminuindo. Isto é fácil de entender porque a duração do dia permanece a mesma, mas a circunferência da Terra no local onde está o observador, seu círculo de latitude, vai diminuindo até chegar a praticamente zero na região dos pólos. Quanto mais próximo estivermos dos pólos mais a velocidade tende para o valor zero.

3.4.7 O mapeamento da Terra

A Terra, certamente, pode ser estudada sem a ajuda das espaçonaves. Não obstante, somente no século XX é que tivemos mapas do planeta inteiro. As imagens do planeta tomadas a partir do espaço são de considerável importância. Por exemplo, elas são uma enorme ajuda na previsão do tempo e especialmente no acompanhamento e previsão de furacões. Estas imagens são extraordinariamente belas.

3.4.8 A composição química da Terra

A região central da Terra é, provavelmente, composta principalmente de ferro ou de níquel/ferro, embora seja possível que alguns elementos mais leves possam também estar presentes. As temperaturas no centro da região central podem ser tão altas quanto 7.500 Kelvins, mais quentes do que a superfície do Sol. A manta inferior é composta provavelmente na maior parte de silício, magnésio e oxigênio com algum ferro, cálcio e alumínio.

A manta superior é na maior parte olivina e piroxênio (silicatos de ferro/magnésio), cálcio e alumínio. Nós sabemos a maior parte disto somente a partir de técnicas sísmicas. Amostras da manta superior chegam à superfície como lava proveniente de vulcões, mas a maioria da Terra é inacessível. A crosta é formada principalmente de quartzo (dióxido de silício) e outros silicatos como feldspato.

Tomada como um todo, a composição química da Terra, por massa, é a seguinte. Verificar em apêndice 1 a tabela 4.

3.5 Estrutura da Atmosfera da Terra

3.5.1 A atmosfera da Terra é uma fina camada de gases que circunda o nosso planeta.

Ela possui, no total, 480 quilômetros de espessura. No entanto, ela não se distribui homoganeamente e, por conseguinte, podemos dizer que a maior parte da atmosfera da Terra, cerca de 80% dela, está na região situada até 16 quilômetros de altura medidos a partir da superfície do nosso planeta.

Não existe um lugar bem definido onde podemos dizer que a atmosfera da Terra termina. Por ser uma distribuição gasosa, à medida que nos afastamos da superfície do nosso planeta a atmosfera vai se tornando cada vez mais rarefeita até que ela se mistura naturalmente com o espaço interplanetário. Não existe uma borda definida que separe a atmosfera da Terra do meio interplanetário.

Nossa atmosfera tem 78% de nitrogênio, 21% de oxigênio, cerca de 0,9% de argônio, cerca de 0,03% de dióxido de carbono, e água.

3.5.2 A formação da atmosfera da Terra

A atmosfera da Terra foi formada pela remoção de gás do próprio planeta, um processo no qual gases como o dióxido de carbono, vapor de água, dióxido de enxofre e nitrogênio foram liberados do interior da Terra por meio das emissões dos vulcões e por outros processos.

Havia, provavelmente, uma quantidade muitíssimo maior de dióxido de carbono na atmosfera da Terra quando ela foi formada, mas, ao longo do tempo, este dióxido de carbono foi quase todo incorporado nas rochas carbonadas embora uma parte menor dele tenha sido dissolvido nos oceanos e consumido pelas plantas vivas.

As formas de vida existentes da Terra foram modificando a composição da atmosfera durante os seus processos evolutivos. Assim, a tectônica de placas e os processos biológicos que ocorrem na Terra mantém agora um fluxo contínuo de dióxido de carbono retirado da atmosfera para estes vários "sorvedouros" e que mais tarde retorna para ela de novo.

Um ponto muito interessante do ponto de vista químico é a presença de oxigênio livre. O oxigênio é um gás muito reativo e sob circunstâncias "normais" se combina rapidamente com outros elementos. Assim, sabemos que o oxigênio existente na

atmosfera da Terra é produzido e mantido por processos biológicos que ocorrem no nosso planeta. Sem a vida não haveria oxigênio livre.

3.5.3 A temperatura na Terra e o "efeito estufa"

A fina camada gasosa que forma a nossa atmosfera isola a Terra de temperaturas extremas. Ela mantém o calor dentro da atmosfera e também bloqueia a passagem da maior parte da radiação ultravioleta proveniente do Sol, impedindo-a de atingir a superfície terrestre.

A temperatura mais fria até hoje registrada na Terra foi obtida pela sonda Vostok em julho de 1983, no continente Antártico, -88° Celsius. A temperatura mais quente até hoje registrada na Terra foi obtida na Líbia, continente africano, em setembro de 1922, 58° Celsius.

Podemos então dizer que as temperaturas na Terra variam no intervalo entre -88° Celsius e 58° Celsius, o que equivale a um intervalo entre 185 K e 331 K, respectivamente. A pequena quantidade de dióxido de carbono que existe permanentemente na atmosfera da Terra é extremamente importante para a manutenção da temperatura na superfície do nosso planeta via *efeito estufa* (greenhouse effect).

A atmosfera da Terra permite que uma parte da radiação infravermelho incidente sobre a superfície do planeta escape de volta para o espaço. No entanto, parte desta radiação é refletida pelas camadas inferiores da atmosfera de volta para a superfície do planeta. Ocorre então o efeito estufa, que aprisiona calor na atmosfera terrestre.

O efeito estufa eleva a temperatura da superfície da Terra cerca de 35° C acima do que ela teria se ele não existisse. Assim, graças ao efeito estufa a temperatura da Terra vai de um frígido -21° C para um confortável $+14^{\circ}$ C.

Sabemos que sem o efeito estufa os oceanos congelariam e a vida na Terra, tal como a conhecemos, seria impossível.

3.5.4 A pressão atmosférica

No nível do mar a pressão atmosférica é de cerca de 1 atmosfera, mas à medida que você atinge altitudes cada vez maiores a pressão do ar vai diminuindo. Não é preciso ir a altitudes extremamente altas para sentir isto. Por exemplo, se você subir uma montanha com uma altitude de 3000 metros ao chegar ao seu topo a pressão do ar é de 0,6805 atmosferas e haverá bem menos oxigênio para respirar.

3.5.5 A estrutura da atmosfera terrestre

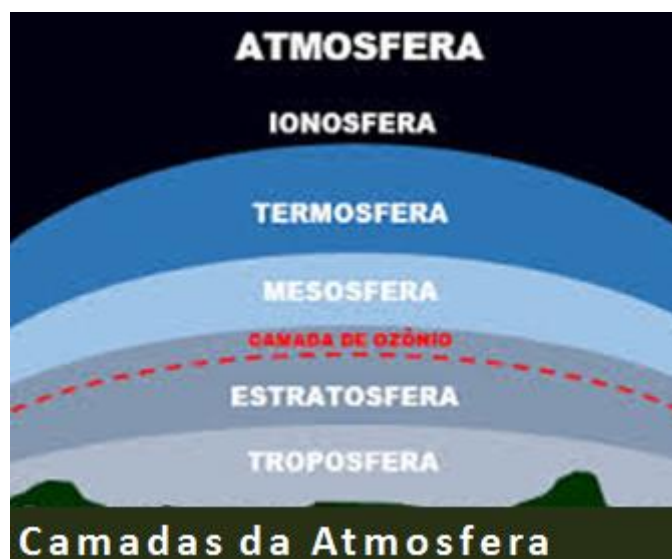


Figura 31 – A estrutura da atmosfera terrestre.

Fonte: <https://blogdoenem.com.br/atmosfera-simulado-enem/>

Camadas da Atmosfera da Terra:

- **Troposfera:** É a região mais baixa da atmosfera da Terra (ou da atmosfera de qualquer planeta). Sobre a Terra ela vai do nível do chão, ou da água, que chamamos de "nível do mar", até, aproximadamente, 17 km de altura. Na troposfera a temperatura geralmente diminui à medida que a altitude aumenta. O clima e as nuvens ocorrem na troposfera.

- **Tropopausa:** É a zona limite, ou camada de transição, entre a troposfera e a estratosfera da atmosfera da Terra. A tropopausa é caracterizada por pouca ou nenhuma mudança na temperatura à medida que a altitude aumenta.

- **Estratosfera:** É a camada atmosférica entre a troposfera e a mesosfera. A estratosfera se caracteriza por um ligeiro aumento de temperatura com o aumento de altitude e pela ausência de nuvens. A estratosfera se estende entre 17 e 50 km acima da superfície da Terra. A camada de ozônio da Terra está localizada na estratosfera. O ozônio, um isótopo do oxigênio, é crucial para a sobrevivência dos seres vivos na Terra. A camada de ozônio absorve uma grande quantidade da radiação ultravioleta proveniente do Sol, impedindo-a de atingir a superfície da Terra. Somente as nuvens mais altas, os cirrus, cirroestratus e cirrocumulos, estão na estratosfera inferior.

- **Mesosfera:** É a camada atmosférica entre a estratosfera e a ionosfera. A mesosfera é caracterizada por temperaturas que rapidamente diminuem à medida que a altitude aumenta. A mesosfera se estende entre 17 a 80 km acima da superfície da Terra.

- **Ionosfera:** É uma das camadas mais altas da atmosfera da Terra. A ionosfera começa a cerca de 70-80 km de altura e continua por centenas de quilômetros, até cerca de 640 km. Ela contém muitos íons e elétrons livres (plasma). Os íons são criados quando a luz do Sol atinge os átomos e arranca alguns elétrons. A ionosfera está localizada entre a mesosfera e a exosfera. Ela é parte da termosfera. As auroras ocorrem na ionosfera.

- **Exosfera:** É a camada mais externa da atmosfera da Terra. A exosfera vai de aproximadamente 640 km de altura até cerca de 1280 km. A camada mais inferior da exosfera é chamada de "nível crítico de escape", onde a pressão atmosférica é muito baixa, uma vez que os átomos do gás estão muito amplamente espaçados, e a temperatura é muito baixa.

- **Termosfera:** É uma classificação térmica. Ela é a camada da atmosfera localizada entre a mesosfera e o espaço exterior. Na termosfera a temperatura aumenta com a altitude. A termosfera inclui a exosfera e parte da ionosfera.

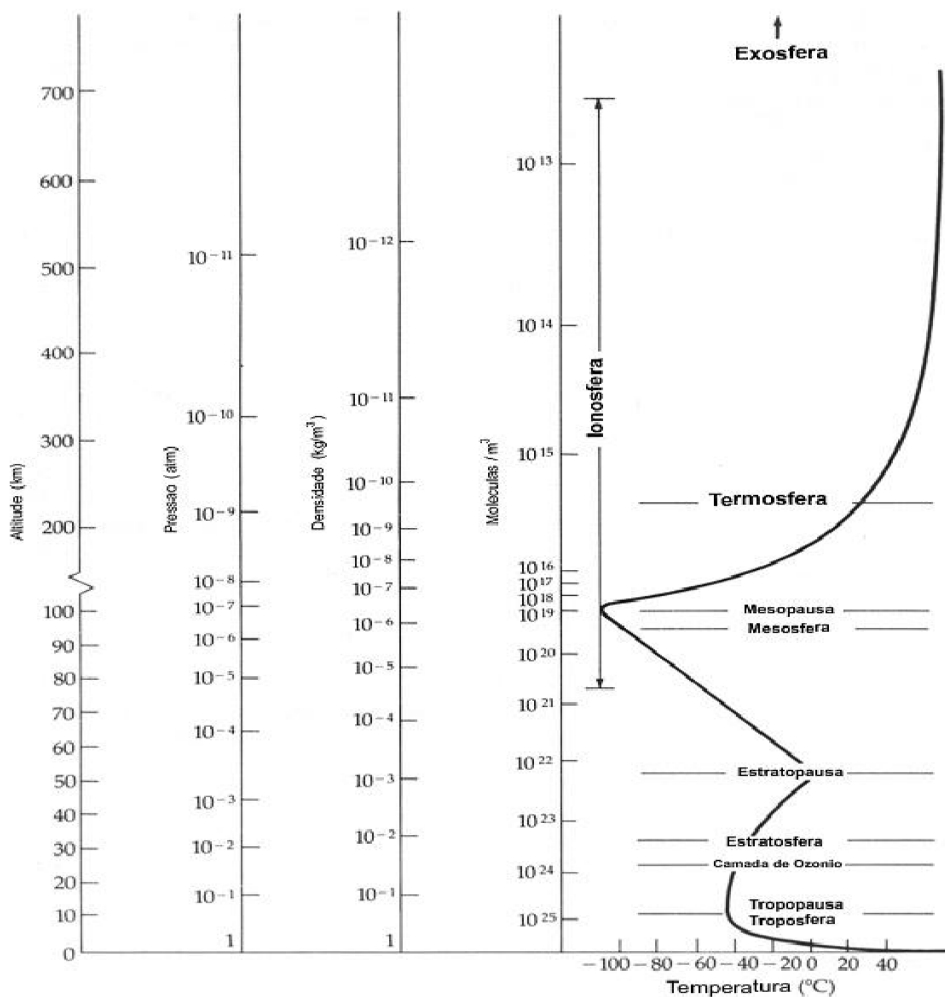


Gráfico 3 - Variação de Temperaturas na atmosfera. Fonte: Adaptada de diversos sites.

3.6 Atividades Solares e Seus Efeitos na Terra

Durante os períodos de atividade solar intensa, o Sol costuma lançar quantidades impressionantes de matéria no espaço. São fluxos de gases excitados que saem do Sol e podem atingir a Terra com velocidades superiores a 500 quilômetros por segundo. É o chamado “vento solar”.

Além desse material, as erupções solares emitem raios-X e radiação ultravioleta que aquecem as camadas superiores da atmosfera terrestre. A interação entre o vento solar e o campo magnético da Terra ocasiona as chamadas “tempestades geomagnéticas”. Quando isso acontece, a radiação afeta os equipamentos eletrônicos dos satélites, prejudicando as comunicações. Os próprios satélites podem ser danificados ou perdidos. As camadas superiores da atmosfera se aquecem e se expandem e podem atingir a altura de um satélite. O atrito pode, então, desacelerar o satélite e modificar sua órbita. Em caso de ventos solares muito intensos, astronautas em órbita correm risco de vida se forem expostos à radiação. Até passageiros de aviões sofrem algum risco. Se o vento solar for muito intenso, eles podem receber uma dose de radiação equivalente a um raio-X médico.

Em 2003 atravessamos um período de atividade solar relativamente intenso. A fotografia abaixo mostra uma gigantesca erupção ocorrida no dia 28 de outubro de 2003 lançando grande quantidade de material que atingiu a Terra no dia seguinte.

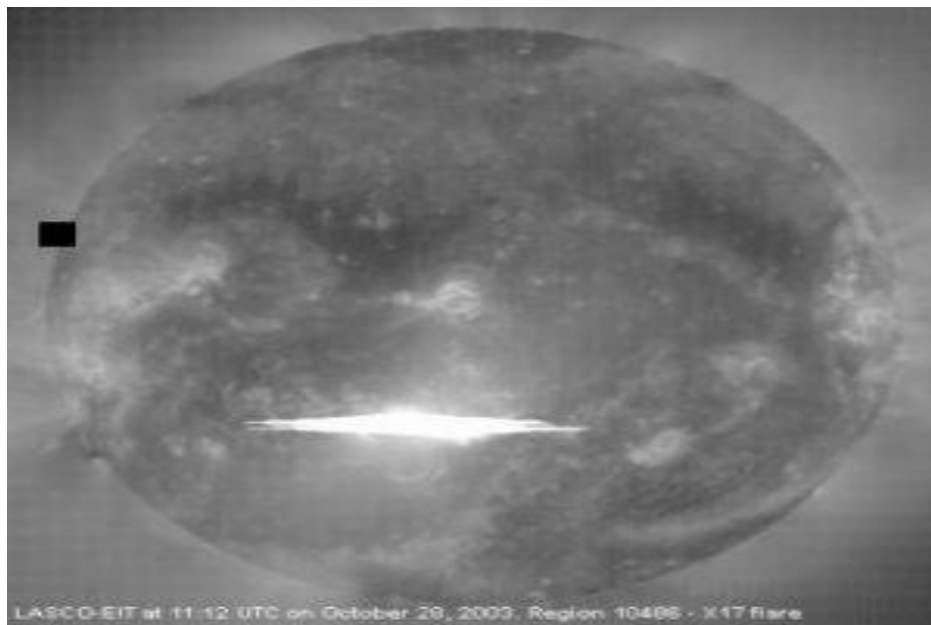


Figura 32- Erupção ocorrida no dia 28 de outubro de 2003 LASCO-EIT Region 10406- X17 Fonte: <https://seara.ufc.br/pt/secoes-especiais-de-ciencia-e-tecnologia/secoes-especiais-fisica/a-atividade-solar/>

Nem todos os efeitos da atividade solar são nocivos. Um deles, belo e espetacular, são as auroras boreais, luzes coloridas que surgem nos céus de regiões relativamente próximas do pólo norte. Normalmente, as auroras boreais são esverdeadas, pois os átomos de oxigênio das altas camadas atmosféricas emitem luz verde, ao serem excitados pelos elétrons de alta velocidade do vento solar.

Quando as tempestades são fortes, as camadas mais baixas da atmosfera são atingidas pelo vento solar e a aurora boreal pode ser vermelha, cor da luz emitida por átomos excitados de nitrogênio, outro constituinte de nossa atmosfera. Além disso, nesse caso, as auroras boreais podem ser vistas mesmo em latitudes bem menores. As auroras provocadas por uma tempestade magnética que ocorreu em abril de 2000 foram vistas até na Flórida!

A foto abaixo foi tirada nesta data pelo astrônomo tcheco Jan Safar, do Observatório de Brno. Ela mostra a aurora vista no céu do Observatório que fica a 48 graus de latitude norte.



Figura 33 - Aurora vista no céu do Observatório que fica a 48 graus de latitude norte. Fonte: <https://seara.ufc.br/pt/secoes-especiais-de-ciencia-e-tecnologia/secoes-especiais-fisica/a-atividade-solar/>

Por causa dos efeitos nocivos das tempestades geomagnéticas, os cientistas procuram formas de preveni-las com antecedência, dando tempo para que providências sejam tomadas. Esse será o assunto do capítulo seguinte.

3.4 Efeitos da Atividade Solar na Magnetosfera

Uma das maiores contribuições das ciências espaciais para a astrofísica do sistema solar foi a descoberta da estrutura complexa da magnetosfera da Terra. Entre outros fenômenos hoje sabemos que o formato alongado das magnetosferas dos planetas é causado pelo vento solar.

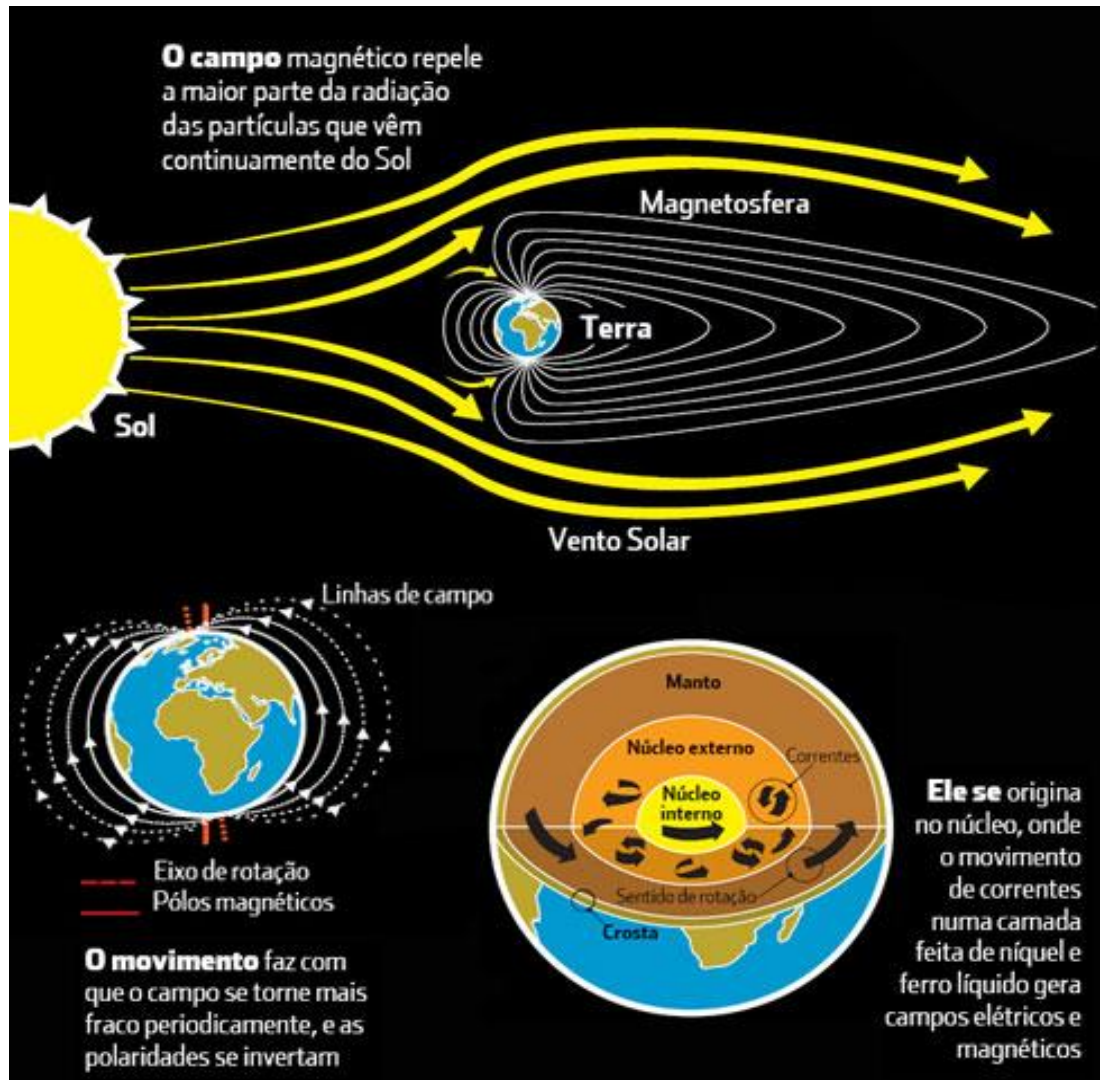


Figura 34 – Efeito dos ventos solares na magnetosfera e dipolos terrestres. Fonte:

<https://telescopio.com.br/magnetosfera-o-escudo-magnetico-da-terra>

A magnetosfera da terra contém várias regiões de grande escala, que variam em termos de composição, energética e densidade dos plasmas que as ocupam. As fontes de plasma que povoam essas regiões são o vento solar e a ionosfera terrestre. As contribuições relativas dessas duas fontes variam de acordo com o nível de atividades geomagnéticas. O movimento de partículas carregadas em espelhos magnéticos, como é o caso da magnetosfera, é governado pela orbita ciclônicas das partículas e pelos movimentos de deriva associados ao gradiente e a curvatura do campo magnético. A

condição para a reflexão das partículas nas cúspides magnéticas é determinada pelos exemplos de fluxo magnético da dinâmica das partículas confinadas no espelho magnético.

As Auroras Boreais ocorrem ao mesmo tempo nas cúspides magnéticas nas regiões polares da Terra elas são formadas por partículas do plasma que escapam do confinamento do espelho magnético. O magnetismo do planeta se comporta como um escudo protetor contra partículas nocivas emitidas pelo Sol, além de proteger de parte da radiação cósmica, que de outra forma incidiria sobre a superfície, fazendo com que a Terra se tornasse um ambiente pouco hospitaleiro à vida. Acredita-se que o efeito seja gerado pela rotação do material pastoso que compõem a região mais externa do núcleo do planeta, que passa a atuar como um ímã gigante. Mas a dinâmica dessa polarização ainda não é muito conhecida. O polo magnético não fica exatamente no mesmo lugar do pólo geográfico. Curiosamente, por mecanismos ainda não entendidos, de tempos em tempos os polos se invertem.

CAPÍTULO 4. CLIMA ESPACIAL E SUAS CONSEQUÊNCIAS PARA O PLANETA

Dentre as diversas situações que podemos ter providos de fenômenos vindos das ejeções de massa coronal dentre os mais bonitos como as auroras boreais por exemplo, existem diversas situações problemáticas que podem ocorrer no sistema solar como um todo, mas para nosso planeta temos alguns registros de desastres que ocasionaram perdas para nossa tecnologia exemplo o desastre de Carrington em 1859. É uma das grandes preocupações hoje seria a perda ou queda da internet provida de uma CME. Mesmo se tendo como estimar ou criar algoritmos para prever as ejeções ainda não contamos com um sistema no qual possamos realizar um desligamento de toda a rede para evitar danos severos (opinião pessoal).

Na sexta-feira dia (18/02/2022) a agência espacial europeia (ESA) anunciou que sua espaçonave Solar Orbiter registrou a erupção da maior “proeminência solar” já vista em uma única imagem do disco solar inteiro. As proeminências solares são grandes estruturas de linhas de campo magnético emaranhadas que mantêm densas concentrações de plasma solar suspensas acima da superfície do Sol, às vezes assumindo a forma de arcos. Eles são frequentemente associados a ejeções de massa coronal, que, se direcionadas para a Terra, podem causar estragos em nossa tecnologia e vidas cotidianas.

O evento ocorreu em 15 de fevereiro e estendeu-se por milhões de quilômetros no espaço. Felizmente, a ejeção de massa coronal não foi direcionada à Terra. Na verdade, está viajando para longe de nós. Não há assinatura da erupção na região do disco solar voltada para a espaçonave – que atualmente está se aproximando da linha Terra-Sol – o que significa que ela deve ter se originado do lado do Sol voltado para longe de nós.



Figura 35 – Composição lado-a-lado de imagens captadas pelo instrumento Full Sun Imager (FSI) do Solar Orbiter (à esquerda) e pelo instrumento LASCO C2 do SOHO (à direita). Imagens: Solar Orbiter/EUI and SOHO/LASCO teams, ESA & NASA. Fonte: <https://olhardigital.com.br/2022/02/19/ciencia-e-espaco/erupcao-solar-gigantesca-e-registrada-por-espaconave-europeia/>

As imagens foram captadas pelo instrumento “Full Sun Imager” (FSI), parte do “Extreme Ultraviolet Imager” (EUI) no Solar Orbiter. O FSI foi projetado para observar o disco solar completo, mesmo durante passagens próximas à nossa estrela. Outros telescópios espaciais, como o satélite SOHO operado em conjunto pela ESA e Nasa, frequentemente veem atividade solar como esta, mas mais perto do Sol ou mais longe por meio de um ocultador, que bloqueia o brilho do disco do Sol para permitir imagens detalhadas da coroa em si.

Assim, a proeminência observada pelo Solar Orbiter é o maior evento do gênero já capturado em um único campo de visão junto com o disco solar, abrindo novas possibilidades para ver como eventos como estes se conectam ao disco solar pela primeira vez. A erupção foi tão intensa que mesmo naves espaciais não dedicadas à ciência solar sentiram sua força. A missão BepiColombo, operada em conjunto pela ESA e Jaxa (agência espacial japonesa) e atualmente nas proximidades da órbita de Mercúrio, detectaram com seu monitor de radiação um aumento maciço nas leituras de elétrons, prótons e íons pesados. Embora esse evento não tenha enviado uma explosão de partículas mortais em direção à Terra, é um lembrete importante da natureza imprevisível do Sol e da importância de entender e monitorar seu comportamento. Espaçonaves como o Solar Orbiter, SOHO e a futura missão meteorológica espacial Vigil, da ESA, que fornecerá vistas únicas de eventos como estes, podem nos ajudar a proteger melhor o nosso planeta natal das explosões violentas do Sol.

Além de causar problemas para nossa tecnologia, eles podem causar danos aos astronautas que trabalham na Estação Espacial Internacional, seja por exposição à radiação ou interferindo nas comunicações de controle da missão. O campo magnético da Terra ajuda a nos proteger das consequências mais extremas das explosões solares. Explosões solares mais fracas são responsáveis por auroras como a aurora boreal. Essas exibições de luz natural são exemplos da magnetosfera da Terra sendo bombardeada pelo vento solar, o que cria as exibições verdes e azuis brilhantes. O sol está atualmente no início de um novo ciclo solar de 11 anos, que geralmente vê erupções e erupções se tornarem mais intensas e extremas.

O que sabemos dessas erupções? No ano de 2021 foi um ano de bastante atividade dos ventos solares, no dia 28 de outubro de 2021 quinta-feira, uma erupção vinda do Sol lançou partículas carregadas em direção à Terra, causando um blecaute temporário em sistemas de rádio da América do Sul, informou o Centro de Previsão do Clima Espacial (SWPC, na sigla em inglês), nos Estados Unidos. Mas as consequências do fenômeno não param por aí: ele poderá causar tempestades solares entre sexta-feira dia 29 de outubro de 2021 e domingo 31 de outubro de 2021, segundo o site SpaceWeather.

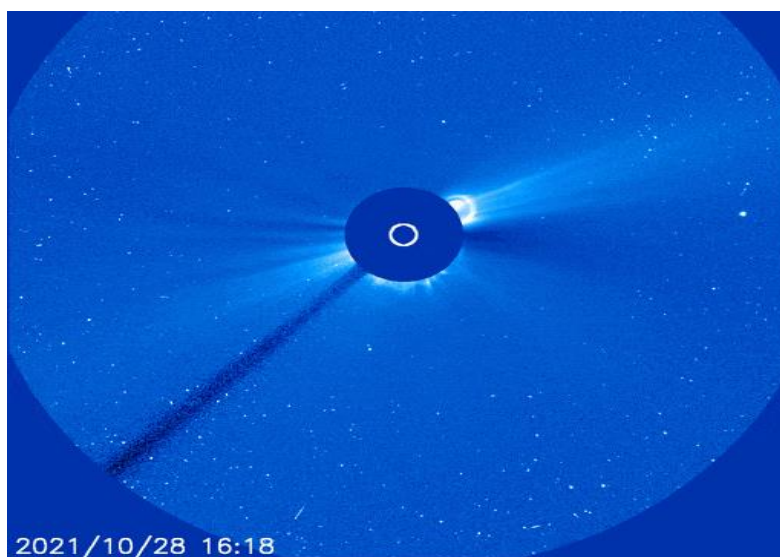


Figura 36 –A sonda Solar and Heliospheric Observatory (SOHO), da ESA e Nasa, registrou a ejeção de massa coronal (CME) durante a erupção solar. Fonte:

<https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/Espaco/noticia/2021/10/tempestades-solares-podem-atingir-terra-neste-fim-de-semana-entenda.html>

“A explosão de partículas que está por vir poderá reforçar o surgimento de auroras e interferir em sistemas de comunicação por satélite, de acordo com o

site *Space.com*". Essa tempestade é uma das mais fortes do atual ciclo de 11 anos de atividade solar, e foi classificada na classe X1, o tipo mais poderoso de erupção do Sol. "A classe G denota as chamas mais intensas, enquanto o número fornece informações sobre sua força", explica a Nasa, em comunicado. "Um G2 é duas vezes mais intenso que um G1, um G3 é três vezes mais intenso etc. Erupções classificadas como G10 ou mais fortes são consideradas incomumente intensas".

Dados da sonda Solar and Heliospheric Observatory (SOHO), lançada para estudar o Sol em dezembro de 1995, mostraram ainda que a recente erupção foi acompanhada por uma ejeção de massa coronal (CME) que saiu da estrela a uma velocidade de mais de 2,8 milhões de quilômetros por hora.

Nessa ejeção, uma grande quantidade de plasma e parte do campo magnético foram expulsos da coroa do Sol – a atmosfera que cerca a estrela e é visível durante os eclipses solares. No caso, o acontecimento partiu da mancha solar chamada AR288, de onde foi gerada a erupção de classe G1.

Uma tsunami de plasma então atingiu o disco solar por inteiro, alcançando uma altura de 100 mil quilômetros e se movendo pela atmosfera do Sol a 700 quilômetros por hora. Assim como nas praias da Terra, o fenômeno ocorreu em “ondas” – as ondas de Moreton, isto é, levadas de plasma que anunciam uma CME.

A questão é que os efeitos da mancha solar AR288 ainda continuam. A Administração Oceânica e Atmosférica Nacional (NOAA), dos Estados Unidos, estima haver 60% de chance de que erupções solares mais moderadas, de classe M, ocorram entre esta sexta-feira (29) e sábado (30). Já a possibilidade de uma erupção do tipo X é de 25% nesse período. É possível também que a CME atinja o campo magnético da Terra, gerando uma tempestade solar de categoria G3, que poderá pintar o céu com auroras visíveis a olho nu nos estados norte-americanos de Illinois e Oregon, assim como em regiões de latitudes um pouco mais baixas que essas localidades. Também é possível que até o domingo de Halloween (31) ainda persistam algumas erupções mais fracas, do tipo G1 e G2.

Ressaltando que não apenas os ventos solares têm escalas como dito anteriormente, mas as manchas solares da mesma forma como apresentado a seguir:

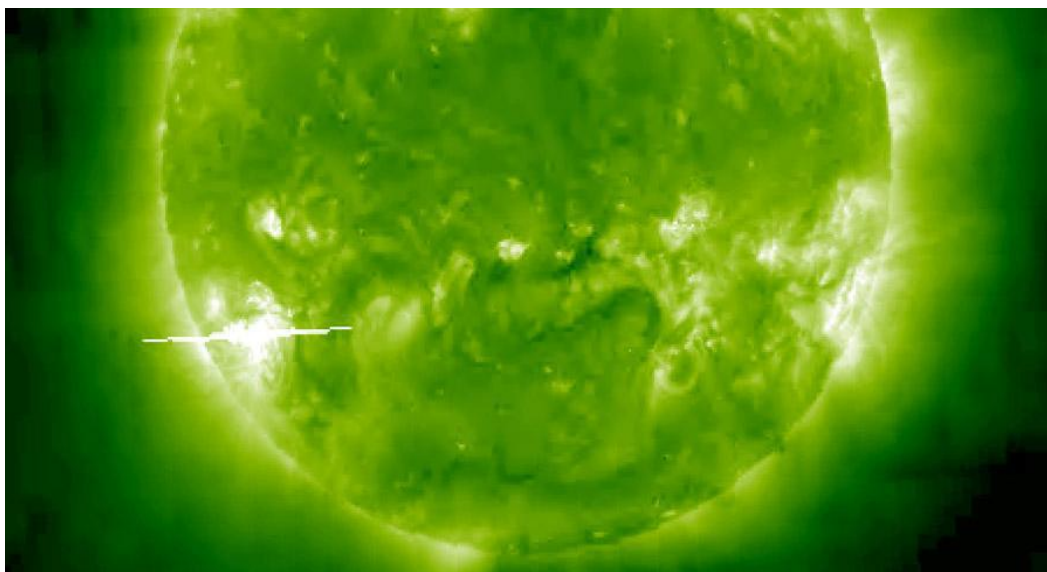


Figura 37 – Uma erupção solar X1.1 (R3-strong) foi observada no membro sudeste. A erupção foi bastante impulsiva e atingiu o pico às 13:25 UTC. Fonte: <https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/Espaco/noticia/2021/10/tempestades-solares-podem-atingir-terra-neste-fim-de-semana-entenda.html>

Esta região também foi responsável por uma explosão solar M1.3 às 07:52 UTC, mas este também foi um evento impulsivo, assim como o X-flare. Ambos os eventos não foram eruptivos e nenhuma ejeção de massa coronal foi lançada no espaço. Esta atividade originária do membro sudeste pode sinalizar o retorno da antiga região de manchas solares 2992. Mais atividade das classes M e X é possível à medida que esta nova região gira em direção ao disco solar voltado para a Terra.

4.1 Sondas Espaciais, Sites e Aplicativos

4.1.1 Sobre o EMBRACE

Os efeitos do Clima Espacial afetam a sociedade de várias maneiras, nesse sentido, o Programa EMBRACE/INPE disponibiliza este App que coloca na sua mão as informações publicadas no Portal Embrace e seus alertas. Neste App você tem acesso ao nível das Tempestades Geomagnéticas (de G1-Fraco a G5-Extremo), os quais podem gerar correntes induzidas em linhas de transmissão de energia elétrica causando sobrecargas e produzindo apagões. Ele também mostra o gráfico com a ocorrência de Explosões Solares (de R1-Fraco a R5-Extremo), as quais podem interromper comunicações em rádio (transmissões de sinais de televisão, comunicação de aeronaves e transmissões de celulares), além de reduzir a precisão do sistema de GNSS (Global Navigation Satellite System). Também é possível acessar no App as últimas notícias a

respeito do assunto e ler os boletins diários sobre as condições do tempo no espaço, publicado por especialistas na área.

4.1.2 Coleta e uso das informações

O aplicativo do programa EMBRACE poderá solicitar informações pessoais do usuário durante o processo de cadastro. O usuário se responsabiliza pela veracidade dos dados informados e reconhece a consistência destes.

Os registros de navegação poderão ser obtidos através de cookies. Informações gerais de como o serviço foi utilizado, como o endereço IP, a plataforma computacional, idioma, dados georreferenciados, páginas de entradas e saídas poderão ser coletadas e armazenadas para fins de estatísticas de uso.

4.1.3 Compartilhamento das informações com terceiros

O programa EMBRACE não compartilha as informações procedidas pelo usuário para terceiros, mantendo o sigilo dos dados cadastrais e dos demais dados confidenciais coletados, exceto quando houver autorização expressa pelo usuário, por força de lei ou ordem judicial.

4.1.4 Condutas dos usuários

O usuário se responsabiliza pela precisão e veracidade dos dados informados e não poderá utilizar o aplicativo com o objetivo de disponibilizar comentários ou conteúdo ofensivo ou ilícito, sendo o usuário responsável por todo e qualquer conteúdo por ele carregado, enviado e/ou transmitido. O usuário é responsável pela guarda, sigilo e boa utilização do login e senhas cadastrados ao aplicativo. O usuário se compromete a notificar o programa EMBRACE imediatamente, por meio seguro, a respeito de qualquer uso não autorizado de sua conta, bem como o acesso não autorizado por terceiros a esta.

A Solar and Heliospheric Observatory é uma sonda espacial não-tripulada da Agência Espacial Europeia e da NASA. Foi lançada em dezembro de 1995, com a finalidade de estudar o Sol. Data de lançamento: 2 de dezembro de 1995 6:08
Fabricante: Matra Marconi Space. Custo: 1 bilhão EUR; Local de lançamento: Cape Canaveral Launch Complex 36; Veículo de lançamento: Atlas IIAS; Massa: 1850 kg

Por sua vez, Solar Dynamics Observatory é uma sonda não-tripulada da NASA que estuda processos do Sol que afetam diretamente a vida na Terra, e cujo lançamento ocorreu de Cabo Canaveral em 11 de fevereiro de 2010. Data de lançamento: 11 de

fevereiro de 2010; Altura da órbita: 36.000 km; Velocidade em órbita: 3,075 km/s; Potência: 1.450 watts; Custo: 817 milhões USD. Local de lançamento: Cabo Canaveral, Flórida, Estados Unidos, Fabricantes: Universidade do Colorado em Boulder, United Launch Alliance.

O satélite Fengyun-3 E conta com 11 instrumentos de sensoriamento remoto, sendo que 10 deles já foram ligados com sucesso até o momento. Assim, o material publicado inclui imagens feitas por diversos instrumentos do satélite, como fotos na luz ultravioleta extrema, animações e raios X de fina intensidade espectral. O gerador de imagens ultravioleta no satélite é o primeiro telescópio solar espacial da China, e é também o primeiro instrumento internacional que gera imagens do Sol em raios X e luz ultravioleta.

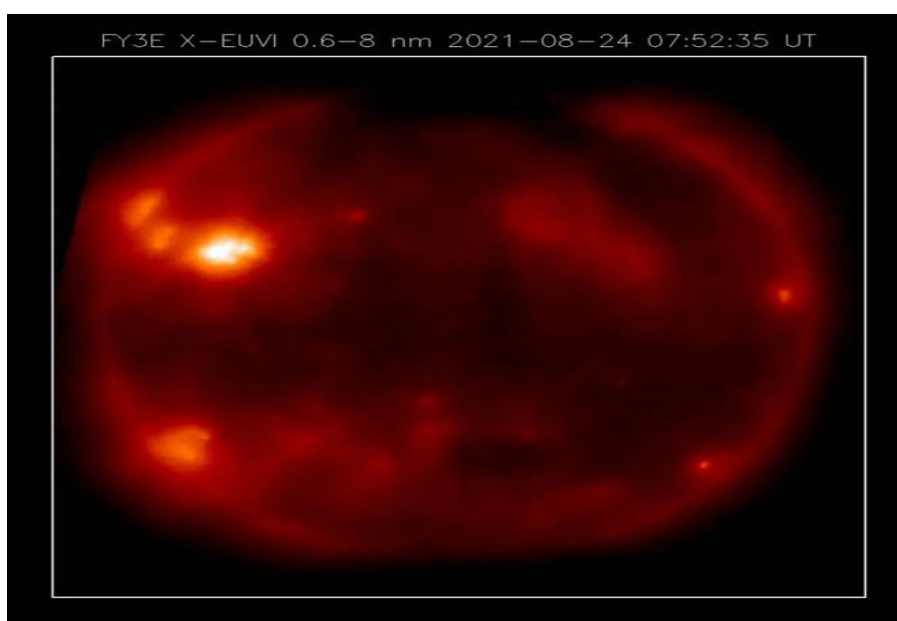


Figura 38 - Imagem do Sol em raios X feita pelo satélite. Fonte: Reprodução/CMA.

A revista Galileu noticiou que a Nasa estava lançando no espaço um satélite capaz de fazer imagens 3D do Sol com qualidade Imax. A boa notícia é que, enquanto você espera para ver se esse filme chegará aos cinemas, poderá ter as imagens em seu iPhone. A Agência Espacial norte americana desenvolveu um aplicativo gratuito disponível na Apple Store chamado “3D Sun”. Com ele, o usuário consegue acessar imagens da estrela em tempo real diretamente do seu celular. É possível voar ao redor do astro, dar zoom em áreas específicas e monitorar a atividade solar. E, como o nome revela, tudo em três dimensões.

Duas espaçonaves do Observatório de Relações Solar-Terrestre (Stereo, na sigla em inglês) abastecem o programa. Juntas, elas têm a visão de 87% da superfície do Sol. Seus telescópios estão na região eletromagnética de extremo ultravioleta, o que influencia na cor da transmissão. “É por isso que o sol aparece em um falso verde”, explica Lika Guhathakurta, cientista que trabalha na programação da Stereo. Toda vez que acontece alguma erupção solar, o iPhone avisa com um alerta. Para ilustrar como o programa pode ser divertido, o site da NASA conta a história de um alerta recente. Os usuários foram avisados de que um cometa se aproximava do Sol e puderam ver o momento em que ele foi destruído pelo calor solar.

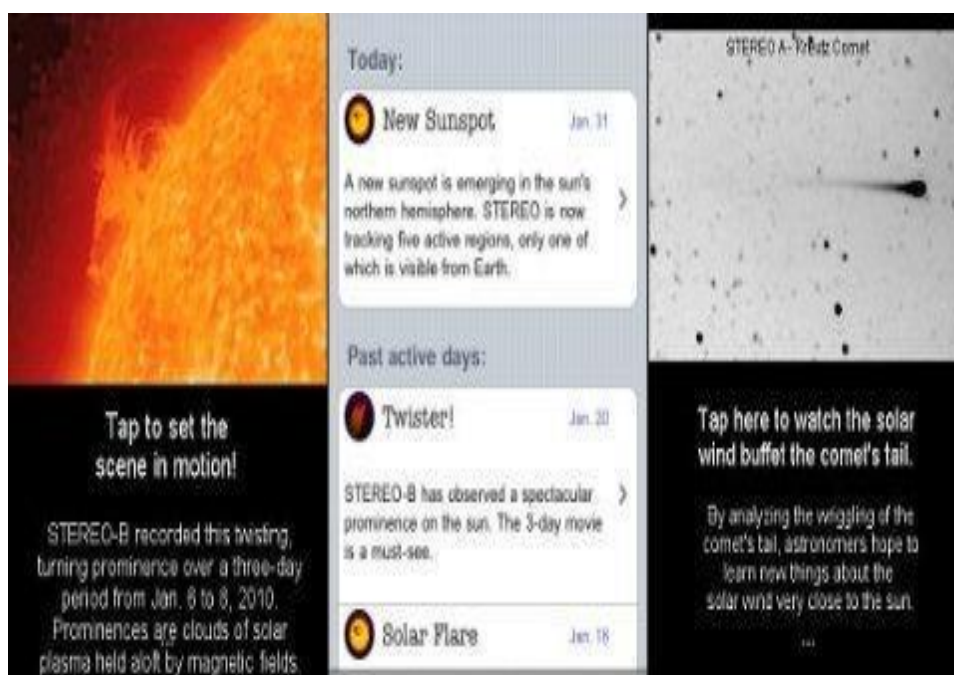


Figura 39 – ilustração da imagem do aplicativo 3D Sun.

Fonte: <https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=programa-nasa-sol-3d-vivo-celular-iphone&id=010150100223#.YpU74yjMLIU>

O aplicativo em funcionamento. Da direita para a esquerda: uma explosão capturada pelo Stereo, um exemplo do resumo de notícias diário, e o filme do movimento de cometa.

CAPÍTULO 5. CLIMA ESPACIAL NO ENSINO MÉDIO

Hoje o Clima Espacial não está diretamente ligado ao cotidiano acadêmico, não existe conteúdo específico para sua abordagem no Ensino Básico, quando aplicado em sala de aula, normalmente é tratado com relação a outros temas para maior clareza para os alunos. Desse modo a seguir apresento algumas modificações ocorridas na estrutura da educação que facilitam a abordagem para tal situação e posteriormente as atividades desenvolvidas e resultados esperados.

5.1 Parâmetros da BNCC

Com o início do Novo Ensino Médio pode-se levar aos conhecimentos dos alunos novos conteúdos que antes não seriam possíveis devido a estar engessado com o currículo. Já com as novas competências da Bncc no quadro específico 2 que abordam “construir e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar decisões éticas e responsáveis.

Ao reconhecerem que os processos de transformação e evolução permeiam a natureza e ocorrem das moléculas às estrelas em diferentes escalas de tempo, os estudantes têm a oportunidade de elaborar reflexões que situem a humanidade e o planeta Terra na história do Universo, bem como inteirar-se da evolução histórica dos conceitos e das diferentes interpretações e controvérsias envolvidas nessa construção.

Da mesma forma, entender a vida em sua diversidade de formas e níveis de organização permite aos estudantes atribuir importância à natureza e seus recursos, reconhecendo a imprevisibilidade de fenômenos e os limites das explicações e do próprio conhecimento científico. Para isso, nessa competência específica, podem ser mobilizados conhecimentos relacionados a: origem da Vida; evolução biológica; registro fóssil; exobiologia; biodiversidade; origem e extinção de espécies; políticas ambientais; biomoléculas; organização celular; órgãos e sistemas; organismos; populações; ecossistemas; cadeias alimentares; respiração celular; fotossíntese; reprodução e hereditariedade; genética mendeliana; processos epidemiológicos; espectro eletromagnético; modelos cosmológicos; astronomia; gravitação; mecânica newtoniana; previsão do tempo; entre outros.” E assim trabalhar as habilidades específicas dentro de uma eletiva ou uma trilha despertando novos conceitos para o campo do universo.

5.2 Proposta de Conteúdo Básico de Acordo com Novo Ensino Médio

O novo Ensino Médio. Esta obra foi elaborada em conformidade com o novo modelo de ensino em nosso país. Em síntese, as transformações propostas para essa etapa da Educação Básica resultam da ampla discussão que se intensificou a partir de 2017 e englobam: valorização da aprendizagem pela ampliação da carga horária de estudos, flexibilização do currículo, foco no estudante e em seu desenvolvimento integral e adoção de práticas escolares mais dinâmicas e interativas, que respondam às necessidades de aprendizagem do século XXI.

Preocupações contemporâneas relacionadas à saúde, trabalho, educação, cultura, há recursos naturais, entre outras apontam que os jovens precisam ampliar e atualizar seus conhecimentos científicos, técnicos e tecnológicos e desenvolver novas habilidades e competências que harmonizem com essas demandas sociais, ambientais e econômicas da realidade. Diante desse panorama, o Plano Nacional de Educação (PNE), instituído pela Lei n. 13,005/20 determinou diretrizes, metas e estratégias para a educação brasileira, que devem ser cumpridas entre 2014 e 2024. A reforma do Ensino Médio e a implementação da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) são medidas para o cumprimento dessas metas, buscando outros caminhos para o segmento.

Essas buscas de novos caminhos têm como documentos orientadores, em especial a lei n. 13.415/2017, que altera a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB - instituída pela Lei n. 9.394/1996), as Diretrizes Curriculares Nacionais do Ensino Médio (DCNEM), a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e os Referenciais Curriculares para Elaboração de Itinerários Formativos. As finalidades do Ensino Médio orientam esse processo e continuam sendo as estabelecidas pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB, Art. 35), há mais vinte anos, desde 1996:

Art. 35. O ensino médio, etapa final da educação básica, com duração mínima de três anos, terá como finalidades:

I - a consolidação e o aprofundamento dos conhecimentos adquiridos no ensino fundamental, possibilitando o prosseguimento de estudos;

II - a preparação básica para o trabalho e a cidadania do educando, para continuar aprendendo, de modo a ser capaz de se adaptar com flexibilidade a novas condições de ocupação ou aperfeiçoamento posteriores;

III - o aprimoramento do educando como pessoa humana, incluindo a formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico;

IV - a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina.

BRASIL Lei n 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional Diária Oficial da União, Brasília, 23 de dezembro de 1996. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil/03/leis/L9394.htm>. Acesso em: 6 ago 2020.

A carga horária anual dos estudantes passa de 800 horas para 1000 horas. E além de compreender essas mudanças, o novo Ensino Médio precisa ser estudado em suas modificações estruturais, principalmente aquelas que devem capacitar o jovem para as transformações sociais em que a protagonista dele em sua própria formação deve ser destacado.

A nova proposta de organização curricular estabelece direitos de aprendizagens e desenvolvimento a todos os estudantes da nação e aponta para percursos específicos de formação, os itinerários formativos:

Art. 36 O currículo do ensino médio será composto pela Base Nacional Comum Curricular e por itinerários formativos, que deverão ser organizados por meio da oferta de diferentes arranjos curriculares, conforme a relevância para o contexto local e a possibilidade dos sistemas de ensino, a saber:

- I - linguagens e suas tecnologias,
- II - matemática e suas tecnologias;
- III - ciências da natureza e suas tecnologias;
- IV - ciências humanas e sociais aplicadas,
- V - formação técnica e profissional.

BRASIL Lei 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional Diário Oficial da União, Brasília, 23 de dezembro de 1996. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil/03/leis/L9104.htm>. Acesso em 6 ago. 2020.

No novo Ensino Médio, o estudante influencia boa parte do currículo, pois há uma flexibilização e não mais uma trajetória única para todos. O conjunto de disciplinas, projetos e outras situações de trabalho que os estudantes poderão escolher passa a ser chamado de itinerário formativo. Neles, as aprendizagens organizam-se em áreas de conhecimento: Linguagens e suas Tecnologias; Matemática e suas Tecnologias; Ciências da Natureza e suas Tecnologias e Ciências Humanas e Sociais Aplicadas; e Formação Técnica e Profissional. A comunidade escolar influencia a oferta dos itinerários

formativos, considerando desejos e necessidades dos estudantes. Mesmo com essa flexibilidade, algumas disciplinas continuam fazendo parte de um currículo obrigatório para todo o país. Língua Portuguesa e Matemática, como ocorre atualmente, continuam obrigatórias nos três anos do Ensino Médio. Embora o jovem siga aprendendo sobre todas as disciplinas, pois elas estão contempladas nas habilidades e nas competências da BNCC, tal organização do segmento por áreas de conhecimento estimula novos formatos de aula e incentiva novas formas de atuação do docente e de organização escolar, uma vez que conectam conhecimentos e professores de diferentes áreas e possibilitam práticas escolares mais dinâmicas e interativas.

Conforme a BNCC, uma educação integral tem o compromisso com a formação e o desenvolvimento humano global do estudante em suas dimensões indissociáveis: intelectual, física, afetiva, social, ética, moral e simbólica. Com essa perspectiva, o novo Ensino Médio propõe a formação de cidadãos responsáveis, críticos e autônomos, que tomam a frente das decisões que conduzirão a vida na sociedade. Ainda a proposta do novo Ensino Médio prenuncia o aumento progressivo da oferta de escolas em tempo integral. Merece destaque o fato de que, ao fim de sua formação básica, os estudantes poderão ter diploma de Ensino Médio e também diploma de Ensino Técnico, pois poderão optar por uma formação profissional e técnica dentro da carga horária do Ensino Médio,

As competências gerais e as competências específicas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias na BNCC:

1. Valorizar e utilizar os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, social, cultural e digital para entender e explicar a realidade, continuar aprendendo e colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva.

2. Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções inclusive tecnológicas com base nos conhecimentos das diferentes áreas.

3. Valorizar e fruir as diversas manifestações artísticas e culturais, das locais às mundiais, também participar de práticas diversificadas da produção artístico-cultural.

4. Utilizar diferentes linguagens-verbal (oral ou visual-motora, como Libras, e escrita, corporal, visual, sonora e digital-, bem como conhecimentos das linguagens artística, matemática e científica, para se expressar e partilhar informações, experiências,

ideias e sentimentos e diferentes contextos e produzir sentidos que levem ao entendimento mútuo.

5. Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva.

6. Valorizar a diversidade de saberes e vivências culturais e apropriar-se de conhecimentos e experiências que lhe possibilitem entender as relações próprias do mundo do trabalho e fazer escolhas alinhadas ao exercício da cidadania e ao seu projeto de vida, com liberdade, autonomia, consciência crítica e responsabilidade.

7. Argumentar com base em fatos, dados e informações confiáveis, para formular, negociar e defender ideias, pontos de vista e decisões comuns que respeitem e promovam os direitos humanos, a consciência socioambiental e o consumo responsável em âmbito local, regional e global com posicionamento ético em relação ao cuidado de si mesmo, dos outros e do planeta.

8. Conhecer-se, apreciar-se e cuidar de sua saúde física e emocional, compreendendo-se na diversidade humana e reconhecendo suas emoções e as dos outros, com autocrítica e capacidade para lidar com elas.

9. Exercitar a empatia, o diálogo, a resolução de conflitos e a cooperação, fazendo-se respeitar e promovendo o respeito ao outro e aos direitos humanos, com acolhimento e valorização da diversidade de indivíduos e de grupos sociais, seus saberes, identidades, culturas e potencialidades, sem preconceitos de qualquer natureza.

10. Agir pessoal e coletivamente com autonomia, responsabilidade, flexibilidade, resiliência e determinação, tomando decisões com base em princípios éticos, democráticos, inclusivos, sustentáveis e solidários.

BRASIL Ministério da Educação Base Nacional Comum Curricular Brasília, DF 2018 p 9, 10.

5.3- Atividades Desenvolvidas e Resultados Esperados

Primeiramente após avaliar o conhecimento dos alunos com questionários diversificados com perguntas referentes ao estudo do Clima Espacial no Ensino Médio. A proposta da aplicação inicial, foi definida como parte teórica, a interação com experimentos lúdicos adaptados e parte prática sendo análise de dados com uso de sites. Com isso usou-se o período de um semestre, sendo necessário a criação de uma eletiva

de Ciências da Natureza no Novo Ensino Médio devido a pandemia do COVID19 os encontros com os alunos se deu de 3 formas diferentes: primeiro de forma remota com aulas síncronas e assíncronas, posteriormente de forma híbrida com metade da turma em uma semana e a outra parte na semana subsequente e somente no final do semestre de forma totalmente presencial.

Desse modo adotou-se como metodologia de forma aproveitar o conteúdo de eletromagnetismo para elevar o conhecimento dos alunos durante a primeira etapa da aplicação. Levantando o questionamento: o que é quais as utilidades do estudo do clima espacial? Assim deixando mais claro sua importância para a vida na terra. Essa abordagem prosseguiu com vídeos explicativos, por exemplo, de erupções solares e estudos de análises dos ventos solares utilizando os sites (www.spaceweather.com; www2.inpe.br/climaespacial/) dentre outros.

As perguntas usadas tanto no pré-teste quanto no pós teste são as que se seguem:

1 – No contexto da física, você sabe o que é Clima Espacial?

Respostas possíveis: Sim ou Não.

1.1 – Se sim, explique.

Resposta livre.

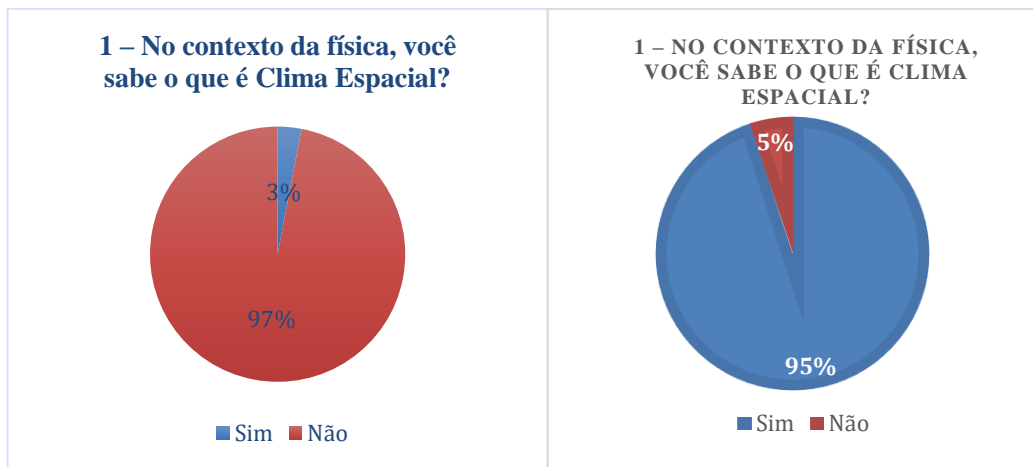


Figura 40 - Esquerda: pré-teste Direita: pós teste Fonte: Autor

2 – Você sabe o que são ventos solares?

Respostas possíveis: Sim ou Não.

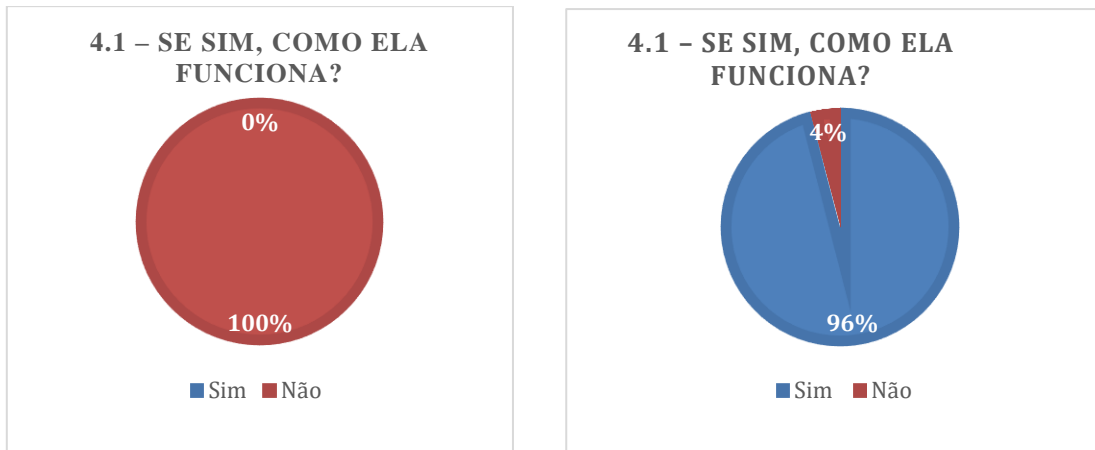


Figura 41 - Esquerda: pré-teste Direita: pós teste Fonte: Autor

2.1 – E como ela funciona?

Respostas possíveis: Sim ou Não.

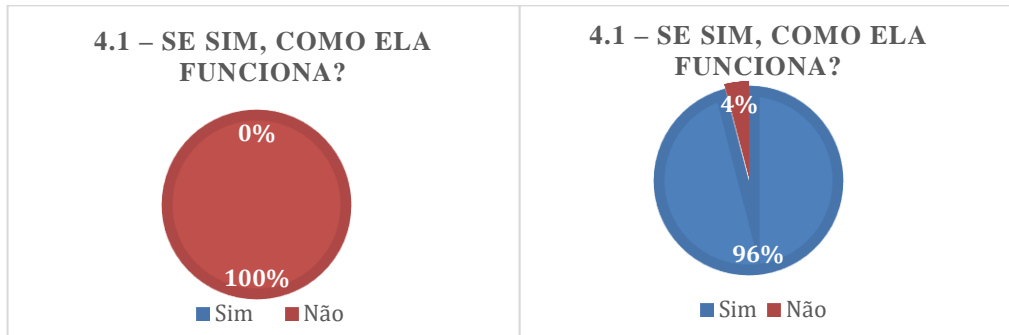


Figura 42 - Esquerda: pré-teste Direita: pós teste Fonte: Autor

3- Você já ouviu falar de Erupções Solares?

Respostas possíveis: Sim ou Não.

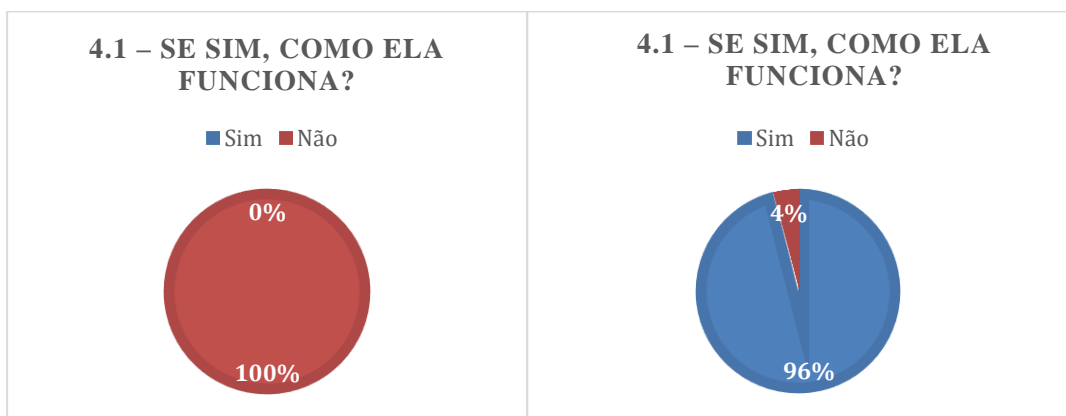


Figura 43 - Esquerda: pré-teste Direita: pós teste Fonte: Autor

3.1 – Se sim, como ela funciona?

Resposta livre.

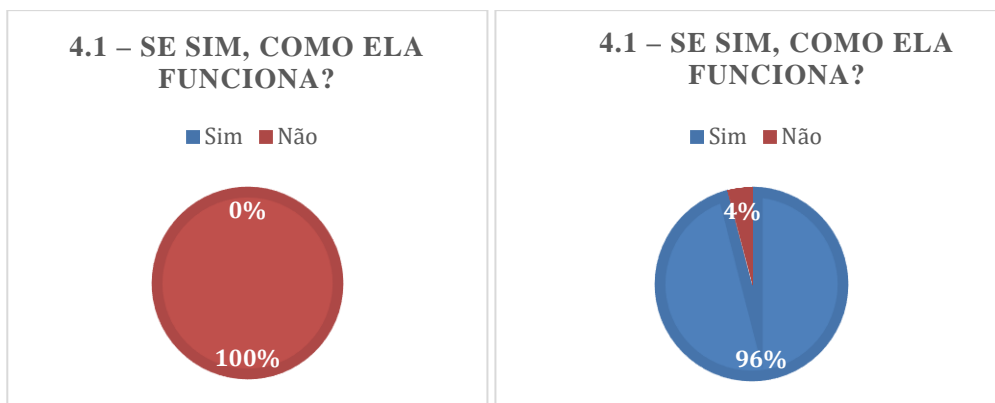


Figura 44 - Esquerda: pré-teste Direita: pós teste Fonte: Autor

4- Você sabe o que é uma Climatologista Espacial?

Respostas possíveis: Sim ou Não.

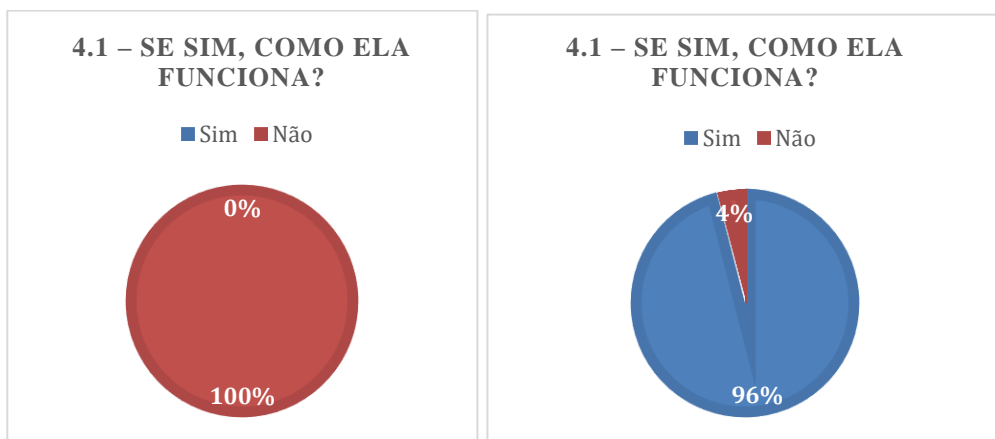


Figura 45 - Esquerda: pré-teste Direita: pós teste Fonte: Autor

4.1 – Se sim, como ela funciona?

Resposta livre.

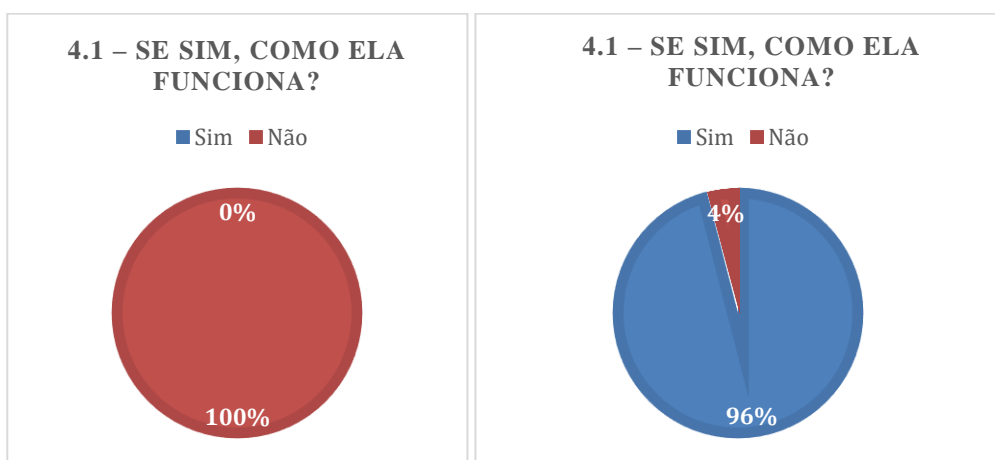


Figura 46 - Esquerda: pré-teste Direita: pós teste Fonte: Autor

Confirmando que no primeiro momento não se tinha o conhecimento mínimo.

Se tratando de um ano com grande instabilidade e diversas emissões de massa coronária e ventos solares foi possível fazer o estudo de algumas rupturas, o que proporcionou uma grande curiosidade por parte dos alunos. E assim demonstrar a importância do uso de diversos tipos de tecnologias a fim de minimizar possíveis danos através de previsões como por exemplo com criação de algoritmos e programas para auxiliar essa previsão do clima espacial.



Figura 47 – Turmas e atividades desenvolvidas. Esquerda: aula teórica. Direita: aula em laboratório para análises de sites. Fonte: Autor.

Entretanto existem falhas e limitações provocadas em decorrência de estarmos ainda em uma pandemia, outras situações como a infraestrutura da escola que apesar de ter 2 laboratórios de informática não há laboratórios equipados de física e química, apenas área preparada para instalação e montagem dos mesmos. O que tornou algumas aulas mais difíceis, pois o trabalho presencial só se deu no 2º semestre do ano letivo de 2021 e com a ausência de infraestrutura tinha que se adaptar às aulas para melhor absorção da temática.



Figura 48 – Formação de grupos para realizar atividades lúdicas desenvolvidas com alunos.

Fonte: Autor.



Figura 49 – Atividades lúdicas adaptadas desenvolvidas com alunos. Fonte: Autor.

Por fim, diferentemente do começo dessa abordagem aumentou a procura não apenas por conhecimento, mas o desejo de se capacitar para exercer novas profissões, por exemplo a profissão de Climatologista espacial.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO

Os diversos elementos fornecidos por este trabalho pretendem instrumentalizar ao mínimo os discentes para se alcançar resultados significativos de estímulo e aprendizagem na inserção temática da profissão de climatologia espacial no ensino médio, sem deixar a grande possibilidade de futuros aprimoramentos.

Desse modo, a construção desse TCC se subdivide com uma construção em que os capítulos vêm embasar o contexto histórico e conteúdos básicos para desenvolvimento e preparação de atividades e meios práticos para assim então confeccionar laboratório de informática para análises de dados com auxílio de informações de espaçonaves e sites.

Logo após identificar o nível dos alunos fazendo um levantamento dos pré-requisitos a fim de se ver nível de conhecimento em relação aos conceitos de carga elétrica, força de Coulomb, temperatura, termodinâmica, e emissão atômica de fótons. Percebe a necessidade de consolidar esses conceitos, pode-se realizar investigações com os alunos das turmas de 3º e 2º anos do CEM 04(Centro de Ensino Médio de Sobradinho-DF) iniciando pela abordagem histórica. Assim, investigações consistem em analisar o conhecimento prévio deles acerca do que vem a ser o clima espacial. No decorrer da investigação, atividades como análise de manchas solares, ventos solares, observações solares foram realizadas no laboratório de informática da instituição.

Os alunos foram provocados a analisar situações já decorrentes de erupções passadas e constataram quais eventos foram analisados. Para isso, foram utilizados os dados e informações dos satélites *SOHO*, *SDO* e sítios que apresentam situações dos ventos solares e trazem resultados diretos para o Clima Espacial.

Como se sabe o método não foi de todo bem sucedido, uma vez dentre as elaborações das atividades devido a escola não ter os laboratórios de química e física montados apenas o espaço físico. E com a instituição da eletiva de ciências da natureza, solicitamos frente a direção que esses laboratórios sejam compostos com os devidos equipamentos e de contrapartida demos ideias de materiais para essa composição, sendo que não há a espaço físico para mais de um laboratório de física e química então que se criasse um laboratório de Ciências da Natureza com o mais diversificado material uma vez que a BNCC e o Currículo em Movimento do GDF, traz a junção das disciplinas para projetos.

No entanto existem várias citações que posteriormente podem ser acrescentadas para trabalhos futuros como por exemplo a confecção de telescópios para analisar as

manchas solares (dentro de um controle de segurança adequado) bem como a visitação ao planetário e observatórios, já que em razão da pandemia e outras circunstâncias não foi possível de acontecer.

Apesar de a temática não ser incluída de forma direta na BNCC, nota-se que os alunos se interessam por esse tema, o que faz disso uma grande oportunidade de se criar uma Trilha ou Eletiva no currículo do Novo Ensino Médio, proporcionando, portanto, maiores procuras futuras para a profissão de Climatologista Espacial. Sendo assim despertou-se o interesse em aprofundar mais essa pesquisa para posteriormente confeccionar um livro ou até mesmo um guia para profissões voltadas para o ramo espacial.

REFERÊNCIAS

Apresentação; PINTO JR. L.F.G, FERREIRA. J.L. SPACE WEATHER FORECAST: An Outreach Proposal for Teaching at High Scholl Level The Sun Effects on Space Enviroment in The Solar System Neighborhood. Congresso de Dinâmica Orbital Brasileiro (CDBO) 2020 – 2021.

BRASIL Ministério da Educação Base Nacional Comum Curricular Brasília, DF 2018 p 9, 10.

BRASIL Lei n 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional Diária Oficial da União, Brasília, 23 de dezembro de 1996. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil/03/leis/L9394.htm>. Acesso em: 6 ago 2021.

BRASIL Lei 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional Diário Oficial da União, Brasília, 23 de dezembro de 1996. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil/03/leis/L9104.htm>. Acesso em 6 ago. 2021.

BRASIL. Base Nacional Comum Curricular. Brasília: Ministério da Educação, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf> Acesso em 28 out. 2021.

BRASIL. MEC. PCN Ensino Médio. Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Física. Brasília, 1998. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/arquivos/PCN_FIS.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2022.

BRASIL. Ministério da Educação. Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM). Brasília: MEC, Secretária de Educação Básica, 2000. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2021.

CHEN, F. F. Introduction to Plasma Physics. New York: Plenum Press, 1974. 329 p.

CROOKES, W. The Bakerian Lecture: On the Illumination of Lines of Molecular Pressure, and the Trajectory of Molecules. Philosophical Transactions of Royal Society of London, 170, p. 135 – 164, London, 1879. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rstl.1879.0065>. Acessado em: 18 de fevereiro de 2022.

DEBYE, P.; Hückel, E. (2019) [1923]. Traduzido por Braus, Michael J. "Zur Theorie der Elektrolyte. I. Gefrierpunktserniedrigung und verwandte Erscheinungen" [A teoria dos eletrólitos. I. Depressão do ponto de congelamento e fenômeno relacionado]. Physikalische Zeitschrift . **24** (9): 185–206.

Dra. Daniela Lazzaro
Coordenação de Astronomia e Astrofísica
Observatório Nacional/MCT -- Rio de Janeiro -- Brasil

Dr. Carlos Henrique Veiga
Divisão de Atividades Educacionais
Observatório Nacional/MCT -- Rio de Janeiro -- Brasil

GODOY, Leandro Pereira de. Multiversos: ciências da natureza: origens: ensino médio/Leandro Pereira de Godoy, Rosana Maria Dell' Agnolo, Wolney Candido de Melo. – 1 ed. – São Paulo FTD 2020.

<https://olhardigital.com.br/2022/02/19/ciencia-e-espaco/erupcao-solar-gigantesca-e-registrada-por-espaconave-europeia/>

<http://revistagalileu.globo.com/Revista/Common/0,,EMI122783-17777,00-NASA+CRIA+APLICATIVO+IPHONE+QUE+MONITORA+ATIVIDADE+SOLAR.html>

<https://ieeexplore.ieee.org/document/4334425/>

<https://revistapesquisa.fapesp.br/sonda-revela-origem-dos-ventos-solares/>

<http://lilith.fisica.ufmg.br/~crisina/climaespacial/2pagvento.html>

Hutchinson. In Princípios de diagnóstico de plasma ISBN 0-521-38583-0

"ISEE-3 / ICE" . Exploração do sistema solar . NASA. Arquivado do original em 20 de julho de 2015. Recuperado em 8 de agosto de 2015 [https://stringfixer.com/pt/Lagrangian Point](https://stringfixer.com/pt/Lagrangian_Point) acessado dia 20 de maio de 2022.

KIRBY, BJ (2010). Mecânica de fluidos em micro e nanoescala: Transporte em dispositivos microfluídicos. Nova York: Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-11903-0.

THORNE, kIp (2012). "Capítulo 20: A Cinética de Partículas do Plasma" (PDF). Aplicações da Física Clássica. Recuperado em 7 de setembro de 2017.

Li, D. (2004). Electrokinetics in Microfluidics. Academic Press. ISBN 0-12-088444-5.

MOLDWIN, M. (2008). An Introduction to Space Weather. Department of Earth and Space Sciences Institute of Geophysics and Planetary Physics University of California Los Angeles

PC Clemmow e JP Dougherty (1969). Eletrodinâmica de partículas e plasmas. Redwood City CA: Addison-Wesley. pp. § 7.6.7, p. 236 ff. ISBN 978-0-201-47986-7.

SANTOS, A. R . RELAÇÕES ASTRONÔMICAS ENTRE O SOL E A TERRA -UFES / DEPT. DE GEOGRAFIA / CLIMATOLOGIA

<https://www.mundogeomatica.com/CL/ApostilaTeoricaCL/Capitulo3-RelacoesAstronomicasSolTerra.pdf> acessado dia 22 de novembro de 2021.

RA Robinson & RH Stokes (2002). Soluções eletrolíticas. Mineola, NY: Dover Publications. p. 76. ISBN 978-0-486-42225-1.

Veja Brydges, David C.; Martin, Ph. A. (1999). "Coulomb Systems at Low Density: A Review". Journal of Statistical Physics. **96** (5/6): 1163–1330. arXiv: cond-mat / 9904122. Bibcode: 1999JSP 96.1163B. doi: 10.1023 / A: 1004600603161. S2CID 54979869.

APÊNDICE 1 - TABELAS

Tabela 01. Valores Típicos de plasma

Plasma	Densidade n_e (m^{-3})	Temperatura do elétron T (K)	Campo magnético B (T)	Comprimento de Debye λ_D (m)
Núcleo solar	10^{32}	10^7	-	10^{-11}
Tokamak	10^{20}	10^8	10	10^{-4}
Descarga de gás	10^{16}	10^4	-	10^{-4}
Ionosfera	10^{12}	10^3	10^{-5}	10^{-3}
Magnetosfera	10^7	10^7	10^{-8}	10^2
Vento solar	10^6	10^5	10^{-9}	10
Meio interestelar	10^5	10^4	10^{-10}	10
Meio intergaláctico	1	10^6	-	10^5

Tabela 2.2. Propriedade Solar.

Tabela 2.2 <i>Os cinco elementos mais comuns do Sol</i>	
Elemento	Símbolo Abundância relativa
hidrogênio	H 92.1%
hélio	He 7.8%
oxigênio	O 0.061%
carbono	C 0.030%
nitrogênio	N 0.0084%
Propriedades Solar	
raio 696 000 km	
massa $1,9 \times 10^{30}$ kg	
densidade média 1410 kg m^{-3}	
distância da Terra 150 000 000 km (ou 1 unidade astronômica)	
temperatura da superfície 5800 K	
luminosidade 3.86×10^{26} W	

Tabela 3. Limites aproximados entre as diversas faixas do espectro eletromagnético.

Radiação	Comprimento de onda (μm)
Raios γ, Raios x	<0,001
Radiação ultravioleta	0,001 a 0,39
Luz visível	0,39 a 0,77
Radiação infravermelha	0,77 a 1000
Ondas de radar, televisão, rádio	>1000

Tabela 4. Composição da Terra.

A composição química da Terra	
ferro	34,6%
oxigênio	29,5%
silício	15,2%
magnésio	12,7%
níquel	2,4%
enxôfre	1,9%
titânio	0,05%

Resumo dos dados conhecidos sobre a Terra

Parâmetros Globais	
Dados	Terra
massa (quilogramas)	5,9736 x 10 ²⁴
volume (quilômetros cúbicos)	108,321 x 10 ¹⁰
raio (quilômetros)	equatorial 6378,1
polar	6356,8
raio médio volumétrico (quilômetros)	6371,0
raio da região central (quilômetros)	3485
elipticidade (achatamento)	0,00335
densidade média (quilogramas por metro cúbico)	5515
gravidade na superfície (m/seg ²)	9,78
velocidade de escape (km/seg)	11,186
GM (km ³ /seg ²)	0,3986 x 10 ⁶
albedo de Bond	0,306
albedo geométrico visual	0,367
magnitude visual V (1,0)	-3,86
irradiância solar (W/m ²)	1367,6
temperatura de corpo negro (Kelvin)	254,3

alcance topográfico (quilômetros)	20
-----------------------------------	----

Parâmetros Orbitais	
Dados	Terra
semi-eixo maior (quilômetros)	149,60 x 10 ⁶
período da órbita sideral (dias)	365,256
período da órbita tropical (dias)	365,242
periélio (quilômetros)	147,09 x 10 ⁶
afélio (quilômetros)	152,10 x 10 ⁶
velocidade orbital média (km/seg)	29,78
velocidade orbital máxima (km/seg)	30,29
velocidade orbital mínima (km/seg)	29,29
inclinação orbital (graus)	0,000
excentricidade da órbita	0,0167
período de rotação sideral (horas)	23,9345
comprimento do dia (horas)	24,0000
obliquidade em relação à órbita (graus)	23,45

<i>Polo Norte de Rotação da Terra</i>	
<i>propriedades</i>	<i>valores</i>
<i>ascensão reta</i>	<i>0,00 - 0,64 T</i>
<i>declinação</i>	<i>90,00 - 0,557 T</i>
<i>data de referência</i>	<i>12:00 UT 1 janeiro 2000 (JD 2451545,0)</i>

(Obs: Nesta tabela T= séculos Julianos a partir da data de referência; JD= data Juliana referente a 01/01/2000)

<i>Magnetosfera terrestre</i>	
<i>propriedades físicas</i>	<i>valores</i>
<i>intensidade do campo de dipolo</i>	<i>0,3076 graus - (raios da Terra)³</i>
<i>inclinação do dipolo em relação ao eixo de rotação</i>	<i>graus</i>
<i>latitude do dipolo</i>	<i>78,6 graus norte</i>
<i>longitude do dipolo</i>	<i>70,1 graus oeste</i>
<i>distância do (offset) dipolo (do centro do planeta ao centro do dipolo)</i>	<i>0,0725 raios da Terra</i>
<i>latitude do vetor (offset)</i>	<i>18,3 graus norte</i>
<i>longitude do vetor (offset)</i>	<i>147,8 graus leste</i>

(Obs: na tabela acima o raio da Terra é considerado como 6.378 quilômetros)

Atmosfera terrestre	
propriedades físicas	valores
pressão na superfície	1014 milibars
densidade na superfície	1,217 kg/m ³
altura de escala	8,5 quilômetros

temperatura média		288 K (15o C)	
intervalo de temperatura diurna		283 K a 293 K (10o a 20o C)	
velocidades dos ventos		0 a 100 m/seg	
peso molecular médio		28,97 gramas/mole	
composição atmosférica	maior	Nitrogênio (N2)	78,084%
(por volume, ar seco)	Oxigênio (O2)		20,946%
menor (ppm)	Argônio (Ar)		9340
Dióxido de carbono (CO2)		350	
Neônio (Ne)		18,18	
Hélio (He)		5,24	
CH4		1,7	
Kriptônio (Kr)		1,14	
Hidrogênio (H2)		0,55	

APÊNDICE 2

Resumo das reportagens utilizadas.

[05/05/2022 07:44] <https://www.spaceweatherlive.com/en/news/view/471/20220503-x1-1-solar-flare-on-the-south-east-limb.html>

[11/09/2021 11:44] <https://www.tempo.com/noticias/ciencia/a-proxima-tempestade-solar-ira-desligar-completamente-a-internet-ciclo-solar.html>

[15/09/2021 13:03] <https://www.istoedinheiro.com.br/anomalia-do-campo-magnetico-da-terra-esta-crescendo-e-pode-preocupar/>

[31/10/2021 17:34] <https://earthsky.org/sun/solar-storm-aurora-tonight-october-30-31/>

[01/11/2021 09:47] <https://www.youtube.com/watch?v=6vmiAFctp8Q>

[01/11/2021 19:08] <https://canaltech.com.br/espaco/show-de-luzes-no-halloween-intensa-aurora-boreal-surpreende-no-ceu-noturno-200429/>

[10/12/2021 18:10] <https://weather.com/en-IN/india/space/news/2021-12-10-predicting-space-weather-rapidly-using-solar-radio-bursts>

[2/2 04:32] <https://nypost.com/2022/02/01/solar-storm-ejection-is-headed-for-earth-tomorrow-how-to-spot-its-effects/>

[20/2 12:57] <https://olhardigital.com.br/2022/02/19/ciencia-e-espaco/erupcao-solar-gigantesca-e-registrada-por-espaconave-europeia/>

[19/4 23:49] NASA: Massive solar storm hits Earth, sparks VHF radio blackout in Asia, Australia | Tech News - <https://tech.hindustantimes.com/tech/news/nasa-massive-solar-storm-hits-earth-sparks-vhf-radio-blackout-in-asia-australia-71650354612870.html>

[29/4 06:50] Nova teoria explica o mistério por trás da reconexão magnética <https://www.correiobraziliense.com.br/ciencia-e-saude/2022/04/5004019-nova-teoria-explica-o-misterio-por-tras-da-reconexao-magnetica.html>

[4/5 07:18] Erupção solar violenta causa 'apagão silencioso' de 1 hora na Terra - <https://www.uol.com.br/tilt/noticias/redacao/2022/05/03/erupcao-solar-violenta-causa-apagao-silencioso-de-1-hora-na-terra.htm>